



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**MEDIDA DEL POTENCIAL
ELÉCTRICO RENOVABLE DE UNA
MICROGRID AISLADA
COMPUESTA POR PANELES
FOTOVOLTAICOS,
AEROGENERADOR Y BATERÍAS.**

Alumno: Juan José Valenzuela Expósito

Tutor: David Vera Candeas

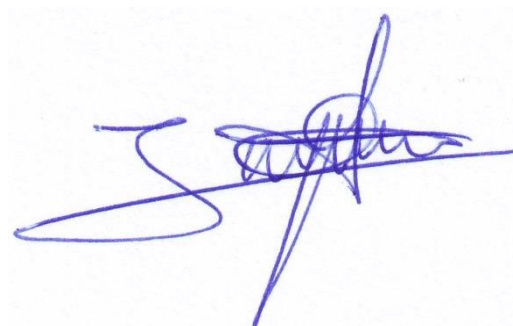
Depto.: Ingeniería Eléctrica

Junio, 2019

MEDIDA DEL POTENCIAL ELÉCTRICO RENOVABLE DE UNA MICROGRID AISLADA COMPUESTA POR PANELES FOTOVOLTAICOS, AEROGENERADOR Y BATERÍAS.

Juan José Valenzuela Expósito.

Grado en Ingeniería Eléctrica.



David Vera Candeas.

Dpto. Ingeniería Eléctrica.

Índice:

1. Resumen:	5
1.1. Abstract:.....	6
2. Introducción:.....	7
2.1. Definición de energía renovable y centrales de energía renovable:	7
2.2. Actualidad de las energías renovables en España:.....	8
2.3. Definición de Microgrid Aislada y Conectada a la red y tipos de instalaciones de ambos tipos:.....	9
2.4. Introducción a la parte fotovoltaica, fabricantes y tipos de placas fotovoltaicas:.....	12
2.5. Introducción a la parte eólica, fabricantes y tipos de aerogeneradores:	15
2.6. Introducción al almacenamiento en baterías, fabricantes y tipos de baterías:	17
2.7. Estado del arte sobre sistemas híbridos aislados eólico-FV:	18
2.7.1. Investigación experimental de una microred con base Solar/Hidrógeno. Universidad de Bolonia:.....	19
2.7.2. Modelo de diseño de una microgrid híbrida de viento y fotovoltaica para proyectos de electrificación en países en desarrollo. Universidad politécnica de Cataluña:	20
2.7.3. Funcionamiento stand-alone de un electrolizador de agua alcalina alimentado por sistemas eólicos y fotovoltaicos. Universidad pública de Navarra:	21
2.7.4. Proyecto de diseño y verificación experimental de una turbina portátil de energía de viento pequeño de alta eficiencia (SWEPT). Centro de investigación de energía en Virginia (USA):	22
3. Objetivos:.....	24
3.1. Potencial eléctrico renovable de una microgrid aislada:.....	24
3.2. Sensorización del sistema solar FV:.....	25
3.3. Sensorización del sistema eólico:	25
3.4. Medición de los datos experimentales del potencial energético renovable del Campus Científico Tecnológico de Linares y su posterior aplicación:	26



4.	Materiales y Metodología:.....	27
4.1.	Materiales utilizados:.....	27
4.1.1.	Partes del sistema Fotovoltaico:	27
4.1.2.	Partes del sistema Eólico:	31
4.1.3.	Elementos comunes de medida, almacenamiento, descarga de baterías y posterior inversión:	35
4.2.	Localización de la microgrid y lugares de estudio:	39
4.3.	Medidas experimentales de generación eléctrica del sistema Solar FV:	42
4.4.	Medida experimental y monitorización de la producción eléctrica del Aerogenerador:	48
4.5.	Ley de Weibull para la obtención de la cantidad de horas anuales de cada velocidad en Linares y Conil:	53
4.6.	Obtención de las curvas de carga:	55
5.	Análisis de los resultados obtenidos y discusión de los mismos:	58
5.1.	Mediciones del sistema solar FV:.....	58
5.2.	Mediciones del sistema eólico:.....	64
5.3.	Datos obtenidos por medio de la Función de Distribución de Weibull:	78
5.4.	Mediciones de la curva de carga para una vivienda de cuatro personas:.....	80
5.5.	Valoración de los resultados para cubrir la demanda de la vivienda de 4 personas:	83
6.	Conclusiones finales:.....	91
6.1.	Análisis experimental del potencial de la microgrid aislada:	91
6.2.	Caracterización de un aerogenerador de 600W:.....	91
6.3.	Comparativa ciudad de Linares y Conil de la Frontera:	92
6.4.	Estudio del consumo de una vivienda tipo 4 personas:	93
6.5.	Estudio integral de vivienda con autoconsumo:	94
7.	Anexos:.....	96
7.1.	Manual Placa Solar – Fotovoltaica MeSolar 100W:	96



7.2.	Manual Aerogenerador Bornay 600W:	97
7.3.	Curva Potencia y Energía Aerogenerador Bornay 600W y 1500W:	105
7.4.	Esquema Unifilar Sistema Solar – Fotovoltaico:.....	107
7.5.	Esquema Unifilar Sistema Eólico:.....	108
7.6.	Esquema Unifilar Banco de Baterías:.....	109
8.	Referencias bibliográficas:	110

1. Resumen:

Este es un trabajo experimental en el que se analizará el potencial y la energía eléctrica renovable generada por un microgrid aislada de la red eléctrica. Esta microgrid está formada por un sistema Solar FV y un sistema Eólico.

El objetivo principal es obtener el potencial eléctrico renovable de esta microgrid situada en el Campus Científico Tecnológico de la ciudad de Linares, para así poder ver el poder de generación de cada una de sus partes y poder aplicarlo a una vivienda tipo de cuatro personas de las cual se obtendrán sus curvas de cargas y se analizará un día promedio con la demanda y la generación de la microgrid para así poder ver su rentabilidad.

1.1. Abstract:

This is an experimental work in which the potential and the renewable electric energy generated by a microgrid isolated from the electrical grid will be analyzed. This microgrid is formed by a Solar FV system and a Wind system.

The main objective is to obtain the renewable electric potential of this microgrid located in the Scientific and Technological Campus of the city of Linares, in order to see the power of generation of each of its parts and to apply it to a typical house of four people of the which will be obtained its load curves and an average day will be analyzed with the demand and the generation of the microgrid in order to see its profitability.

2. Introducción:

A continuación para la introducción de este trabajo veremos una serie de definiciones de las partes más importantes que se tratarán a lo largo del documento y que servirán para introducir la temática de la que se hablará después. Además se mostrarán proyectos con objetivos relacionados a este.

Este punto de introducción además servirá para introducir todos los puntos que se verán a lo largo del trabajo. Como primer punto ya hemos visto el breve resumen donde se explica todo lo que se hará. En el punto de objetivos se marcarán los principales objetivos a conseguir con este trabajo además de objetivos secundarios enlazados con el objetivo principal. En el punto de materiales y metodología veremos cada uno de los elementos que formarán la red explicando cada uno de ellos y los métodos que se utilizarán para la obtención de todas las mediciones a lo largo de la duración del tiempo de toma de datos. En el apartado de análisis de datos y discusión se valorarán los datos obtenidos en las mediciones y se procederá a ver su viabilidad para los objetivos del proyecto. En las conclusiones se finalizará con la tarea de valoración y demostración final de los resultados. El trabajo acabará con un apartado de anexos donde se incluirán: los planos, catálogos, datos en general necesarios para la realización de este trabajo. Y ya por último una bibliografía donde se mostrarán todas las fuentes utilizadas para la consulta en la realización del trabajo.

2.1. Definición de energía renovable y centrales de energía renovable:

Por definición, el libro “Energía Solar Fotovoltaica”, Fuente [2], la energía renovable es la cual se puede producir de manera continua e inagotable a nivel mundial, estas energías son más respetuosas con el medio ambiente que las energías convencionales porque aunque en ocasiones generan impactos ambientales son mucho menos negativos que los producidos por energías obtenidas de combustibles fósiles.

La fuente principal de la que obtendremos esas energías renovables es el Sol. Este aporta la luz y temperatura necesaria en forma de radiación que hará funcionar las placas solares, el viento será generado por los gradientes térmicos producidos en las capas de la atmosfera y mediante la fotosíntesis se producirá la biomasa.

Una central de energía renovable es toda aquella que en sus métodos de generación incorpore fuentes de energía sostenible y renovable como las ya mencionadas anteriormente. En el caso de la microgrid de este trabajo será una pequeña central de energía renovable donde sus fuentes será la energía solar y eólica.

2.2. Actualidad de las energías renovables en España:

En este apartado se analizará de una manera superficial la actualidad de las energías renovables en nuestro país:

El año 2018 fue favorecedor para las energías renovables en España desde la empresa Fenie Energía en su página web, Fuente [11], obtenemos datos favorecedores de energías renovables en España siendo estas las que generaron aproximadamente el 38% de la energía producida en total en nuestro país frente al resto que son las energías fósiles y las nucleares, La energía eólica es la que más ha aportado seguida de la fotovoltaica, los porcentajes proporcionados son aproximadamente estos: 22% Eólica, 11.2% Hidráulica, 2.2% Solar fotovoltaica y un 2.8% el resto de renovables.

Respecto a la energía eólica España cuenta con cerca de 24.000 MW instalados en la actualidad. En el caso de la energía solar fotovoltaica se prevé un gran desarrollo con un abaratamiento de los costes en años venideros para así poder aprovechar la gran cantidad de recurso solar que contiene nuestro país.

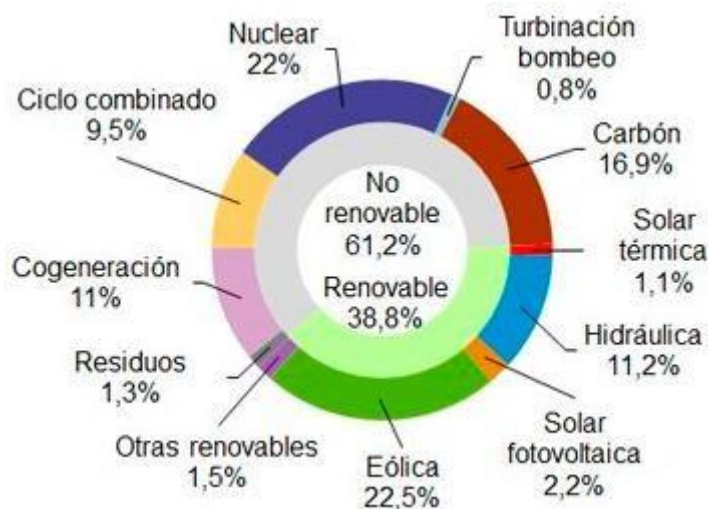


Figura 2.1. – Fuentes de producción de energía en España en 2018. Fuente [11]

2.3. Definición de Microgrid Aislada y Conectada a la red y tipos de instalaciones de ambos tipos:

Diversas fuentes como el libro “Centrales eléctricas de energías renovables” Fuente [3] coinciden en definir una microgrid como una micro red de gestión de energía que reúne un mismo sistema de generación y consumo, las fuentes de generación eléctrica que incorporan esas micro redes suelen ser fuentes de generación local como en este caso la solar y la eólica, estas redes están pensadas para generar una pequeña cantidad de energía, la suficiente para abastecer un hogar. Las microgrid además teniendo en cuenta el flujo no constante que obtenemos de las energías renovables suelen incorporar un sistema de baterías para poder almacenar nuestra energía y así aprovecharla en el momento en el que los sistemas de generación no produzcan la suficiente energía.

En el caso de una red aislada es aquella que no está conectada a ninguna red externa a la propia microgrid, de este modo la energía que se genera se consume directamente o se almacena en baterías para gastarla horas más tarde. Por lo tanto en una red aislada la energía que no se consume ni se almacena se tendría que tirar de alguna manera ya que no seríamos capaces de aprovecharla.

Los tipos de instalaciones para una red eléctrica aislada podrían ser fundamentalmente tres:

- ❖ Viviendas: La vivienda se equipa con placas solares y un aerogenerador y la energía generada se almacena en baterías que posteriormente se gasta cuando sea necesario y una vez las baterías cargadas al 100% la energía generada se desecha.
- ❖ Señalización e iluminación: Señales de tráfico e iluminación en ciudades, etc. La energía generada en la placa solar se almacena en pequeñas baterías capaces de hacer funcionar la señalización e iluminación durante la noche.
- ❖ Bombeo solar FV: En zonas de cultivo muy usuales en la zona del estudio en la provincia de Jaén, se coloca un pequeño número de placas solares que alimentas motores bomba que sacan el agua de los pozos subterráneos y riegan la plantación sin tener que realizar una instalación eléctrica para alimentar el motor desde el exterior.



Figura 2.2. – Microgrid aislada compuesta de placas solares y aerogenerador. Fuente propia.

En el caso de una instalación conectada a la red. Es aquella que al contrario de la aislada si está conectada a la red externa, de esta manera la energía que se genera y que sobrepase la demanda de la vivienda se puede vender a la empresa suministradora de esta manera no solo se reducen los costos si no que se generan ganancias sobre la energía que estamos generando.

Hay dos tipos fundamentales de instalaciones conectadas a la red:

- ❖ Huertos solares: Un huerto solar es una central de energía renovable con placas solares, una gran cantidad de placas dispersas por un área de terrenos y orientadas hacia el sol generan energía eléctrica y la inyectan a la red eléctrica para ser suministrada a todos los receptores que la requieran.
- ❖ Autoconsumo: Esto sería lo que buscamos en este proyecto, el funcionamiento viene a ser igual que el de las viviendas solo que la energía sobrante la inyectaremos a la red para poder venderla y sacar beneficio de nuestra generación.



Figura 2.2. – Red conectada a red externa. Autoconsumo. Fuente [16].

2.4. Introducción a la parte fotovoltaica, fabricantes y tipos de placas fotovoltaicas:

Vamos a analizar las partes de las que consta nuestra microgrid, en este caso empezaremos por la parte Solar-Fotovoltaica del sistema. Lo primero que necesitamos saber, Fuente [2], es que esta tecnología aprovecha la radiación del sol de varias maneras diferente aunque en nuestro caso solo nos interesa una en concreto que será la transformación de esa energía solar en electricidad. Ese aprovechamiento de la energía solar y posterior aprovechamiento en energía eléctrica se llama energía solar fotovoltaica que se basa en la transformación de la radiación solar en energía eléctrica mediante unas células fotovoltaicas de las que están compuestas las placas solares, esta electricidad producida se puede aprovechar de una manera directa conectando una carga de C.C directamente a la salida de la placa, se puede almacenar para usar la energía cuando el usuario demande cómo será el caso de la microgrid que estudiaremos, o por última opción se puede inyectar a una red de distribución de energía (Autoconsumo). Esta última será nuestra intención en este trabajo, la energía sobrante que no gastemos se venderá a la red eléctrica.

Por ultimo hablar de los diferentes elementos que componen la parte solar del sistema, en apartados posteriores se hablara de sus características pero ahora se definirán para su futuro estudio:

- Tres placas solares fotovoltaicas de 100Wp de potencia pico cada una de ellas:

Cada una de estas placas estarán construidas de silicio monocristalino en las placas de este semiconductor será donde se liberaran los electrones y se generará la corriente. Estas placas monocristalinas tienen una buena conducción y por lo tanto de los tipos de cristal es la que mayor rendimiento obtiene en torno al 15% y 18%.

- Regulador MPPT para fotovoltaica:
El regulador es el encargado de evitar una sobrecarga en las baterías. En nuestro caso tendremos conectado en nuestra microgrid un regulador rectificador de máxima potencia de la marca Victron Energy y del distribuidor Bornay, de tensión nominal 12V de dos etapas, por lo que se encargara tanto de la carga como de la descarga de las baterías.
- Banco de baterías de ácido plomo 6 vasos de 2V cada uno que formaran un total de 12V:
Las baterías son las encargadas de almacenar la energía generada por los elementos de nuestra red estas serán baterías de ácido plomo. En nuestro caso tenemos un banco de baterías estacionarias de la marca BAE que está compuesto de 6 vasos o celdas de 2V de tensión cada uno. Este tipo de baterías necesitan un buen mantenimiento y necesitaran ventilación y protección además también comentar que su peso será más que considerable.
- Inversor 12V DC – 230V AC:
Por último en nuestra instalación fotovoltaica el elemento que podrá alimentar nuestra carga en C.A será el inversor, que será de la marca Victron Energy, estos también llamados convertidores se encargan de transformar la C.C en C.A.

- Fabricantes con mejores prestaciones y características:

Según la revista PV-Magazine, Fuente [12], los 10 principales fabricantes mundiales de paneles fotovoltaicos en el año 2018 fueron en orden de mayor a menor importancia: Jinko Solar, Trina Solar, Canadian Solar, Hanwha Q CELLS JA Solar, LONGi Green Energy Technology, GCLSI, Sisen Energy, Yingli Green Energy y Talesun Solar. En la Figura 2.3 se detallan los MW generados por las placas manufacturadas por cada una de estas 10 empresas. En el caso de este trabajo las placas solares serán del fabricante MeSolar, serán placas de uso doméstico.

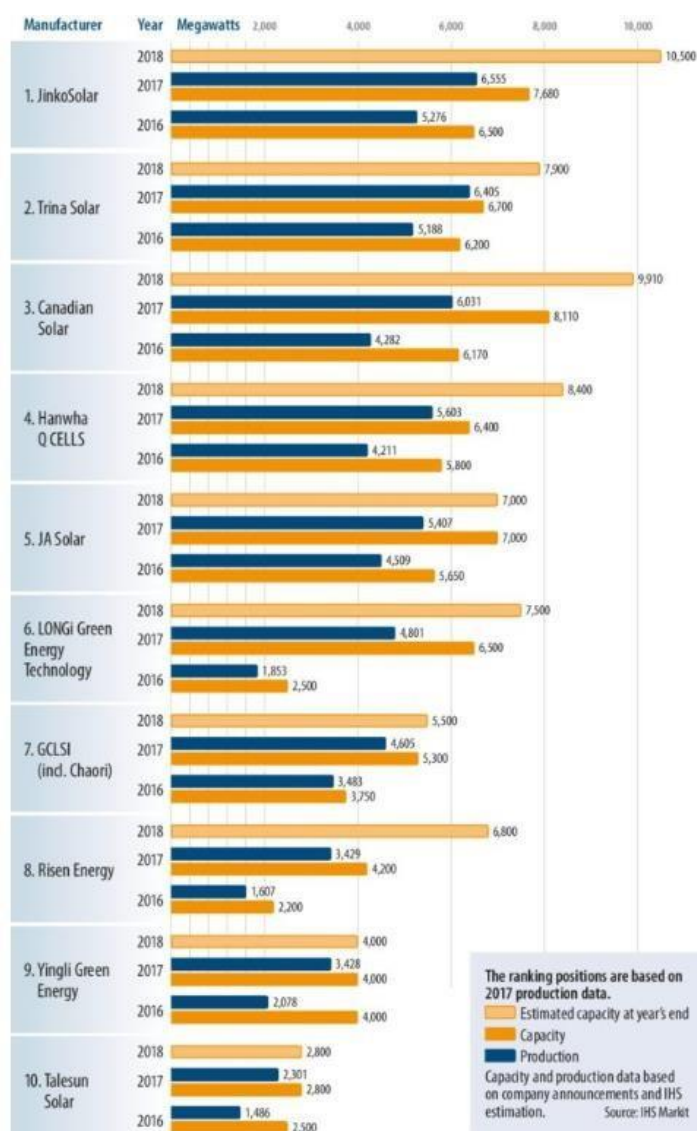


Figura 2.3 – 10 principales fabricantes placas solares fotovoltaicas. Fuente [12].

2.5. Introducción a la parte eólica, fabricantes y tipos de aerogeneradores:

La segunda parte que pasaremos a introducir será la parte eólica del sistema. En este caso, Fuente [4], esta tecnología de lo que se encarga es de aprovechar la energía del viento, el viento en su definición es el aire en movimiento y con los aspectos del viento que nos quedaremos para su estudio normalmente serán su velocidad y su dirección normalmente la horizontal.

Este viento será el que aproveche el aerogenerador instalado para generar energía eléctrica. El aerogenerador en su parte trasera incluirá una veleta que lo enfocara de manera directa a la dirección del viento en todo momento ya que su eje horizontal será giratorio y orientable. Ese viento incidirá directamente en cada una de las palas del aerogenerador produciendo así el movimiento giratorio que pondrá en movimiento el sistema. El sistema en su giro generara energía eléctrica C.A que mediante dispositivos que ahora nombraremos y describiremos la transformarán, la almacenarán y por último se preparará para su utilización en carga. Al formar parte de la misma microgrid los elementos de almacenamiento y el posterior inversor serán comunes tanto para la parte solar como para la eólica por este motivo no se volverá a describir en este apartado así que ahora veremos las partes fundamentales de las que consta este sistema eólico:

- Aerogenerador Bornay de 600W y 12V:

Un aerogenerador es un elemento capaz de transformar la energía del viento en energía eléctrica, este aerogenerador constará de dos palas que serán las encargadas de moverlos los mecanismos interiores que harán girar el generador síncrono de su interior, a su máxima velocidad este generador será capaz de entregar hasta 600W de potencia nominal.

- Regulador rectificador AC-DC 12V:

Este regulador rectificador será el encargado de entregar una tensión constante de 12V al banco de baterías además de transformar la C.A

generada en el generador síncrono en la C.C necesaria para el almacenamiento en las baterías. Otra función muy importante de este regulador es la de control de la carga de las baterías, para que las baterías una vez cargadas no sufran daños de sobrecarga si el aerogenerador sigue en funcionamiento y las baterías ya están completamente cargadas. Este regulador mediante impulsos será el encargado de ir frenando el aerogenerador y evacuará la energía generada sobrante mediante unas resistencias internas. De este modo el generador parará progresivamente y la energía sobrante no dañará al sistema.

- El banco de baterías y el inversor serán los mismos que para el sistema fotovoltaico.
- Fabricantes con mejores prestaciones y características:

Desde el año 2014-2015 la instalación de turbinas eólicas se ha reducido su número de elementos instalados en todo el mundo, de ese modo, Fuente [13] hasta esos años los 5 principales fabricantes de turbinas eólicas son los siguientes enumerados mayor a menor cantidad de MW instalados en el año 2015: Siemens, GE Renewable Energy, Vestas, Goldwind, Enercon. Este ranking y la cantidad de MW instalados en dicho año lo veremos en la figura 2.4.

Estos serían los datos de Turbinas eólicas de gran tamaño y grandes potencias pero en el caso de este trabajo contaremos con un aerogenerador doméstico del fabricante Bornay de 600W de potencia.

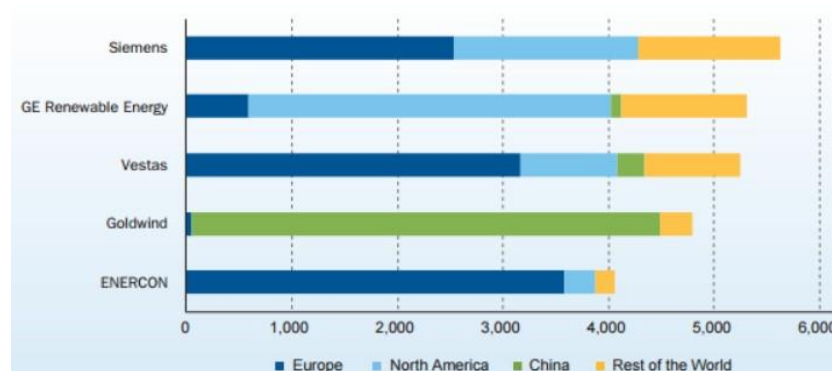


Figura 2.4. – 5 principales fabricantes aerogeneradores. Fuente [13].

2.6. Introducción al almacenamiento en baterías, fabricantes y tipos de baterías:

Como ya sabemos el banco de baterías es un elemento muy importante en esta microgrid como de la que trata este estudio ya que toda la energía que generemos queremos guardarla para poder utilizarla en momentos donde no haya generación o esta sea mínima. Nuestro banco de baterías estará compuesto por seis vasos o celdas de batería de ácido – plomo de 2V de tensión cada uno que conectados en serie formaran un conjunto de batería de 12V de tensión, fuentes [2 y 3]. Estas baterías se utilizan principalmente en lugares donde el tamaño y el peso no sean factores importantes ya que el valor de estos en este tipo de baterías es muy elevado. Este tipo de baterías como ya comentamos necesitan un mantenimiento elevado además de una ventilación y protección significativa, el mantenimiento se les realizaría abriéndolas y cambiándoles al ácido de su interior por uno nuevo y volviéndolas a sellar.

Uno de los fabricantes principales que se dedica al almacenamiento de energía en Europa es la fabricante Cegasa, fuente [15], una empresa con más de 75 años en el sector. Hay varios tipos de baterías donde vemos las baterías monobloque, las de litio o las baterías AGM pero en este estudio contaremos con baterías estacionarias de ácido plomo cuya vida media puede verse en la figura 2.5.

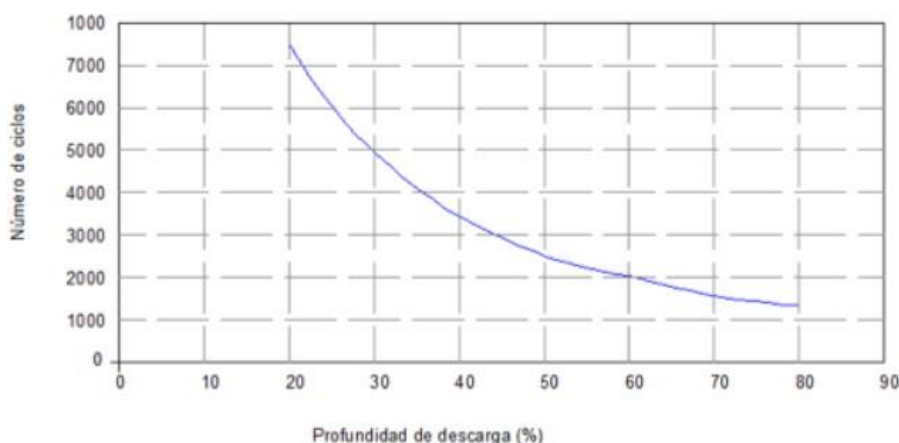


Figura 2.5. – Ciclos de vida medio de una batería estacionaria. Fuente [14].

2.7. Estado del arte sobre sistemas híbridos aislados eólico-FV:

En este apartado hablaremos del estado del arte, esto quiere decir el estado de las tecnologías relacionadas con este trabajo en su versión más novedosa. Se describirán brevemente una serie de proyectos para así poner al lector en situación del avance previo de estas tecnologías. De un amplio número de los últimos años de investigación y artículos realizados en los últimos años he seleccionado cuatro que me parecen muy interesantes por su finalidad y relación con este estudio a continuación la tabla 2.1 enumerará cada uno de estos proyectos:

Artículo de investigación	Fecha	Lugar	Autor/es
Investigación experimental de una microred con base Solar/Hidrógeno	Junio 2017	Universidad de Bolonia (Italia)	M. A. Ancona, M. Bianchi, L. Branchini, A. de Pascale, F. Melino, A. Peretto.
Modelo de diseño de una microred híbrida de viento y FV para proyectos de electrificación en países en desarrollo.	Noviembre 2012	Universidad Politécnica de Cataluña	L. Ferrer – Martí, B. Domenech, A. García Villoria, R. Pastor
Funcionamiento stand-alone de un electrolizador de agua alcalina alimentado por sistema eólicos y fotovoltaicos.	Septiembre 2013	Universidad pública de Navarra	Alfredo Ursua, Idoia San Martín, Ernesto L. Barrios, Pablo Sanchis.
Proyecto de diseño y verificación experimental de una turbina portátil de energía de viento pequeño de alta eficiencia	Abril 2013	Universidad de Virginia (USA)	Ravi Anant Kishore, Shashank Priya.

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

2.7.1. Investigación experimental de una microred con base Solar/Hidrógeno. Universidad de Bolonia:

En el primer artículo revisado tenemos el titulado como “Investigación experimental de una microred con base Solar/Hidrógeno”. En este artículo tenemos un proyecto realizado por investigadores de la universidad de Bolonia en el mes de Junio de 2017. Fuente [5].

El resumen que nos aporta el objetivo y la finalidad de dicho artículo es el siguiente:

El fin de este trabajo es la investigación experimental para observar el rendimiento de un microred que se encuentra instalada en los laboratorios de la Universidad de Bolonia. La microred está formada por dos paneles fotovoltaicos, un generador de hidrógeno, un emulador electrónico de carga y dos dispositivos de almacenamiento, además de un inversor que proporcionara la transformación de 12V C.C a 230V A.C.

El objetivo principal es analizar los procesos de carga y descarga de las baterías y así cuantificar sus ciclos de vida, se analizaran las corrientes y tensiones además de las potencias de entrada y salida de las baterías en el proceso de carga y descarga.

Los resultados muestran que la tensión de la matriz solar se ve reducida dependiendo de las condiciones de las baterías y la necesidad de estas de cargarse. Por lo tanto el momento en que las baterías llegan casi a plena carga el regulador empieza a mantener constante la tensión y reduce la corriente de carga de baterías para así evitar sobrecargarlas. Con estos valores de carga y descarga se obtienen las eficiencias de las baterías.

System		Batteries (each)	
Max. input current, photovoltaics	30 A	Type	Solar lead-acid battery
System voltage, photovoltaics	24 V DC	System voltage	12 V DC
Max output current 12 V DC	2 A	Capacity	55 Ah
Max. continuous output 230 V AC	700 W	Hydrogen generator	
Momentary peak load	1050 W (10 sec)	Type	Proton Exchange Membrane
Output voltage frequency	230 V, 50/60 Hz, true sinus	Production capacity	30sl/h @10.7 bar
Solar Modules (each)		Hydrogen purity	6.0 (99.999%)
Type	Polycrystalline	Input voltage	120 VAC /50- 60 Hz
System voltage	24 V DC	Max. consumption	300 VA
MPP output	220 W	Electronic DC Load emulator	
Efficiency	15% @ AM 1.5	Input Voltage range	0-360 V
Short circuit current	8.62 A	Input power range	0-300 W
MPP voltage	27.54 V	Input current range	0-30 A

Figura 2.6. – Características componentes de la microred del artículo. Fuente [5].

2.7.2. Modelo de diseño de una microgrid híbrida de viento y fotovoltaica para proyectos de electrificación en países en desarrollo. Universidad politécnica de Cataluña:

En este segundo artículo titulado “Modelo de diseño de una microgrid hibrida de viento y fotovoltaica para proyectos de electrificación en países en desarrollo”, desarrollado por investigadores de la Universidad Politécnica de Cataluña en Noviembre de 2015. Fuente [6].

Los sistemas eléctricos que se centran en el uso de energías renovables pueden ser una opción muy adecuada para generar energía eléctrica en aldeas aisladas para autoabastecerse de manera autónoma.

Para generar electricidad en zonas dispersas está demostrado que ofrecen muchas ventajas los sistemas híbridos como en este caso de sistemas eólicos y fotovoltaicos, de esta manera se diseñara un microred teniendo en cuenta la demanda de consumo y el potencial necesario para satisfacer a la comunidad donde se instalará.

El objetivo es minimizar en lo máximo los costes de inversión pero siempre satisfaciendo la demanda. El modelo hibrido propuesto

se analizara a tamaño real y los resultados obtenidos muestran que la demanda se satisfará. Además este modelo se ha aplicado en estudios en Perú y de igual manera encuentra soluciones muy efectivas reduciendo los costes eléctricos.

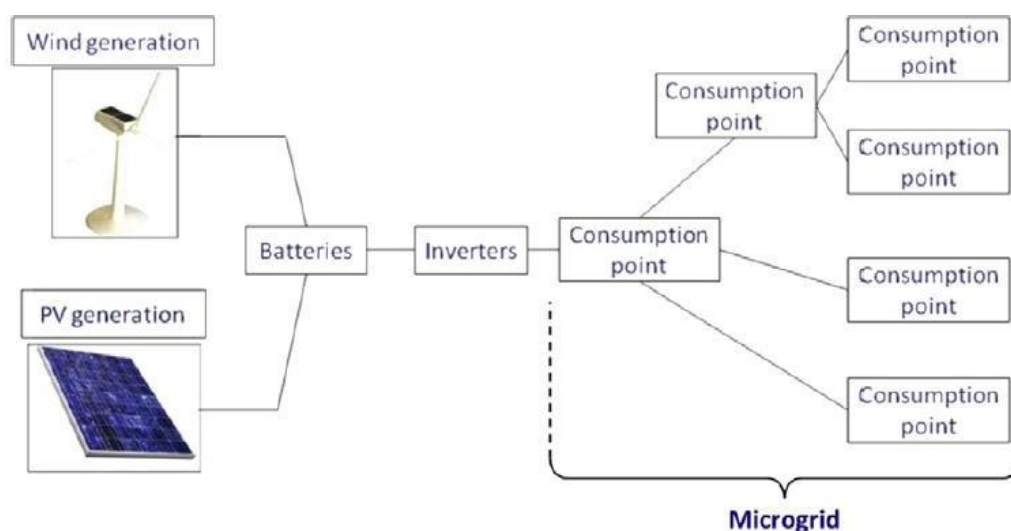


Figura 2.7. – Elementos que componen la microgrid del artículo. Fuente [6].

2.7.3. Funcionamiento stand-alone de un electrolizador de agua alcalina alimentado por sistemas eólicos y fotovoltaicos. Universidad pública de Navarra:

Este tercer artículo titulado “Funcionamiento stand-alone de un electrolizador de agua alcalina alimentado por sistemas eólicos y fotovoltaicos” fue realizado por alumnos de la Universidad de Navarra en Septiembre de 2014. Fuente [7].

Este proyecto se centra en el estudio del hidrogeno como fuente renovable de generación de electricidad a medio y largo plazo, actualmente la introducción de la electrolisis del agua junto con los sistemas de energías renovables generan a gran escala hidrogeno de manera sostenible.

El objetivo es estudiar un electrolizador de agua alcalina situado en la propia universidad, obtener su rendimiento, la producción de hidrogeno, la pureza de los gases que se generan y su eficiencia aplicado a corrientes que oscilarán desde los 40 a los 120A, temperaturas de entre 35 y 65°C y presiones de entre 5 y 24 bar.

Además de esto también se realizó el estudio de forma experimental del electrolizador funcionando mediante la potencia de un sistema eólico (stand-alone) y un sistema de energía fotovoltaica situados también ambos en la propia universidad de Navarra.

Los resultados fueron un equilibrio en las instalaciones y sus principales características electroquímicas, la eficiencia del electrolizador fue del 77,7% para el caso de la energía eólica y del 78,6% para el caso de la fotovoltaica (con irradiación estable) y un 78,1% para el caso de irradiación variable.

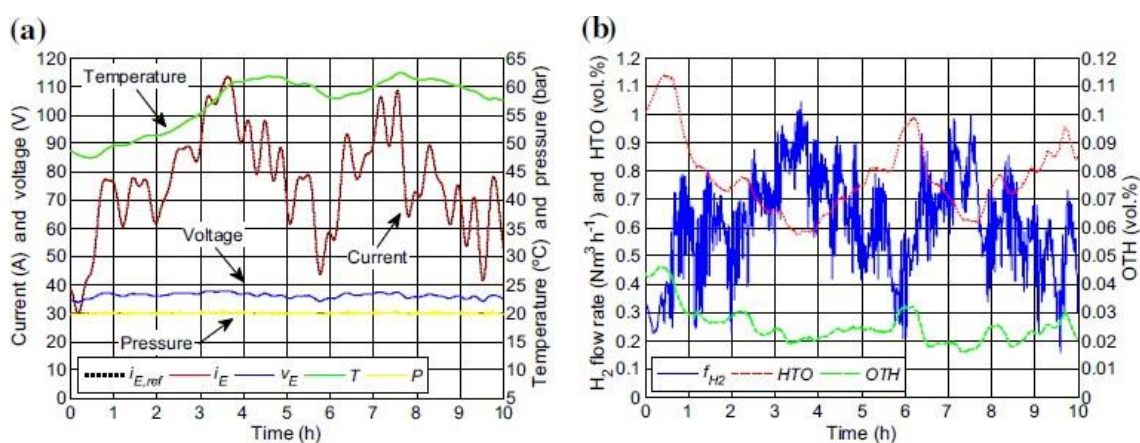


Figura 2.8. – Corriente y Voltaje frente al flujo de hidrógeno del experimento. Fuente [7].

2.7.4. Proyecto de diseño y verificación experimental de una turbina portátil de energía de viento pequeño de alta eficiencia (SWEPT). Centro de investigación de energía en Virginia (USA):

El último artículo del que se hablara será el titulado como “Proyecto de diseño y verificación experimental de una turbina portátil de energía de viento pequeño de alta eficiencia” realizado por los investigadores del centro de investigación de energía de Virginia (USA). Fuente [8].

Como comenta este artículo a lo largo de los años se han estudiado y examinado las turbinas eólicas de gran escala pero se conoce muy poco de los generadores eólicos a pequeña escala, y especialmente los aplicados a velocidades bajas de viento.

El objetivo de este estudio es analizar y obtener datos teóricos y experimentales de una turbina portátil de 40 cm de diámetro para energía eólica de viento pequeño con velocidades que rondaran los 5 m/s.

Los resultados obtenidos para una potencia de entrada de 1W pueden producir 2,2W a la salida con una velocidad de viento de 5,5 m/s. Comparándola con otras turbinas publicadas la de 50 cm sería la de más eficiencia y velocidad más baja, demostró que tiene un coeficiente de potencia del 32% y de eficiencia del 21%.

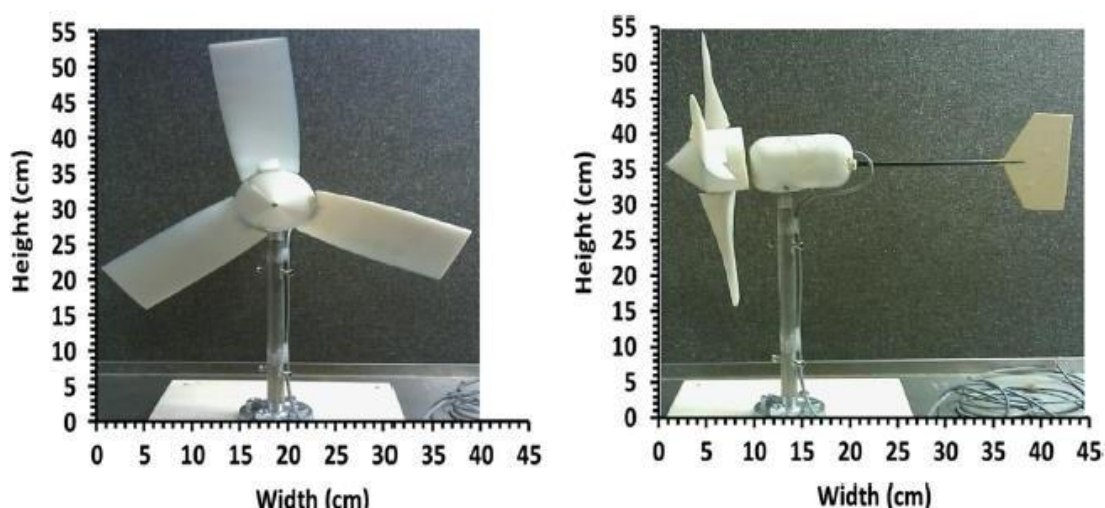


Figura 2.9. – Turbina portátil de viento pequeño del artículo. Fuente [8].

3. Objetivos:

En este tercer apartado se marcarán los objetivos que se desean conseguir con la realización de este trabajo, de una manera abreviada se realizará una pequeña descripción de todo lo que se desea conseguir a lo largo del estudio.

3.1. Potencial eléctrico renovable de una microgrid aislada:

Medir el potencial eléctrico renovable de la microgrid aislada será el principal objetivo del estudio, de esta manera se dará a conocer las cantidades de energía eléctrica y potencia que es capaz de generar esta microgrid situada en el Campus Científico Tecnológico de Linares.

Para obtener este potencial eléctrico renovable se medirán de forma experimental datos tanto de la parte solar FV del sistema como de la parte eólica.

Una vez obtenidos los datos de generación de esta microgrid se analizarán y se verá la viabilidad de colocar una microgrid como está pero conectada a la red (autoconsumo) en una vivienda tipo para cuatro personas. Se verán las horas a las que queda cubierta la demanda y las horas del día que la microgrid no será capaz de cubrir la demanda del hogar. Todos los datos de consumo de la vivienda se obtendrán mediante analizadores de redes y datos reales obtenidos de la compañía distribuidora Endesa, Fuente [17].

Dado que se ha descubierto y comprobado que el potencial eólico de Linares es bastante bajo, de manera paralela se obtendrán los mismos datos eólicos para Conil de la Frontera (Cádiz). Donde los datos solares serán muy parecidos y los datos eólicos serán mucho mayores notándose la diferencia de generación eólica.

3.2. Sensorización del sistema solar FV:

Esta sensorización se llevará a cabo obteniendo los niveles de radiación en la zona donde irán situados los módulos solares del sistema. Estos datos se obtendrán de fuentes oficiales como Photovoltaic geographical information system (PVGIS), Fuente [10]. De aquí se obtendrán los datos de radiación e irradiancia solar en un periodo de 10 años. Además con esos datos obtendré las horas de sol pico para así con la capacidad de placas fotovoltaicas con las que consta nuestro sistema podamos conocer las capacidad de generación fotovoltaica que tendremos. Todo esto se mostrará en apartado de metodología y resultados mediante gráficas y tablas.

3.3. Sensorización del sistema eólico:

En el caso de la sensorización del sistema eólico ya que no contamos de momento con la instalación de un anemómetro se llevará a cabo obteniendo los datos de velocidad del viento mediante aplicaciones como Photovoltaic geographical information system (PVGIS), Fuente [10]. Una vez tenemos los datos de viento con la curva de potencia del aerogenerador del estudio podremos conocer en cada momento para una determinada velocidad la cantidad de potencia que nos está entregando.

Además de estos datos de potencia, durante un periodo de 20 días distintos de potencial de viento elevado, con un analizador de redes se obtendrán los datos de generación por intervalos de 5 a 20 segundos. Como Linares no es una zona de potencial de viento elevado también se obtendrán los de Conil de la Frontera y se mostrará la gran diferencia que hay entre un lugar y otro.

De ambas ciudades obtendremos datos de viento diarios por horas para un año completo.



3.4. Medición de los datos experimentales del potencial energético renovable del Campus Científico Tecnológico de Linares y su posterior aplicación:

Con todos los datos obtenidos del sistema Fotovoltaico y del sistema Eólico ya tenemos la capacidad de generación que tendrá la microgrid instalada en el campus de Linares. Ese potencial ya nos servirá para aplicarlo a una vivienda tipo de cuatro personas y analizar con los datos de consumo de esa vivienda las horas en la que cubriríamos la demanda solo con las energías renovables. También obtendremos las horas en las que la demanda no se podría cubrir y habría que obtener la energía de la empresa suministradora. Y las horas en las que nos sobraría energía y venderíamos a la empresa suministradora o almacenaríamos en baterías.

4. Materiales y Metodología:

A continuación en este cuarto apartado por un lado se enumerarán los componentes fundamentales de cada sistema que componen la microgrid así 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 la microgrid 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 del trabajo tanto para Linares como para Conil. También estará el proceso de obtención de los datos del viento para ambas ciudades 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. Partes del sistema Fotovoltaico:

Los componentes que forman la parte solar – fotovoltaica del sistema son los siguientes:

- *Placa solar Fotovoltaica (FV):* El sistema incluye tres placas solares fotovoltaicas, figura 4.1, de la marca “Me Solar”.

Estas placas están formadas de silicio monocristalino y son capaces de aportar 100Wp de potencia pico cada una de ellas. En la tabla 4.1 veremos sus características.



Figura 4.1. – Módulos solares montados y conectados. Fuente propia.

Placa características Modulo Solar 100W Me Solar	
Model N°	MESM-100W
Cell Brand	Solar World
Cell Type	Monocrystalline
Peak Power (Pmax)	100 Wp
Power Tolerance Range (%)	(+-) 3%
Open Circuit Voltage/Voc (V)	22.3
Short Circuit Current /Isc (A)	17.8
Max.Power Voltage/ Vmp (V)	6.07
Max.Power Current/ Imp (A)	5.62
Maximum System Voltage (V)	1000V DC
Dimensions (mm)	670 x 945 x 30

Tabla 4.1. – Características Modulo solar Me Solar. Fuente propia.

- *Regulador solar MPPT para fotovoltaica:* Regulador Blue Solar, figura 4.2, de la empresa Victron Energy. Tipo MPPT 100 I30 lo que significa que es un regulador seguidor de punto de máxima potencia (MPPT en sus siglas en inglés). Que se encargan de buscar siempre el balance entre el voltaje y la corriente y por lo tanto los paneles solares con este regulador siempre operaran a su máxima potencia. A continuación en la Tabla 4.2 se mostrarán sus características.



Figura 4.2. – Regulador Blue solar para FV. Fuente propia.

Placa características regulador fotovoltaica	
PV (input)	100 Vmax
Battery (output)	12/24V
Operating temperature	-30 to +60 (°C)
Output derating	70 % Pmax
External fuse Interruptieng rating	40A min to 50 A max

Tabla 4.2. – Características regulador Blue solar. Fuente propia.

- *Cables para la conexión del sistema e Interruptor para el corte del sistema si fuera necesario:* Cables de sección de 4 mm² desde los módulos solares hasta la entrada del interruptor adaptado para cortar el suministro del sistema cuando sea necesaria su desconexión y a la salida de este hacia el regulador una manguera de 6mm² de sección libre de alógenos Rz1-k (AS). En la figura 4.3 se muestra dicho interruptor.



Figura 4.3. – Conexión de interruptor de corte para FV. Fuente propia.

4.1.2. Partes del sistema Eólico:

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

- *Aerogenerador Bornay 600*: En encargado de generar energía con la velocidad del viento será un generador de la marca Española Bornay de 600W, figura 4.4 de potencia nominal que contará con dos palas y un timón de orientación para estar siempre bien situado frente al viento. En la Tabla 4.3. se todas sus características más importantes.



Figura 4.4. – Aerogenerador Bornay 600. Fuente propia.

Características Aerogenerador Bornay 600	
Especificaciones técnicas	
Numero de hélices	2
Diámetro	2 m
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	Anti-horaria
Especificaciones eléctricas	
Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Ferrita
Potencia nominal	600W
Voltaje	12V
RPM	1000
Regulador	12V 60Amp
Velocidad del viento	
Para arrancar	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 Kg

Tabla 4.3. – Características aerogenerador Bornay 600. Fuente propia.

- *Regulador de carga/rectificador AC-DC para aerogenerador 12V 60Amp:* El sistema eólico contará con un regulador rectificador, figura 4.5 que como función principal tendrá la de transformar la energía alterna generada en energía de corriente continua apta a 12V para el banco de baterías. Además el regulador controlará el estado de la carga de la batería evitando sobrecargas y controlando también el funcionamiento del aerogenerador.



Figura 4.5. – Regulador aerogenerador. Fuente propia.

- *Termo anemómetro digital AN300 para la medición de la velocidad del viento:* Para medir la velocidad del viento en diferentes puntos se utilizar un Termo anemómetro con paleta grande, este será capaz de medir velocidades, flujos y temperaturas, con su paleta de 10cm permite obtener datos

más exactos en conductos más grandes. A continuación en la figura 4.6 se puede apreciar esta herramienta.



Figura 4.6. – Termo anemómetro digital AN300. Fuente propia.

- *Fichas y cables para conexión del sistema:* Para la conexión del aerogenerador con el del banco de baterías y regulador se utilizará una manguera de $3 \times 16 \text{ mm}^2$ libre de alógenos Rz1-k (AS) y fichas individuales dentro de la caja común de conexión para conectar cada una de las tres fases del aerogenerador a sus entradas correspondientes en el regulador. En la figura 4.7 se mostrará.

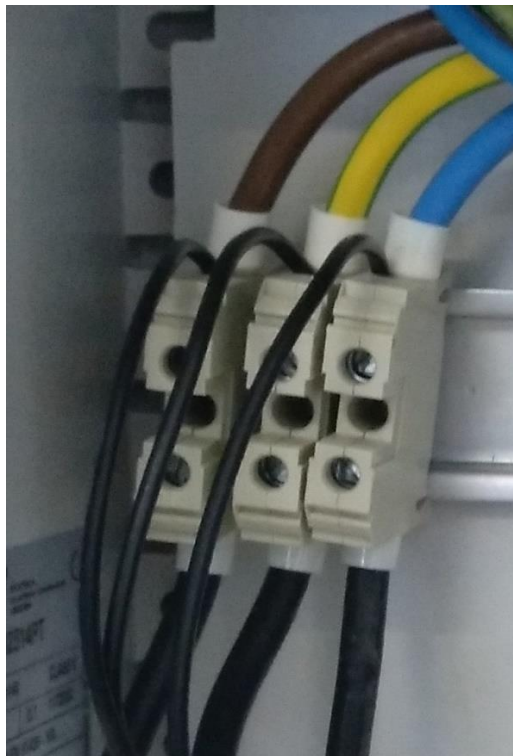


Figura 4.7. – Conexión del aerogenerador. Fuente propia.

4.1.3.Elementos comunes de medida, almacenamiento, descarga de baterías y posterior inversión:

A continuación se mostrarán los aparatos de medida que he usado para la medida general del potencial. Para medir la tensión y la corriente del sistema o de sus elementos, además también se verá el banco de baterías usado para el almacenaje y el inversor para obtener la corriente de salida para las cargas.

- *Analizador de redes:* Este analizador es un instrumento que analiza las propiedades de las redes eléctricas especialmente la transmisión de señales eléctricas, en nuestro caso tendremos un analizador de redes marca “Cahuvín Arnoux” modelo “C.A 8334B”. Figura 4.8.



Figura 4.8. – Analizador de redes. Fuente propia.

- *Polímetro digital:* 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.

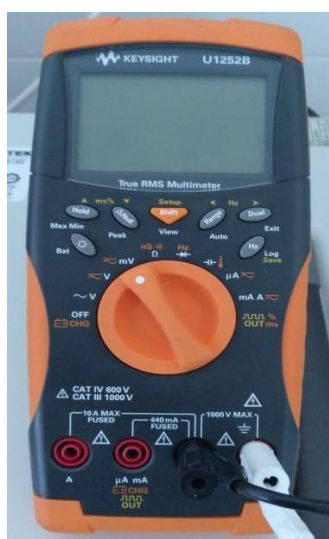


Figura 4.9. – Polímetro digital. Fuente propia.

- *Pinza amperimétrica:* Este instrumento medirá la intensidad que circula por un determinado conductor de forma digital. Utilizaremos una pinza marca “Clamp meter” modelo “60.144”. figura 4.10.



Figura 4.10. – Pinza amperimétrica. Fuente propia.

- *Banco de baterías 6pvs 420:* La principal función de un banco de baterías es la de almacenamiento. Almacena la energía generada por el sistema de generación para poder consumirse en otro momento. En este caso tendremos un banco formado por 6 vasos de batería de 2V cada uno conectados en serie para formar un banco de 12V. Figura 11. Cuyas características principales las podremos ver en la tabla 4.4.



Figura 4.11. – Banco de baterías. Fuente propia.

Características vaso batería 6pvs 420	
Ch 100	431 Ah
Ch 10	334 Ah
d 20°C	1,24 kg/l
Carga por celda	2,3-2,4V
Ch 20	368 Ah
Ri	0,63 mΩ
Ik	3,24 KA

Tabla 4.4. – Características vaso batería 6pvs 420. Fuente propia.

- *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 (C.C) en otro voltaje a la salida de corriente alterna (C.A). El de esta instalación será un inversor marca “Victron energy” modelo “Phoenix 12/800”. Figura 12.



Figura 4.12. – Inversor. Fuente propia.

4.2. Localización de la microgrid y lugares de estudio:

La instalación de la parte exterior de la microgrid se encuentra en el tejado del complejo de laboratorios y de I+D dentro del Campus Científico Tecnológico de la Escuela Politécnica Superior de Linares (Jaén). Figura 4.13. Sus coordenadas exactas son de $38,085^{\circ}$ N y $3,645^{\circ}$ W y aproximadamente a unos 391 m por encima del nivel del mar. En la Figura 4.14 se muestra el Campus al completo y en la Figura 4.15 se marca la ubicación exacta en el tejado de dicho edificio.

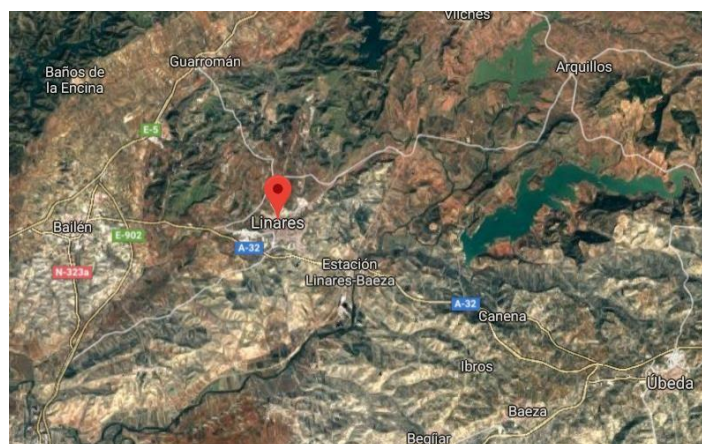


Figura 4.13. – Localización Linares. Fuente [9].



Figura 4.14. – Campus Científico Tecnológico EPS Linares. Fuente [9].



Figura 4.15. – Ubicación exacta en complejo de laboratorios. Fuente [9].

Además de la ubicación de la microgrid del Campus de Linares también debemos conocer la ubicación de la ciudad de Conil de la Frontera (Cádiz). Donde tomaremos datos de viento y solar y poder compararlos con el potencial de Linares. La ubicación en Conil no será un lugar exacto como en Linares ya que lo que se hará será generalizar para toda la ciudad. En las Figuras 4.16 y 4.17 se mostrará en el mapa la localización de la ciudad la cual tiene unas coordenadas de 36.277° N y 6.0876° W.

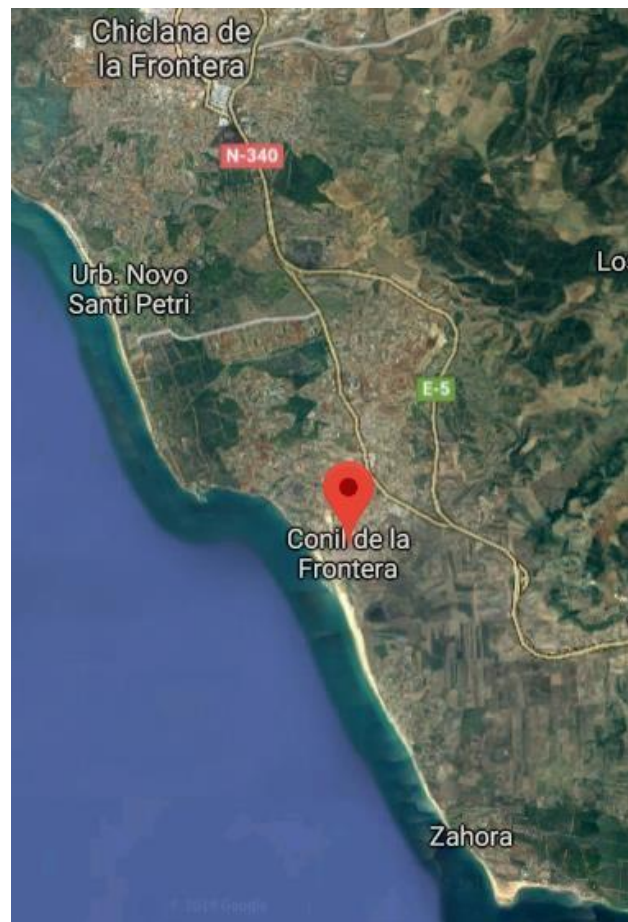


Figura 4.16. – Imagen Satélite parte de la provincia de Cádiz. Fuente [9].



Figura 4.17. – Imagen Satélite de la ciudad de Conil de la Frontera. Fuente [9].

4.3. Medidas experimentales de generación eléctrica del sistema Solar FV:

En este apartado y los siguientes se explicará la metodología seguida para la obtención de los datos del trabajo, cada uno de los materiales o elementos usados y los programas o aplicaciones que han sido utilizados en el proceso.

Lo primero es la obtención de las medidas experimentales del sistema solar FV que incluye la microgrid. En un primer momento se midió el ángulo en el que estaban colocadas las placas fotovoltaicas ya que es algo importante que dependiendo del ángulo la radiación solar se verá afectada de una forma u otra alterando por supuesto el resultado en los datos.

Una vez obtenido este ángulo que es de 33° de inclinación se pudo proceder a la búsqueda y obtención de datos, para ello se ha usado la aplicación PVGIS, fuente 10. Esta aplicación permitió hacer un estudio de radiación solar durante 10 años, exactamente desde el año 2007 al año 2016.



Esta aplicación facilitó con la correcta introducción de la ubicación, en nuestro caso Linares y Conil, los datos mensuales medios de radiación para cada una de las ciudades durante 10 años. Además de la radiación para el ángulo de 30° en el que están situadas las placas, se obtuvo mediante la aplicación la radiación horizontal y la radiación para un ángulo óptimo que considera la aplicación de 33°.

Una vez obtenidos esos datos medios mensuales aplicando a cada mes su correspondientes días, se obtuvo la radiación diaria media en kWh/m²*día.

En la figura 4.18 podemos ver la aplicación con los datos de Linares seleccionados.

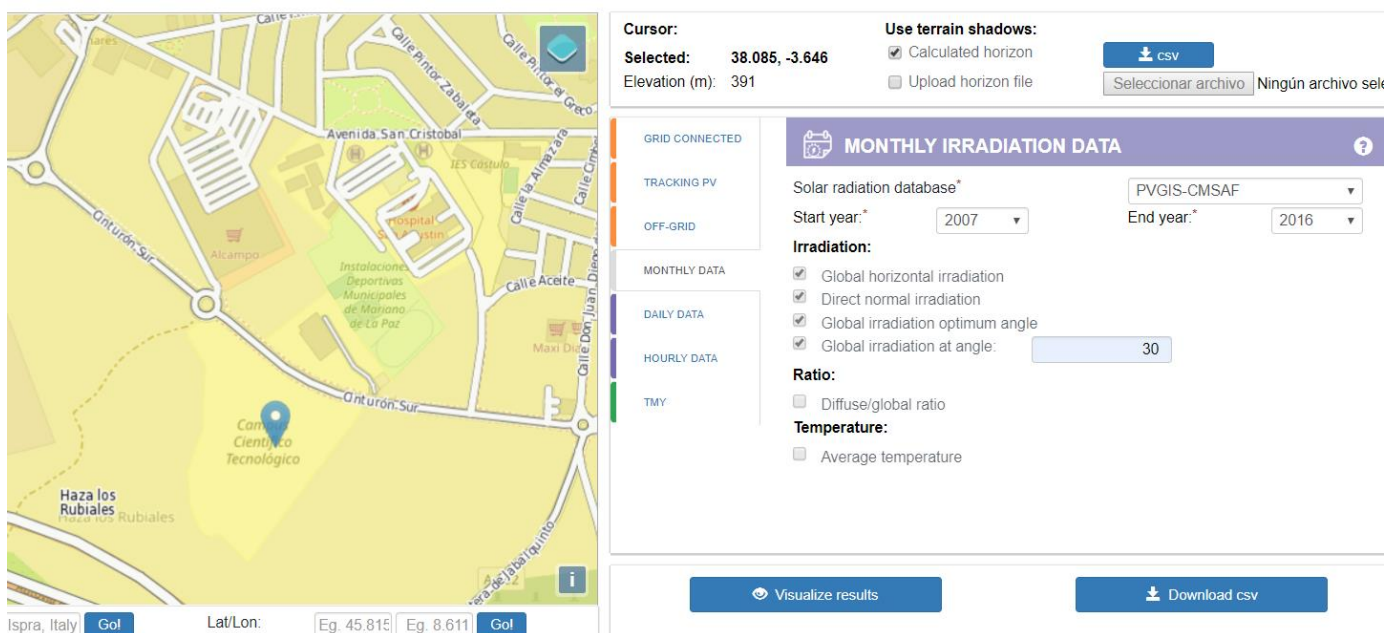


Figura 4.18. – Aplicación PVGIS con los datos de Linares para obtener radiación. Fuente [10].

Y en la figura 4.19 lo que podemos ver son la visualización de los resultados de manera directa en la aplicación, además de estos resultados la aplicación permite la descarga de un fichero donde vienen desglosados todos los datos pedidos.

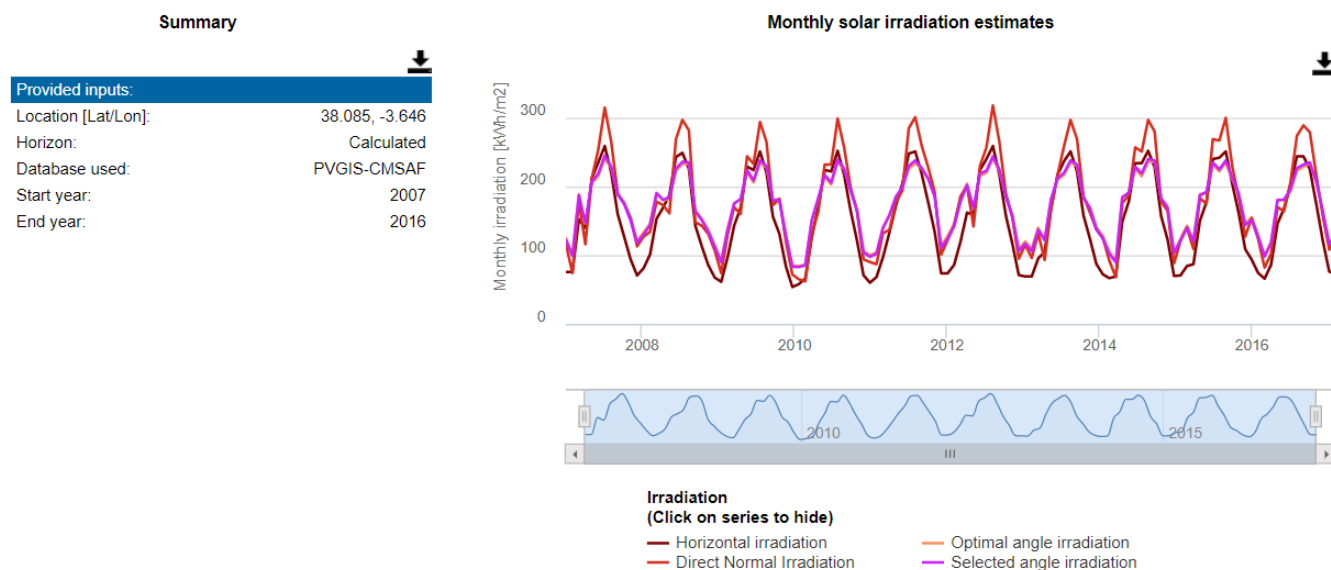


Figura 4.19. – Resultados directos en la aplicación PVGIS de radiación. Fuente [10]

Lo primero, apuntar que aunque estos datos hablados anteriormente han sido obtenidos para la ciudad de Linares y de Conil. Solo te mostrarán y se tendrán en cuenta los datos de Linares, ya que fotovoltaicamente hablando el potencial de ambas ciudades y muy similar, de este modo es innecesario comparar las mediciones porque serian casi iguales. A la hora de comparación este trabajo se centrara únicamente en la parte eólica que es donde reside la gran diferencia de potencial.

Con los datos de los 10 años de radiación obtenidos se obtuvieron aplicando medias la radiación mensual y posteriormente diaria, para así de esta manera poder ofrecer una generación energética mensual para los meses de Diciembre y Enero (invierno) y Julio y Agosto (verano).

Teniendo en cuenta además estos valores de radiación media por día ($\text{Wh/m}^2 \cdot \text{día}$) se puede obtener las horas de sol pico (HSP). Esto quiere decir las horas que tendremos una radiación pico en un día predeterminado de un mes en concreto. Las HSP se obtienen dividiendo entre 1000 la radiación diaria media como vemos en la ecuación 4.1 a continuación.

$$\text{Horas de sol pico (HSP)} = \left(\frac{Wh}{m^2 * día} \right) / 1000$$

Ecuación 4.1. Ecuación para Horas de Sol Pico. Fuente [21].

De esta manera siendo 1000 los W/m² la irradiancia estándar en España obtenemos la cantidad de horas pico que obtendremos cada mes. Con todo esto se construía una tabla que se verá en el punto 5.

Una vez obtenidos esos datos nos centraremos en los meses de invierno y verano como dijimos y junto con las HSP y la potencia del inversor (P_{inv}) que oscilara entre 1 (kW) y 5 (kW) (puede ser muy superior pero en este trabajo hemos optado por esas porque para una vivienda de 4 personas puede llegar a cumplir la demanda sin necesidad de colocar una potencia superior). Multiplicando la potencia del inversor por las horas de sol pico como vemos en la ecuación 4.2 obtenemos la energía eléctrica fotovoltaica (kWh) generada a lo largo de cada uno de los meses del año.

$$\text{Energía eléctrica FV (kWh)} = P_{Inv} * HSP$$

Ecuación 4.2. – Obtención de la Energía Eléctrica FV. Fuente [21].

Con todo esto ya cuando veamos los resultados podremos ver la generación fotovoltaica (energía kW/h) diaria para los meses de verano y de invierno.

Esto anterior es para la energía FV generada mensualmente. Pero que ocurre si lo que queremos en la generación diaria a cada hora del día. Pues bien para esto lo hemos hecho con la potencia en vez de la energía y gracias de nuevo a la aplicación PVGIS, fuente 10, se han podido obtener los datos en este caso de irradiancia (W/m²) para cada hora de cada día de un año completo.



Con estos datos obtenidos (de nuevo aclarar que únicamente para la ciudad de Linares) se puede obtener la potencia que es generada en las células FV para un día promedio de invierno y para otro de verano. Para este caso la potencia del inversor elegida para el cálculo de los datos será de entre 2kW y 3kW para así en el caso de 2kW quedarnos por debajo de la demanda y para el caso de 3kW poder superarla. De nuevo decir que la potencia del inversor podría ser cualquiera pero en este caso para la demanda de 4 personas que tenemos con estas nos valdrá.

También decir que para la obtención de la potencia del inversor no se puede asumir directamente la potencia generada por las placas ya que estas tienen una serie de pérdidas que hay que afrontar. Y que por lo tanto la potencia del inversor siempre será inferior que la de las placas instaladas. Estas pérdidas se llamarán factor de pérdidas (System loss (%)) y serán aproximadamente del 12%. Esas pérdidas serán de dos tipos, las pérdidas en la placa que tendrán relación con la suciedad de los módulos y la temperatura en estas, además del cableado de conexión. Y luego las pérdidas relacionadas con el inversor que será su rendimiento, para eso aplicaremos la ecuación 4.3 en la que podremos ver todo.

$$P_{Inversor} = P_{placas} * \eta_{placa} * \eta_{Inv}$$

$$\eta_{placa} = \text{entre } 0.75 \text{ y } 0.85 \text{ (fuente 21)}$$

$$\eta_{Inv} = \text{entre } 0.89 \text{ y } 0.9 \text{ (fuente 21)}$$

Ecuación 4.3. – Obtención de la potencia del inversor. Fuente [21].

El rendimiento de las placas es variable dependiendo de los meses del año por ello la figura 4.19.1 podemos ver una tabla donde se ve el rendimiento de cada mes y un promedio anual.

<i>Mes</i>	<i>PR</i>
Enero	0,851
Febrero	0,844
Marzo	0,801
Abril	0,802
Mayo	0,796
Junio	0,768
Julio	0,753
Agosto	0,757
Septiembre	0,769
Octubre	0,807
Noviembre	0,837
Diciembre	0,850
<i>Promedio</i>	0,803

Figura 4.19.1. – Rendimiento placas solares por mes. Fuente [10].

Una vez aplicada esta ecuación para potencias de inversor de 2 y 3 (kW) como he dicho anteriormente tendremos la potencia eléctrica generada para 24 medidas en un día tipo promedio de verano y otro de invierno.

En los resultados veremos de manera individual esta producción FV y después comparada con los datos de consumo de la vivienda y con la parte eólica del sistema.

4.4. Medida experimental y monitorización de la producción eléctrica del Aerogenerador:

Para la obtención de las medidas del aerogenerador se han seguido varios procesos para la diferente toma de datos que se han llevado a cabo.

Lo primero fue la obtención de la curva de potencial del aerogenerador que veremos en el apartado siguiente de resultados. Esta curva la obteneos directamente de las características proporcionadas por Bornay, fuente 1. Los datos del fabricante fueron introducidos en una hoja de cálculo con la cual se obtienen la potencia que es capaz de generar dicho aerogenerador a su determinado rango de velocidades. Una vez con estos datos ya seremos capaces de conocer la potencia que entregara el aerogenerador solo midiendo la velocidad del viento.

Además se ha confeccionado con los datos de velocidad y potencia eléctrica una tabla donde se muestra la potencia del viento (P_w) y el rendimiento eléctrico del aerogenerador. 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.

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

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

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

$$V = \text{velocidad del viento (m/s)}$$

Ecuación 4.4. – Potencia del viento y elementos que la integran. Fuente [4].

$$\text{Rendimiento eléctrico} = \eta_e = \frac{Pe}{Pw} (\%)$$

$Pe = \text{Potencia eléctrica generada (W)}$

$Pw = \text{Potencia del viento (W)}$

Ecuación 4.5. –Rendimiento eléctrico (Aprovechamiento del viento). Fuente [4].

Después se han obtenido los datos de potencial eólico elevado en Linares. Para ello con la ayuda del analizador de redes comentado en apartados anteriores se obtuvieron datos para cerca de 20 días de potencial elevado. El problema fue la no continuidad del viento en Linares, es decir, un supuesto día con elevado potencial contenía rachas de potencia elevadas pero durante la mayor parte del día ese potencial se veía reducido a cero por lo tanto he optado por desechar esos días ya que no ofrecían la información que se está buscando. Por lo tanto esa lista se ha visto reducida a 8 tomas donde podremos ver dos con un potencial muy por encima de la media y las demás tomas donde se puede observar un potencial alto constante a lo largo de todo el día. Esos 8 días de toma son tomas de 24 horas de duración que han sido tomadas en intervalos de 5 segundo entre toma. Obteniendo así una hoja de cálculo con muchos datos los cuales han sido sumados para obtener así el total de la producción del día. En la figura 4.20 podemos ver un ejemplo de la tabla que obtendríamos gracias al analizador.

Hora	Frecuencia	U1 RMS	U2 RMS	U3 RMS	V1 RMS	V2 RMS	V3 RMS	A1 RMS	A2 RMS	A3 RMS	W1	W2	W3	W Total	Wh1	Wh2	Wh3	Wh Total
	Hz	V	V	V	V	V	V	A	A	A	W	W	W	W	Wh	Wh	Wh	Wh
10:35:00	---		5,9	5,9	5,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:35:05	---		8,3	8,3	8,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:35:10	---		7,9	7,9	7,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:35:15	---		7,6	7,6	7,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:35:20	---		5,8	5,8	5,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:35:25	---		5,9	5,9	5,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:35:30	---		8,9	8,9	8,9	3,4	3,4	3,4	0,5	0,5	0,5	2,64	2,58	2,6	7,82	0	0	0
10:35:35	---		10,1	10,1	10,1	5,9	5,9	5,9	1,7	1,7	1,7	9,13	9,18	9,2	27,51	0	0	0
10:35:40	---		9,9	9,9	9,9	5,7	5,7	5,7	0,8	0,8	0,8	4,41	4,36	4,5	13,27	0	0	0
10:35:45	---		10,5	10,5	10,5	6,1	6,1	6,1	4,1	4,1	4,1	23,9	23,7	24	71,59	0,1	0,1	0,1
10:35:50	---		10,1	10,1	10,1	5,9	5,8	5,9	1,6	1,6	1,6	8,62	8,54	8,71	25,86	0,1	0,1	0,1
10:35:55	---		10,1	10,1	10,1	5,9	5,9	5,9	1,5	1,5	1,5	8,07	8,1	8,2	24,38	0,1	0,1	0,1
10:36:00	---		10,2	10,2	10,2	5,9	5,9	6	2,2	2,2	2,2	12,5	12,4	12,5	37,41	0,1	0,1	0,1
10:36:05	---		10,3	10,3	10,2	5,9	6	5,9	2,3	2,3	2,4	13,1	13,1	13,2	39,32	0,1	0,1	0,1
10:36:10	---		10	10,1	10	5,8	5,8	5,8	1,1	1,1	1,1	5,84	5,89	5,91	17,64	0,1	0,1	0,1
10:36:15	---		9,9	9,9	9,9	5,7	5,7	5,7	0,9	0,8	0,9	4,36	4,34	4,37	13,08	0,1	0,1	0,1
10:36:20	---		8,6	8,6	8,6	3,2	3,2	3,2	0,1	0,1	0,1	0,67	0,63	0,64	1,95	0,1	0,1	0,1
10:36:25	---		6,7	6,7	6,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
10:36:30	---		8,1	8	8,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
10:36:35	---		7,1	7,1	7,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
10:36:40	---		6,2	6,2	6,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
10:36:45	---		7,2	7,2	7,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
10:36:50	---		8,8	8,8	8,7	3,2	3,2	2,2	0,1	0,1	0,1	0,37	0,38	0,36	1,11	0,1	0,1	0,1
10:36:55	---		10	10	10	5,8	5,8	5,8	1,2	1,3	1,3	6,46	6,8	6,63	19,89	0,1	0,1	0,1
10:37:00	---		9,5	9,5	9,5	5,5	5,5	5,5	0,4	0,5	0,5	2,36	2,53	2,44	7,34	0,1	0,1	0,1
10:37:05	---		7,7	7,7	7,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
10:37:10	---		6,7	6,7	6,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
10:37:15	---		7,3	7,3	7,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
10:37:20	---		9,6	9,5	9,5	5,5	5,5	5,5	0,1	0,1	0,2	0,72	0,73	0,73	2,18	0,1	0,1	0,1
10:37:25	---		9,7	9,7	9,7	5,6	5,6	5,6	0,4	0,4	0,4	1,91	1,93	1,95	5,79	0,2	0,2	0,2
10:37:30	---		9,9	9,9	9,9	5,7	5,7	5,7	1,1	1,1	1,1	5,86	5,73	5,89	17,49	0,2	0,2	0,2
10:37:35	---		8,9	8,9	8,9	3,2	3,3	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2

Figura 4.20. – Datos de parámetros eléctricos obtenidos con el analizador de redes conectado a la salida del aerogenerador. Fuente [18].

El analizador para la obtención de estos datos tiene conectado sus tomas de tensión a cada una de las tres fases del aerogenerador a su salida trifásica y de igual forma con las tomas de corriente. Para que las medidas sean correctas las baterías tienen que tener un mínimo de descarga ya que con las baterías 100% cargadas el aerogenerador consta con un sistema de seguridad que limita la generación para así no dañar las baterías.

Por último se han obtenido las velocidades durante un año completo para las ciudades de Linares y Conil para así poder conocer la velocidad media de cada ciudad y ver la capacidad de generación que pueden tener ambas localizaciones. Para eso se ha usado la aplicación PVGIS, fuente 10, que además de proporcionarnos los datos de radiación tiene la capacidad también de ofrecer todos los datos atmosféricos (viento, humedad, precipitación, dirección de viento, etc.). En ese caso para este apartado nos hemos quedado con las medidas de viento, el programa ofrece estas medidas tomadas durante un año completo a 24 tomas por día de hora en hora. En la figura 4.21 podemos ver un ejemplo de los datos obtenidos.

Date&Time (UTC)	Windspeed (m/s)
01/01/2010 0:00	4,86
01/01/2010 1:00	4,84
01/01/2010 2:00	4,83
01/01/2010 3:00	4,81
01/01/2010 4:00	4,79
01/01/2010 5:00	4,77
01/01/2010 6:00	4,75
01/01/2010 7:00	4,73
01/01/2010 8:00	5,5
01/01/2010 9:00	6,26
01/01/2010 10:00	7,01
01/01/2010 11:00	7,77
01/01/2010 12:00	7,53
01/01/2010 13:00	7,29
01/01/2010 14:00	7,05
01/01/2010 15:00	6
01/01/2010 16:00	4,95
01/01/2010 17:00	3,9
01/01/2010 18:00	3,48
01/01/2010 19:00	3,06
01/01/2010 20:00	2,63
01/01/2010 21:00	2,46
01/01/2010 22:00	2,29
01/01/2010 23:00	2,12
02/01/2010 0:00	2,19
02/01/2010 1:00	2,25
02/01/2010 2:00	2,32

Figura 4.21. – Ejemplo velocidades de viento obtenidas para Linares. Fuente [10].

Una vez obtenidos todos estos datos tanto para Linares como para Conil he sumado y he hecho la media diaria para cada uno de los días de los doce meses para así poder obtener además de la media de viento mensual. La que más importará en futuros apartados que será la media global de todo el año.

Con todas estas medidas de viento y los datos de producción del aerogenerador obtenidos con anterioridad ya podemos saber lo que el aerogenerador Bornay 600W de potencia nominal es capaz de generar si lo situáramos tanto el Linares como en Conil y obtener su producción para un año.

Como ya se explicó en el apartado anterior para el caso del sistema eólico si se han obtenidos datos tanto para la ciudad de Linares como para la de Conil porque aquí sí que se pueden apreciar las grandes diferencial de potencial que tienen ambas ciudades.

El único problema que aquí reside en que para los datos obtenidos de viento solo se podrá calcular la potencia obtenida con el aerogenerador pero no energía. Esto quiere decir que solo podremos ver la potencia eólica generada en un día tipo de verano e invierno pero no podremos obtener la energía eólica generada a lo largo de un mes completo como ya hicimos con la FV. Esto se debe a que aún no se dispone del anemómetro digital colocado en el Campus de Linares. Al no poder conocer de manera exacta la velocidad del viento en ese punto exacto en Linares no se puede construir esta grafica con la energía eólica. De este modo en siguientes apartados cuando se muestren los datos mensuales completos de consumo y generación FV no podrá implicarse los datos eólicos ya que no se podrá disponer de la energía, pero sí de la potencia y por lo tanto para las gráficas diarias si estará tanto el sistema FV, el eólico y el consumo de la vivienda.

4.5. Ley de Weibull para la obtención de la cantidad de horas anuales de cada velocidad en Linares y Conil:

Esta ley ha sido usada en este proyecto para la obtención del número de horas que tendrá cada velocidad del viento a lo largo de un año completo para cada una de las dos ciudades del estudio (Linares y Conil).

Lo primero que vamos a ver es la fórmula principal que se ha usado, es decir la propia Ley de Weibull para la estimación de horas de viento eólico al año. La ecuación 4.6 muestra la formula general usada.

$$\text{Función de Weibull} = Fw(v) = \frac{k}{c} * \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} * \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right)$$

Ecuación 4.6. – Función de Distribución Eólica de Weibull. Fuente [19].

En esta ecuación encontramos varios elementos los cuales no conocemos así que a continuación se describirán:

- FW(v): Este elemento será la propia función de Weibull aplicada a la velocidad del viento.
- K: será un factor de asimetría que en este estudio siempre tendrá una valor constante de 2.
- V: será la propia velocidad del viento, es decir, en m/s la velocidad a la que queremos obtener la cantidad de horas al año que tendremos.
- C: este último valor será el más importante ya que esta “c” será un factor de escala el cual es un valor muy próximo (casi idéntico) al de la velocidad media anual del lugar del estudio. Esta velocidad ha sido obtenida mediante los procesos del apartado 4.4. Cuando en dicho apartado se obtienen los valores

de la velocidad de un año completo (tomados por cada hora de cada día de cada mes) se hace una media diaria y con esto una media mensual y finalmente la media anual que es la que necesitamos para esta función.

Una vez aplicada la ecuación, se multiplicará el valor obtenido por 8760 que son las horas de un año y así se obtienen el número de horas al año que se tendrá una determinada velocidad de viento para ambas ciudades. En la figura 4.22 se puede ver un ejemplo de la aplicación de dicha función. Con esto se puede obtener de manera final la energía que puede generar el Aerogenerador a lo largo de un año tanto en Linares como en Conil.

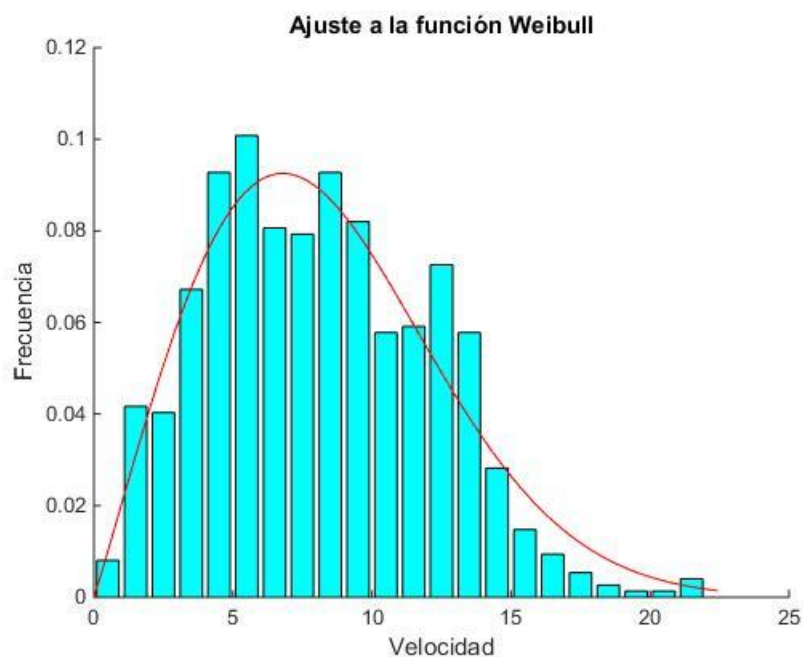


Figura 4.22. – Ejemplo del resultado de una ajuste con la función Weibull. Fuente [19].

4.6. Obtención de las curvas de carga:

Por último para este punto vamos a ver como se han obtenido las curvas de carga para la vivienda de 4 personas, estas curvas las usaremos en apartados siguientes para ver si se puede cubrir la demanda de la vivienda con la generación de la microgrid.

Las curvas de energía han sido obtenidas directamente gracias a la compañía Endesa Distribución, fuente 17. Gracias a los contadores telemedida inteligentes que tenemos instalados en nuestros hogares. La empresa suministradora obtiene de forma directa todo el consumo de la vivienda y lo pone a nuestra disposición solo entrando en su web e identificándonos como clientes. En este caso los datos han sido obtenidos para una vivienda de 4 personas de la provincia de Jaén.

Estos datos no los podemos descargar por medio de una hoja de cálculo donde nos dicen el día de la medida y la hora. Siendo las tomas de hora en hora por lo tanto 24 tomas por día. De esta manera obtenemos medidas de energía consumida en kWh.

Los datos como ya se ha dicho en apartados anteriores será de las temporadas de invierno y verano, en el caso de invierno los datos será de los meses de Diciembre y Enero y en el caso de verano serán de los meses de Julio y Agosto. En la figura 4.23 se ve un ejemplo de dos datos obtenidos por Endesa.



Día	Hora 1 (kWh)	Hora 2 (kWh)	Hora 3 (kWh)	Hora 4 (kWh)	Hora 5 (kWh)	Hora 6 (kWh)	Hora 7 (kWh)	Hora 8 (kWh)	Hora 9 (kWh)	Hora 10 (kWh)	Hora 11 (kWh)	Hora 12 (kWh)	Hora 13 (kWh)	Hora 14 (kWh)	Hora 15 (kWh)
02/07/2018	0,211	0,206	0,16	0,127	0,076	0,108	0,154	0,104	0,149	0,149	0,094	0,131	0,135	0,232	0,457
03/07/2018	0,196	0,193	0,235	0,207	0,079	0,104	0,152	0,151	0,142	0,162	0,106	0,098	0,136	0,144	0,362
04/07/2018	0,196	0,111	0,167	0,111	0,09	0,115	0,144	0,115	0,113	0,18	0,233	0,114	0,112	0,173	0,378
05/07/2018	0,196	0,179	0,143	0,102	0,094	0,121	0,127	0,134	0,126	0,149	0,22	0,177	0,184	0,114	0,116
06/07/2018	0,169	0,157	0,165	0,087	0,088	0,144	0,118	0,162	0,184	0,171	0,127	0,158	0,174	0,106	0,422
07/07/2018	0,187	0,134	0,17	0,1	0,101	0,154	0,138	0,108	0,13	0,145	0,12	0,147	0,166	0,105	0,592
08/07/2018	0,127	0,131	0,193	0,174	0,144	0,127	0,18	0,135	0,081	0,127	0,146	0,115	0,133	0,188	0,358
09/07/2018	0,206	0,161	0,13	0,156	0,097	0,095	0,139	0,183	0,146	0,129	0,178	0,119	0,095	0,143	1,162
10/07/2018	0,272	0,269	0,225	0,184	0,18	0,142	0,101	0,338	0,17	0,183	0,142	0,114	0,184	0,193	0,307
11/07/2018	0,285	0,272	0,169	0,096	0,086	0,138	0,159	0,172	0,122	0,144	0,17	0,097	0,097	0,163	0,165
12/07/2018	0,217	0,221	0,148	0,104	0,098	0,15	0,168	0,125	0,106	0,163	0,142	0,101	0,139	0,168	0,103
13/07/2018	0,228	0,187	0,119	0,149	0,105	0,091	0,122	0,151	0,077	0,104	0,197	0,119	0,115	0,137	0,161
14/07/2018	0,227	0,119	0,089	0,151	0,126	0,077	0,149	0,165	0,094	0,2	0,149	0,104	0,094	0,146	0,161
15/07/2018	0,242	0,121	0,1	0,165	0,084	0,092	0,125	0,12	0,084	0,365	0,188	0,108	0,138	0,172	0,175
16/07/2018	0,149	0,19	0,141	0,09	0,163	0,124	0,108	0,148	0,215	0,087	0,146	0,139	0,106	0,097	0,174
17/07/2018	0,243	0,147	0,107	0,158	0,133	0,114	0,089	0,204	0,115	0,104	0,149	0,146	0,099	0,198	0,676
18/07/2018	0,262	0,19	0,124	0,114	0,184	0,112	0,095	0,165	0,171	0,097	0,13	0,171	0,104	0,114	0,336
19/07/2018	0,238	0,198	0,108	0,09	0,139	0,148	0,084	0,118	0,175	0,16	0,119	0,107	0,153	0,176	0,584
20/07/2018	0,434	0,252	0,172	0,094	0,119	0,158	0,115	0,182	0,144	0,168	0,137	0,114	0,18	0,147	0,313
21/07/2018	0,248	0,215	0,165	0,214	0,132	0,117	0,125	0,171	0,311	0,658	0,193	0,175	0,119	0,152	0,33
22/07/2018	0,204	0,171	0,142	0,132	0,205	0,205	0,175	0,146	0,108	0,111	0,134	0,226	0,168	0,176	0,137
23/07/2018	0,141	0,147	0,22	0,172	0,118	0,115	0,148	0,177	0,12	0,106	0,119	0,221	0,143	0,132	0,552
24/07/2018	0,217	0,187	0,206	0,186	0,125	0,101	0,122	0,233	0,135	0,107	0,167	0,134	0,111	0,124	0,573
25/07/2018	0,239	0,145	0,113	0,133	0,186	0,153	0,103	0,119	0,195	0,111	0,096	0,148	0,178	0,1	0,098
26/07/2018	0,296	0,214	0,211	0,116	0,12	0,173	0,129	0,14	0,119	0,2	0,134	0,113	0,103	0,285	0,53
27/07/2018	0,25	0,124	0,168	0,172	0,108	0,105	0,143	0,184	0,123	0,11	0,173	0,15	0,104	0,114	0,182
28/07/2018	0,253	0,197	0,153	0,12	0,164	0,131	0,095	0,094	0,161	0,178	0,113	0,096	0,329	0,189	0,214
29/07/2018	0,218	0,182	0,172	0,169	0,18	0,166	0,119	0,106	0,161	0,174	0,16	0,232	0,495	0,521	0,705
30/07/2018	0,233	0,155	0,102	0,086	0,149	0,158	0,112	0,103	0,175	0,101	0,148	0,168	0,114	0,112	0,324
31/07/2018	0,264	0,165	0,122	0,098	0,1	0,154	0,146	0,155	0,099	0,229	0,144	0,094	0,12	0,228	0,455

Figura 4.23. –Ejemplo de los datos que nos proporciona Endesa para el consumo eléctrico de una casa de 4 personas. Fuente [17].

Una vez obtenidos estos datos. Lo que se ha hecho en una media por hora de medida, es decir, la media de la hora 1 de cada día de los dos meses, la media de la hora 2 de cada uno de los días de los dos meses y así sucesivamente. De este modo lo que se ha obtenido es la curva de carga para un día promedio de los dos meses de invierno y de los dos meses de verano. Todos estos datos se verán reflejados y analizados en el apartado 5.

Además de estos datos de energía que se aplicarán para ver el consumo en meses completos, se han tenido que obtener datos diarios de potencia para así poder compararla con la generación FV y eólica.

Estos datos se han obtenido por medio del analizador de redes. Esta herramienta ha sido colocada en la vivienda tomando medidas durante días completos para las estaciones de invierno y verano. Posteriormente de estos datos diarios se han obtenido muestras por hora (24 muestras al día) formando así una curva de carga de un día promedio para invierno y otro día promedio para las tomas de verano. Todo esto medidas de potencia para así poder compararlas con las potencias obtenidas de la generación eólica y solar. En la figura 4.24 se puede ver un ejemplo de los datos que se obtienen del analizador en la toma de datos.

Hora	V1 RMS	A1 RMS	W1
	V	A	W
23:43:00	230,3	3,1	712,7
23:43:01	230,2	3,1	708,3
23:43:02	230,2	3,1	707,2
23:43:03	230,1	3,1	707,9
23:43:04	230,1	3,1	708,1
23:43:05	230,2	3,1	708,4
23:43:06	230,2	3,1	709,5
23:43:07	230,2	3,1	712,8
23:43:08	230,2	3,1	711,9
23:43:09	229,9	3,1	710,7
23:43:10	229,7	3,1	710,9
23:43:11	229,6	3,1	710,3
23:43:12	229,5	3,1	706,1
23:43:13	229,8	3,1	710,6
23:43:14	230	3,1	710,3
23:43:15	229,9	3,1	709,3
23:43:16	229,9	3,1	709,5
23:43:17	230	3,1	709,6
23:43:18	230,1	3,1	709,8
23:43:19	230,2	3,1	709,4

Figura 4.24. –Ejemplo datos obtenidas del analizador para curva de carga diaria. Fuente [18].

Como se ve en la imagen del analizador obtenemos datos cada segundo para un día completo y de ahí es de donde se han obtenido las 24 tomas diarias para formar así el día promedio para cada estación.

Por último ya solo aclarar de nuevo que los datos obtenidos por Endesa serán los que usaremos para la curva mensual de energía que será comparada con la generación mensual FV. Mientras que la curva de potencia obtenida por medio del analizador de redes será la que utilizaremos para la comparación de potencias con la energía generada por medio del sistema FV y el sistema eólico.

5. Análisis de los resultados obtenidos y discusión de los mismos:

5.1. Mediciones del sistema solar FV:

En este primer punto se mostrarán los datos obtenidos para el sistema solar FV mediante los métodos anteriormente descritos.

Matizar de nuevo que las mediciones para el sistema FV han sido únicamente obtenidas para Linares porque tanto esta como Conil tienen una generación solar y radiaciones muy parecidas de tal modo que es una diferencia insignificante que no merece la pena estudiar.

Una vez dicho esto lo primero que veremos será un ejemplo ya que la tabla original sería demasiado grande para incluir aquí de los datos de radiación a lo largo de los 10 años anteriormente descritos. Como ya se dijo estos datos son obtenidos por los 12 meses de cada uno de los 10 años (2007 – 2016) incluyen para el ángulo óptimo de 30° para el de la azotea donde están las placas a 33° y la radiación horizontal. Estos datos de radiación mensual han sido obtenidos mediante la aplicación PVGIS, fuente 10. Los datos diarios mediante la división por cada uno de los días de cada mes. Los datos se pueden ver como ejemplo en la figura 5.1.



Año	Mes	Días del mes	Radiación mensual media Horizontal (kWh/m ²)	Radiación diaria media Horizontal (kWh/m ² . día)	Radiación mensual media ángulo óptimo 33º (kWh/m ²)	Radiación diaria media ángulo óptimo 33º (kWh/m ² .día)	Radiación mensual media ángulo azotea 30º (kWh/m ²)	Radiación diaria media ángulo azotea 30º (kWh/m ² .día)
2007	Enero	31	75,7	2,44	125	4,03	122	3,94
2007	Febrero	28	75,7	2,70	100	3,57	98,9	3,53
2007	Marzo	31	152	4,90	189	6,10	187	6,03
2007	Abril	30	140	4,67	146	4,87	147	4,90
2007	Mayo	31	212	6,84	25	0,81	207	6,68
2007	Junio	30	235	7,83	215	7,17	219	7,30
2007	Julio	31	259	8,35	241	7,77	245	7,90
2007	Agosto	31	220	7,10	227	7,32	229	7,39
2007	Septiembre	30	160	5,33	189	6,30	188	6,27
2007	Octubre	31	127	4,10	177	5,71	175	5,65
2007	Noviembre	30	97,7	3,26	154	5,13	150	5,00
2007	Diciembre	31	70,6	2,28	121	3,90	118	3,81
2008	Enero	31	81	2,61	133	4,29	130	4,19
2008	Febrero	29	101	3,48	146	5,03	144	4,97
2008	Marzo	31	153	4,94	191	6,16	190	6,13
2008	Abril	30	169	5,63	180	6,00	181	6,03
2008	Mayo	31	188	6,06	182	5,87	184	5,94
2008	Junio	30	243	8,10	223	7,43	226	7,53
2008	Julio	31	249	8,03	233	7,52	236	7,61
2008	Agosto	31	226	7,29	233	7,52	235	7,58
2008	Septiembre	30	143	4,77	165	5,50	164	5,47
2008	Octubre	31	113	3,65	153	4,94	151	4,87
2008	Noviembre	30	85,6	2,85	137	4,57	136	4,53
2008	Diciembre	31	67,5	2,18	115	3,71	112	3,61
2009	Enero	31	61,3	1,98	91,5	2,95	89,8	2,90
2009	Febrero	28	97,4	3,48	139	4,96	137	4,89
2009	Marzo	31	143	4,61	176	5,68	175	5,65
2009	Abril	30	169	5,63	181	6,03	182	6,07
2009	Mayo	31	229	7,39	221	7,13	224	7,23
2009	Junio	30	224	7,47	206	6,87	209	6,97

Figura 5.1. –Ejemplo de tabla de radiación para sistema solar FV (Linares). Fuente propia.

Una vez obtenidos y calculados los valores de la figura anterior se obtuvieron los valores de las horas de sol pico (HSP). Estos datos son muy importantes para poder obtener la energía generada por el sistema. Estos valores juntos con los valores de radiación, anteriormente obtenidos, han sido simplificados en una tabla donde se muestra la media de cada mes para cada uno de los 10 años del estudio. Obteniendo así un año promedio entre 2007 y 2016.

En la tabla 5.1 podremos ver todos estos valores.

Año	Mes	Días del mes	Radiación diaria media Horizontal (Wh/m ² . día)	HPS (0°)	Radiación diaria media ángulo óptimo 33° (kWh/m ² .día)	HPS (opt)	Radiación diaria media ángulo azotea 30° (Wh/m ² .día)	HPS (30°)
2007-2016	Enero	31	2.310,00	2,31	3.676,45	3,68	3.595,48	3,60
2007-2016	Febrero	28	3.156,00	3,16	4.464,36	4,46	4.399,74	5,60
2007-2016	Marzo	31	4.577,00	4,58	5.635,48	5,64	5.600,00	5,98
2007-2016	Abril	30	5.573,33	5,57	5.953,33	5,95	5.976,67	6,85
2007-2016	Mayo	31	7.012,90	7,01	6.180,65	6,18	6.845,16	7,01
2007-2016	Junio	30	7.896,66	7,90	7.233,33	7,23	7.013,33	7,70
2007-2016	Julio	31	8.125,80	8,13	7.590,32	7,59	7.703,23	7,39
2007-2016	Agosto	31	7.087,09	7,09	7.493,55	7,49	7.387,10	6,28
2007-2016	Septiembre	30	5.363,33	5,36	6.300,00	6,30	6.283,33	5,35
2007-2016	Octubre	31	3.935,40	3,94	5.409,68	5,41	5.354,84	4,14
2007-2016	Noviembre	30	2.697,33	2,70	4.230,00	4,23	4.143,33	3,87
2007-2016	Diciembre	31	2.211,61	2,21	3.813,55	3,81	3.870,86	3,87

Tabla 5.1. –Datos de radiación y HSP para Linares durante 10 años. Fuente propia.

Una vez con las horas de sol pico obtenidas se puede calcular la energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico como se explicó en el apartado 4. Para eso se han confeccionado unas tablas en las que como ya se dijo la potencia del inversor variará de 1kW a 5kW y de donde junto con esa potencia y las HSP se obtendrá la energía generada para cada día del mes. La tabla 5.2 nos muestra la energía generada dependiendo de la potencia del inversor instalado.

Diciembre Linares			Enero Linares		
P _{inv} (kW)	HSP (h)	E _{e FVS} (kWh)	P _{inv} (kW)	HSP (h)	E _{e FVS} (kWh)
1	0,00	0	1	3,68	3,68
2	3,81	7,62	2	3,68	7,36
3	3,81	11,43	3	3,68	11,04
4	3,81	15,24	4	3,68	14,72
5	3,81	19,05	5	3,68	18,4
Julio Linares			Agosto Linares		
P _{inv} (kW)	HSP (h)	E _{e FVS} (kWh)	P _{inv} (kW)	HSP (h)	E _{e FVS} (kWh)
1	0,00	0	1	0,00	0
2	7,59	15,18	2	7,49	14,98
3	7,59	22,77	3	7,49	22,47
4	7,59	30,36	4	7,49	29,96
5	7,59	37,95	5	7,49	37,45

Tabla 5.2. –Generación Eléctrica para diferente valores de Potencia del inversor. Fuente propia.



Con los valores de energía obtenidos y la curva de carga (energía) que se obtendrá en apartados posteriores para la vivienda de 4 personas ya podremos comparar la cantidad de energía que se consume y la que se genera. Los valores de la potencia del inversor serán de 4kW y 5 kW para los meses de Invierno, puesto que el consumo será mayor y la generación menor y de 2kW y 3kW para los meses de verano porque habrá más producción y menos consumo. De esa manera con estos valores de potencia se verá casi abastecida la demanda en el valor inferior y abastecido en el valor superior. Todos estos valores comunes se verán en el apartado 5.5.

Una vez obtenidos los datos de energía para los valores mensuales pasamos a los datos de potencia para los valores diarios. Estos datos de nuevo han sido obtenidos de la aplicación PVGIS, fuente 10. Se han obtenidos los datos de irradiancia para cada hora, de cada día, de cada mes, de un año completo. De esta manera mediante medias se ha obtenido un día promedio para los meses de Julio y Agosto para verano y Diciembre y Enero para invierno en los que tenemos la potencia eléctrica FV generada a cada hora del día. Los valores de potencia del inversor que se han usado en este caso han sido de 2kW y de 3kW ya que con ellos en las horas de máxima generación ya se podía superar la demanda.

Estos valores se pueden ver en dos tablas, la tabla 5.3 y la tabla 5.4 en ellas se muestran tanto los valores de 2 y 3 kW para los meses de invierno y los de verano.



Diciembre y Enero Día Promedio 2kW		Diciembre y Enero Día Promedio 3kW	
Hora	Potencia eléctrica (W)	Hora	Potencia eléctrica (W)
1	0,00	1	0,00
2	0,00	2	0,00
3	0,00	3	0,00
4	0,00	4	0,00
5	0,00	5	0,00
6	0,00	6	0,00
7	0,00	7	0,00
8	107,61	8	161,42
9	398,79	9	598,18
10	700,19	10	1.050,29
11	937,31	11	1.405,97
12	1.071,73	12	1.607,60
13	951,97	13	1.427,96
14	807,96	14	1.211,94
15	638,49	15	957,74
16	395,48	16	593,23
17	123,51	17	185,26
18	0,00	18	0,00
19	0,00	19	0,00
20	0,00	20	0,00
21	0,00	21	0,00
22	0,00	22	0,00
23	0,00	23	0,00
24	0,00	24	0,00

Tabla 5.3. –Generación FV para un día medio de invierno para 2 y 3 kW. Fuente propia.

Julio y Agosto Día Promedio 2kW		Julio y Agosto Día Promedio 3kW	
Hora	Potencia eléctrica (W)	Hora	Potencia eléctrica (W)
1	0,00	1	0,00
2	0,00	2	0,00
3	0,00	3	0,00
4	0,00	4	0,00
5	0,00	5	0,00
6	21,93	6	32,89
7	223,85	7	335,78
8	632,84	8	949,27
9	982,74	9	1.474,11
10	1.229,79	10	1.844,69
11	1.433,61	11	2.150,42
12	1.508,30	12	2.262,45
13	1.450,48	13	2.175,73
14	1.347,10	14	2.020,66
15	1.129,68	15	1.694,53
16	831,44	16	1.247,16
17	429,93	17	644,89
18	91,84	18	137,76
19	12,36	19	18,53
20	0,00	20	0,00
21	0,00	21	0,00
22	0,00	22	0,00
23	0,00	23	0,00
24	0,00	24	0,00

Tabla 5.4. –Generación FV para un día medio de verano para 2 y 3 kW. Fuente propia.

Con los datos de estas tablas se puede observar la producción horaria de un sistema de 2kW y de 3kW. De manera lógica vemos que la mayor producción se centra en las horas de medio día. El sol en esa franja horaria incide con más fuerza que en el resto de horas. Siendo la producción nula en las horas donde el sol desaparece.

Los mostrados en este apartado serían todos los datos necesarios del sistema FV obtenidos para la producción mensual y diaria. En el apartado 5.5 se verán todos estos valores en gráficas junto con las curvas de consumo de la vivienda.

5.2. Mediciones del sistema eólico:

En este apartado veremos y analizaremos los datos obtenidos de la producción eólica renovable del Campus Científico Tecnológico de Linares. Además también veremos los datos obtenidos por el sistema PVGIS, fuente 10, para la velocidad del viento en Linares y en la ciudad de Conil. La obtención de todos estos datos ha sido mediante los métodos descritos en el apartado 4.

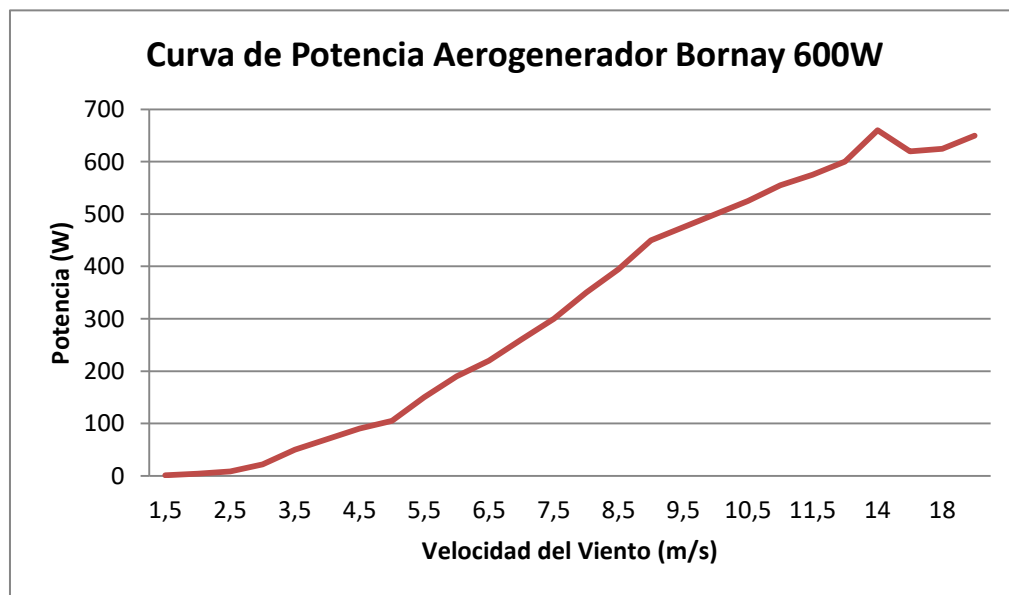
Lo primero que vamos a ver serán los datos de generación del aerogenerador, en la tabla 5.5 podremos ver la relación de velocidad, potencia eléctrica del Aerogenerador Bornay de 600W de potencia nominal.

Velocidad del viento v (m/s)	Potencia eléctrica generada P_e (W)	Potencia del viento P_w (W)	Rendimiento eléctrico del aerogenerador η_e (%)
1,5	1	6,49	15,3982
2	4	15,39	25,9844
2,5	8	30,07	26,6080
3	22	51,95	42,3450
3,5	50	82,50	60,6051
4	70	123,15	56,8409
4,5	90	175,35	51,3272
5	105	240,53	43,6538
5,5	150	320,14	46,8539
6	190	415,63	45,7133
6,5	220	528,44	41,6318
7	260	660,01	39,3933
7,5	300	811,78	36,9556
8	350	985,21	35,5256
8,5	395	1181,72	33,4259
9	450	1402,76	32,0795
9,5	475	1649,79	28,7916
10	500	1924,23	25,9844
10,5	525	2227,54	23,5686
11	555	2561,15	21,6700
11,5	575	2926,51	19,6480
12	600	3325,07	18,0447
14	660	5280,09	12,4998
16	620	7881,65	7,8664
18	625	11222,11	5,5694
20	650	15393,84	4,2225

Tabla 5.5. –Relación velocidad – potencia – rendimiento 600W. Fuente propia.

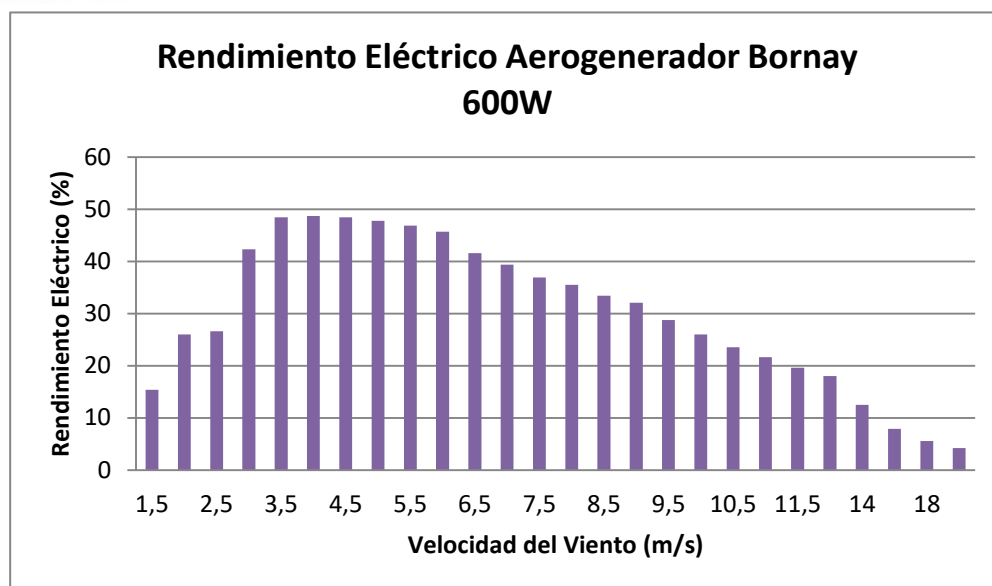


Con estos datos se construye la curva de potencia de la gráfica 5.1 en la que puede observar de manera visual la potencia que es capaz de generar el aerogenerador a todos sus rangos posibles de velocidades. Además mediante la ecuación 4.1 y la ecuación 4.2, del apartado 4 de métodos, se obtiene la potencia 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.



Gráfica 5.1. – Curva de Potencia Aerogenerador Bornay 600W de potencia nominal. Fuente propia.

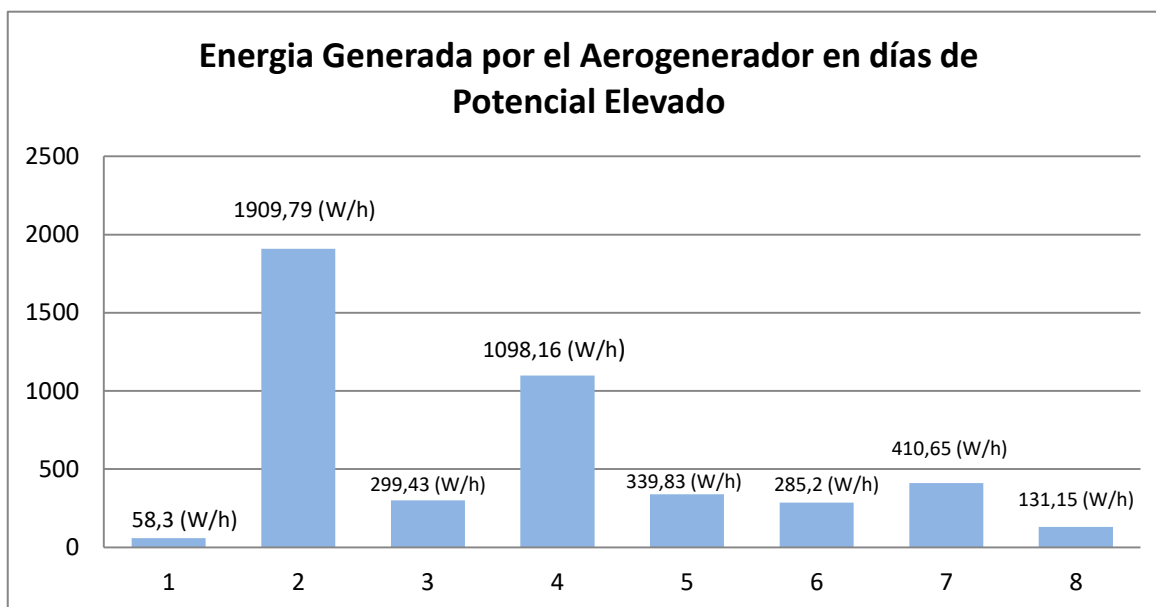
Como podemos ver en esta curva la potencia generada va en aumento hasta llegar a los 12 m/s que sería donde obtendría los 600W de potencia nominal.



Gráfica 5.2. Rendimiento eléctrico del aerogenerador del proyecto. 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 50% 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 20 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 los meses de Marzo, Abril y Mayo de 2019.



Gráfica 5.3. – Medidas de potencial eólico elevado en diferentes 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.

A continuación se observan los datos obtenidos de viento para el Campus de Linares y para la ciudad de Conil respectivamente. Los datos se van a mostrar para dos meses de la estación de invierno y para dos meses de la estación de verano. Los meses de Diciembre y Enero para la estación de invierno y los meses de Julio y Agosto para la estación de verano. No se han elegido meses de primavera y otoño porque en Andalucía los meses más significativos suelen ser los de la estación de verano e invierno.

Para la obtención y elección de los datos de verano e invierno lo primero fue la obtención de los datos de un año completo para ambas ciudades. En ese año hay una tabla con más de 8000 valores de datos de viento la cual es imposible incluir en este proyecto. Por lo tanto todo lo que aparezca ya sea simplificado y hecho media en las estaciones más significativas para este proyecto.

En análisis se hará para un día promedio de cada una de estas estaciones. Un día completo con 24 horas y por lo tanto con veinticuatro medidas. En cada una de esas medidas tendremos la velocidad del viento a esa hora y la potencia que el aerogenerador es capaz de generar para dicha velocidad.

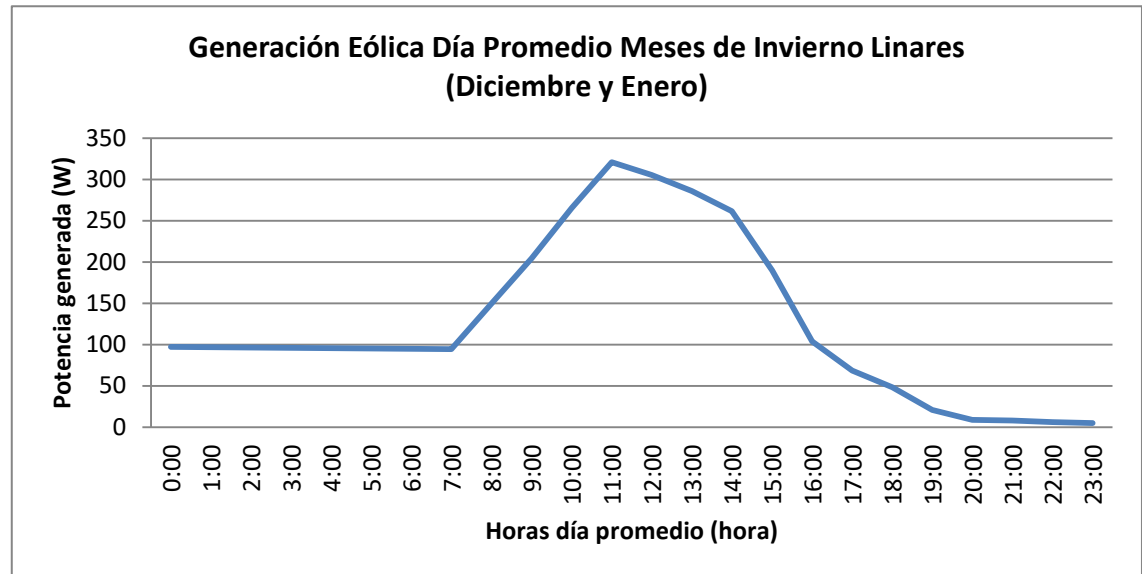
Primero vamos con los datos del Campus Científico Tecnológico de la ciudad de Linares:

- Para los meses de invierno (Diciembre y Enero) obtenemos la tabla 5.6 con las 24 medidas (una por cada hora) de la velocidad del viento y la potencia generada por el aerogenerador:

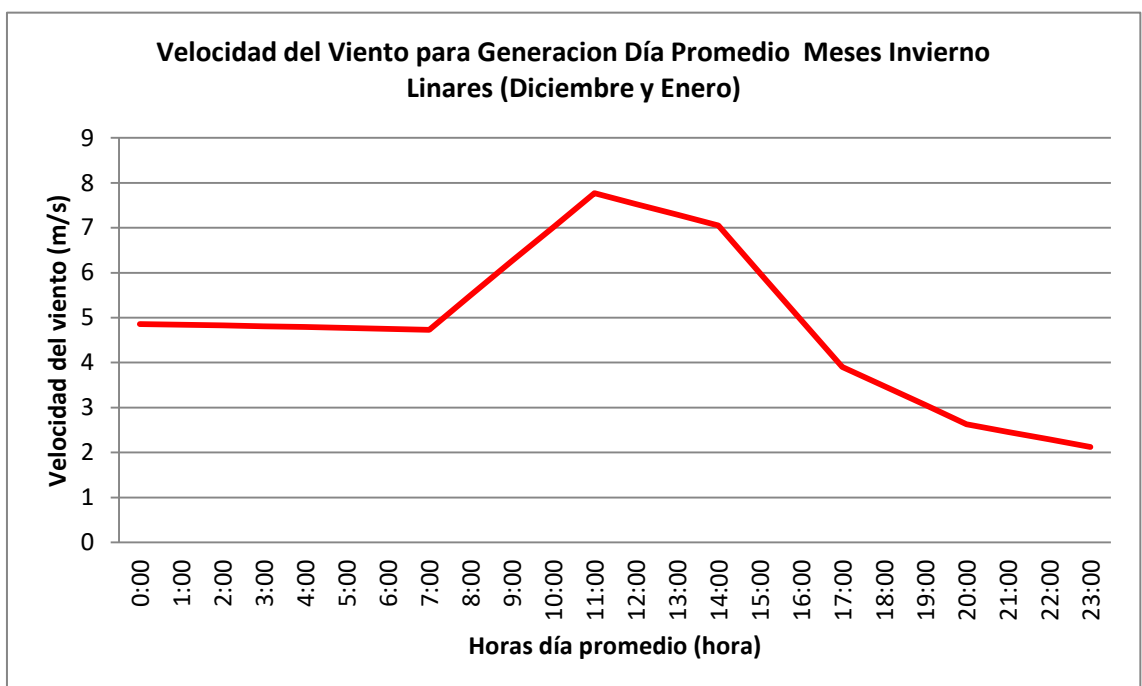
Hora día medio Diciembre - Enero	Velocidad del viento v (m/s)	Potencia eléctrica generada P_e (W)
0:00	4,86	97,2
1:00	4,84	96,8
2:00	4,83	96,6
3:00	4,81	96,2
4:00	4,79	95,8
5:00	4,77	95,4
6:00	4,75	95
7:00	4,73	94,6
8:00	5,5	150
9:00	6,26	204,5
10:00	7,01	265,3
11:00	7,77	320,8
12:00	7,53	305,4
13:00	7,29	285,8
14:00	7,05	261,5
15:00	6	190
16:00	4,95	104
17:00	3,9	68,4
18:00	3,48	48,3
19:00	3,06	21
20:00	2,63	9
21:00	2,46	8
22:00	2,29	6
23:00	2,12	5

Tabla 5.6. – Día promedio invierno Linares (velocidad y potencia). Fuente propia.

Ya con estas medidas podremos construir la gráfica 5.4 y la gráfica 5.5 respectivamente donde podemos ver la tendencia de la potencia generada en un día promedio en invierno y la velocidad del viento para esas potencias.



Gráfica 5.4. – Potencia eléctrica generada para un día promedio de invierno. Fuente propia.



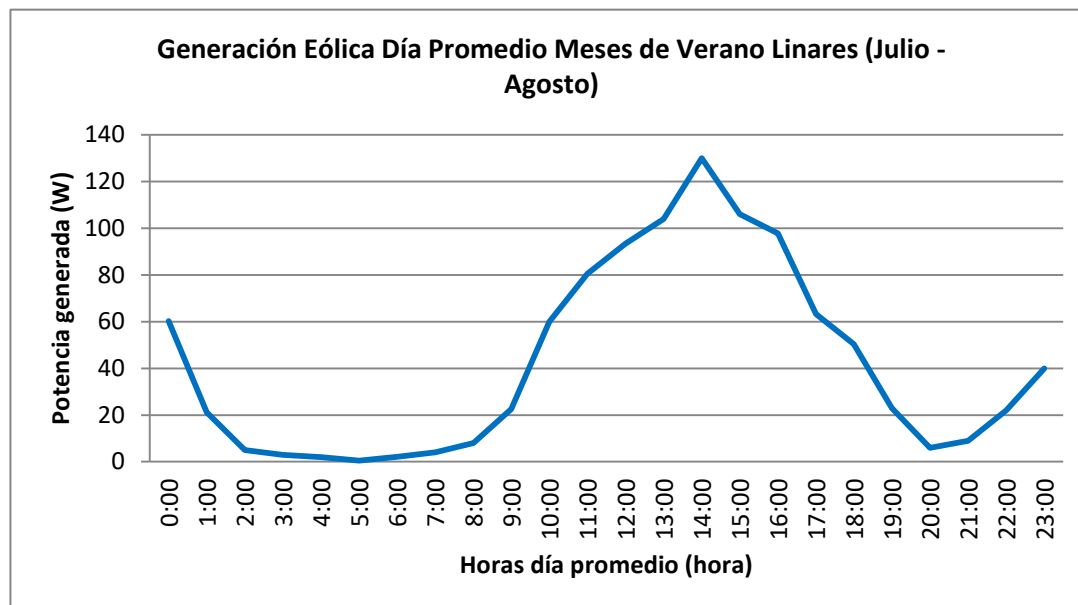
Gráfica 5.5. – Velocidad del viento para un día promedio de invierno. Fuente propia.

- Para los meses de verano (Julio y Agosto) de igual modo obtenemos la tabla 5.7 con sus respectivos datos:

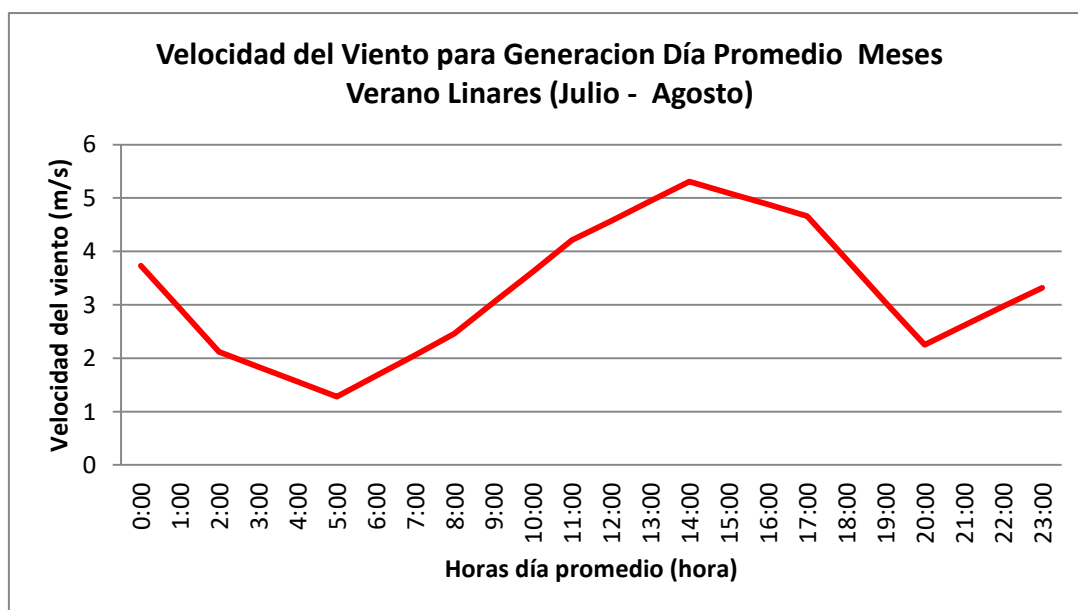
Hora día medio Julio - Agosto	Velocidad del viento v (m/s)	Potencia eléctrica generada P_e (W)
0:00	3,73	60,2
1:00	2,93	21,15
2:00	2,12	5
3:00	1,84	3
4:00	1,56	2
5:00	1,28	0,5
6:00	1,67	2,1
7:00	2,06	4
8:00	2,46	8
9:00	3,04	22,6
10:00	3,62	60
11:00	4,21	80,6
12:00	4,57	93,4
13:00	4,94	104
14:00	5,31	130
15:00	5,09	106
16:00	4,88	97,8
17:00	4,66	63,2
18:00	3,86	50,4
19:00	3,05	23
20:00	2,25	6
21:00	2,61	9
22:00	2,97	22
23:00	3,32	40

Tabla 5.7. – Día promedio verano Linares (velocidad y potencia). Fuente propia.

Estas son los datos de viento obtenidos para los meses de Julio y Agosto en Linares. Como vemos son bastante menores que los de invierno ya que aunque los de invierno no sean muy grandes el potencial eólico de Linares en verano es prácticamente despreciable. En la gráfica 5.6 y gráfica 5.7 veremos dibujados estos resultados de potencia generada y velocidad del viento.



Gráfica 5.6. – Potencia eléctrica generada para un día promedio de verano. Fuente propia.



Gráfica 5.7. – Velocidad del viento para un día promedio de verano. Fuente propia.



Una vez acabados los datos de Linares pasaremos a ver los datos obtenidos en la ciudad de Conil de la Frontera en la provincia de Cádiz:

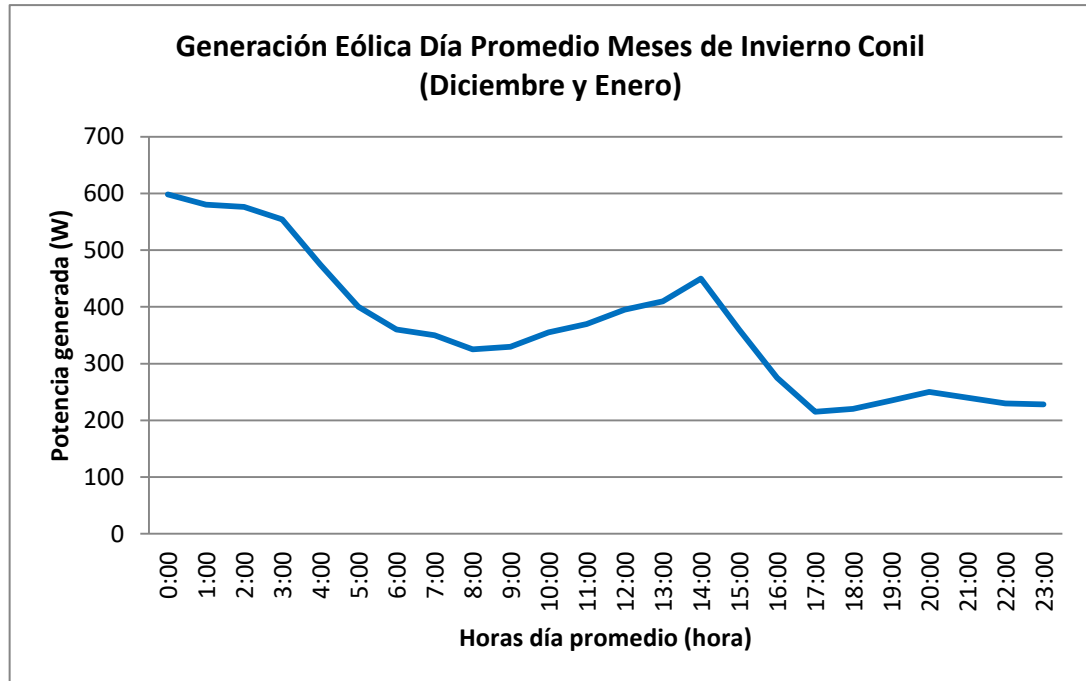
- De igual manera para los meses de invierno (Diciembre y Enero) los datos de velocidad y potencia obtenidos se mostraran en la tabla 5.8 para un día medio con 24 datos tomados de hora en hora:

Hora día medio Diciembre - Enero	Velocidad del viento v (m/s)	Potencia eléctrica generada P_e (W)
0:00	11,97	598,3
1:00	11,77	580
2:00	11,56	576
3:00	10,58	554
4:00	9,6	475
5:00	8,62	400
6:00	8,3	360
7:00	7,98	350
8:00	7,66	325
9:00	7,85	330
10:00	8,04	355
11:00	8,23	370
12:00	8,51	395
13:00	8,79	410
14:00	9,06	450
15:00	8,17	360
16:00	7,28	275
17:00	6,39	215
18:00	6,55	220
19:00	6,72	235
20:00	6,88	250
21:00	6,84	240
22:00	6,79	230
23:00	6,74	228

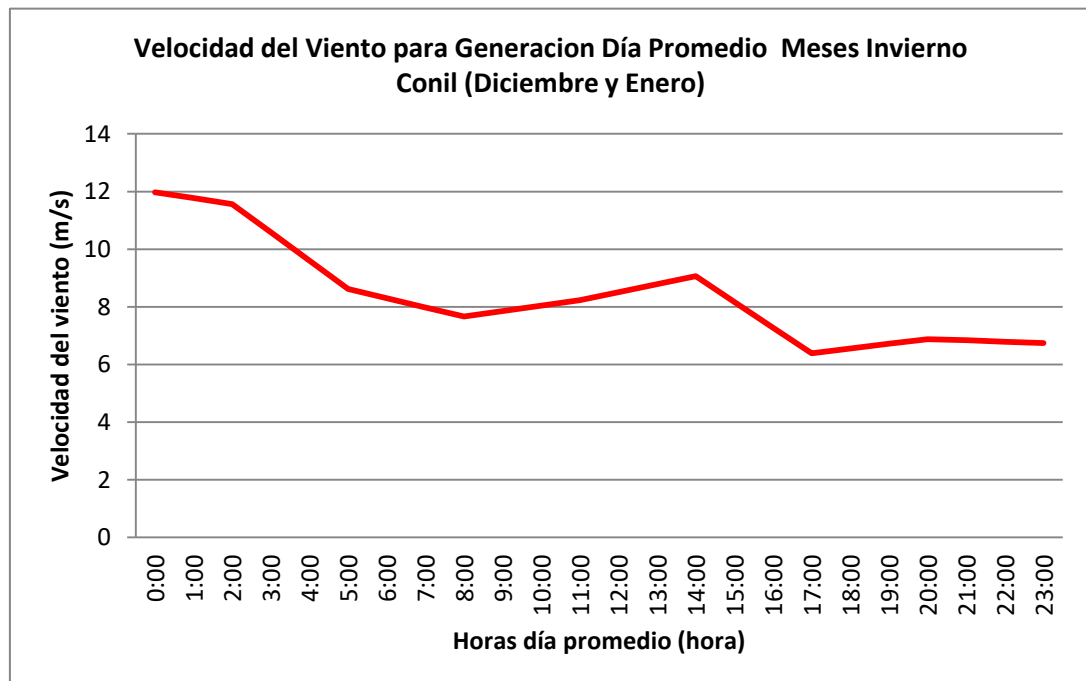
Tabla 5.8. – Día promedio invierno Conil (velocidad y potencia). Fuente propia.



Simplemente con mirar los datos se ven grandes diferencias con respecto al potencial de Linares, en la gráfica 5.8 y la gráfica 5.9 se podrán observar las tendencias dibujadas de estos datos obtenidos.



Gráfica 5.8. – Potencia eléctrica generada para un día promedio de invierno. Fuente propia.



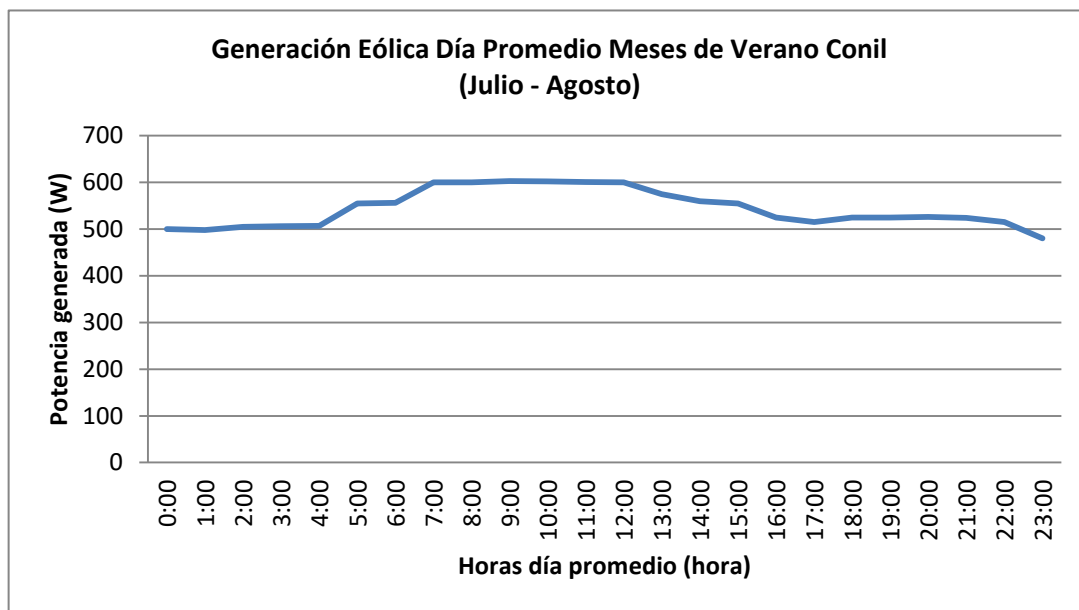
Gráfica 5.9. Velocidad del viento para un día promedio de invierno. Fuente propia.

- Concluiremos ahora con las medidas de los meses de verano (Julio y Agosto) y de igual manera obtenemos la tabla 5.9:

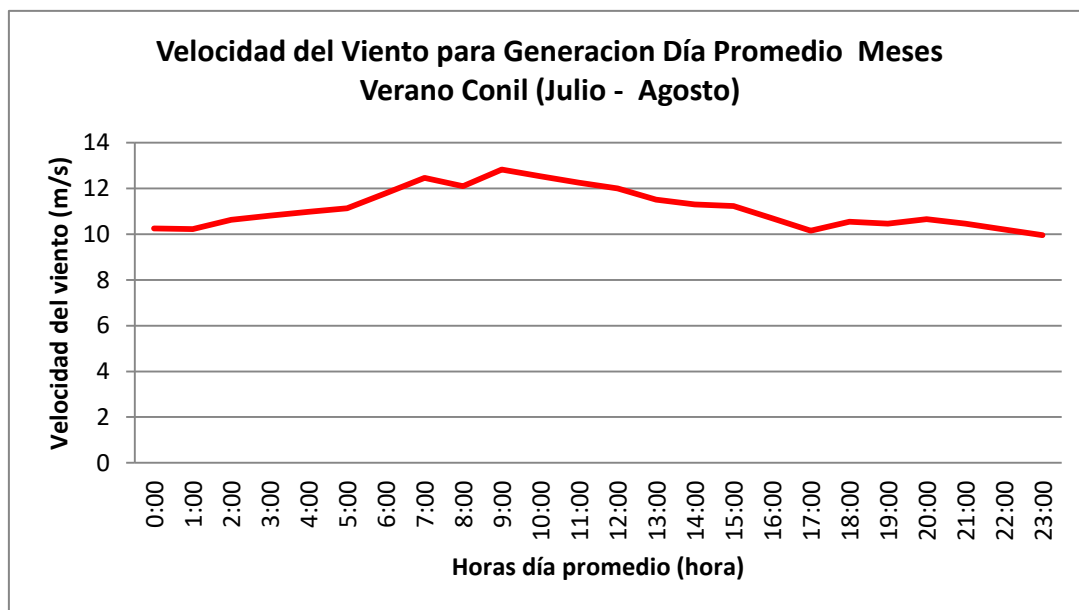
Hora día medio Julio- Agosto	Velocidad del viento v (m/s)	Potencia eléctrica generada P_e (W)
0:00	10,24	500
1:00	10,22	498
2:00	10,63	505
3:00	10,8	506
4:00	10,97	507
5:00	11,13	555
6:00	11,79	556
7:00	12,45	600
8:00	12,1	600
9:00	12,82	603
10:00	12,53	602
11:00	12,25	601
12:00	12	600
13:00	11,5	575
14:00	11,3	560
15:00	11,23	555
16:00	10,69	525
17:00	10,15	515
18:00	10,54	525
19:00	10,45	525
20:00	10,65	526
21:00	10,46	524
22:00	10,2	515
23:00	9,95	480

Tabla 5.9. – Día promedio verano Conil (velocidad y potencia). Fuente propia.

Aquí es ya donde vemos la gran diferencia entre el potencial de Linares y el potencial de Conil, sobre todo en meses de verano donde el viento sopla con gran fuerza en las costas de Cádiz. Estos datos los veremos dibujados en la gráfica 5.10 y grafica 5.11.



Gráfica 5.10. – Potencia eléctrica generada para un día promedio de verano. Fuente propia.



Gráfica 5.11. – Velocidad del viento para un día promedio de verano. Fuente propia.



Estas son las mediciones obtenidas tanto del aerogenerador colocado en el campus de Linares como los datos del potencial eólico de la ciudad de Linares y Conil. Además de su comparativa con la ciudad de Conil, en siguientes apartados de este trabajo serán donde se comparen más a fondo y se vean las grandes diferencias de potencial eólico que separan a ambas ciudades.

5.3. Datos obtenidos por medio de la Función de Distribución de Weibull:

Gracias a la Función de Distribución de Weibull (FW) podemos conocer, mediante la velocidad media las horas que habrá de cada velocidad del viento en ambas ciudades a lo largo de un año. Y así poder conocer la Energía (kWh) que un aerogenerador puede llegar a producir. Esto además remarcará la diferencia de potencial eólico que tendremos entre Linares y Conil. Dentro de la función de Weibull no profundizaremos más que eso ya que es algo con un potencial elevado que no es el objetivo del proyecto.

Gracias a la función de Weibull ya explicada y detallada en el apartado de metodología obtendremos los siguientes datos tanto para Linares como para Conil respectivamente.

Para el caso de Linares con una velocidad media anual de 2,6292 m/s la Función de Weibull que se obtiene se muestra en la tabla 5.10:

Función de Distribución de Weibull para Linares							
K (cte)	C (m/s)	V (m/s)	Fw1 (%)	Fw2 (%)	Fw3 (%)	FW (%)	horas año (h)
2	2,63	1	0,76	0,38	0,87	0,25	2192,19
2	2,63	2	0,76	0,76	0,56	0,32	2841,34
2	2,63	3	0,76	1,14	0,27	0,24	2068,43
2	2,63	4	0,76	1,52	0,10	0,11	1002,35
2	2,63	5	0,76	1,90	0,03	0,04	341,02
2	2,63	6	0,76	2,28	0,01	0,01	83,41
2	2,63	7	0,76	2,66	0,00	0,00	14,85
2	2,63	8	0,76	3,04	0,00	0,00	1,94
2	2,63	9	0,76	3,42	0,00	0,00	0,19
2	2,63	10	0,76	3,80	0,00	0,00	0,01

Tabla 5.10. – Horas año de cada velocidad del viento en Linares. Fuente propia.



Como se puede observar en el caso de Linares la mayor concentración de horas al año es para velocidades inferiores a 4 m/s, lo cual nos ratifica el escaso potencial eólico que posee esta ciudad.

Para el caso de Conil de la Frontera con una velocidad media anual de 6,02 m/s (casi tres veces superior a la de Linares) la Función de Weibull que se obtiene se muestra en la tabla 5.11:

Función de Distribución de Weibull para Conil							
K	C	V	Fw1	Fw2	Fw3	FW	horas año (h)
cte	(m/s)	(m/s)	(%)	(%)	(%)	(%)	
2	6,02	1	0,33	0,17	0,97	0,05	469,88
2	6,02	2	0,33	0,33	0,90	0,10	865,17
2	6,02	3	0,33	0,50	0,78	0,13	1130,64
2	6,02	4	0,33	0,66	0,64	0,14	1242,94
2	6,02	5	0,33	0,83	0,50	0,14	1212,27
2	6,02	6	0,33	1,00	0,37	0,12	1074,18
2	6,02	7	0,33	1,16	0,26	0,10	875,73
2	6,02	8	0,33	1,33	0,17	0,08	661,86
2	6,02	9	0,33	1,49	0,11	0,05	465,98
2	6,02	10	0,33	1,66	0,06	0,04	306,65

Tabla 5.11. – Horas año de cada velocidad del viento en Conil. Fuente propia.

A diferencia con Linares en la distribución de horas para Conil se puede apreciar que el mayor número de horas anuales de viento se reparte para velocidades de entre 3 y 7 m/s siendo este ya un potencial eólico muy elevado.

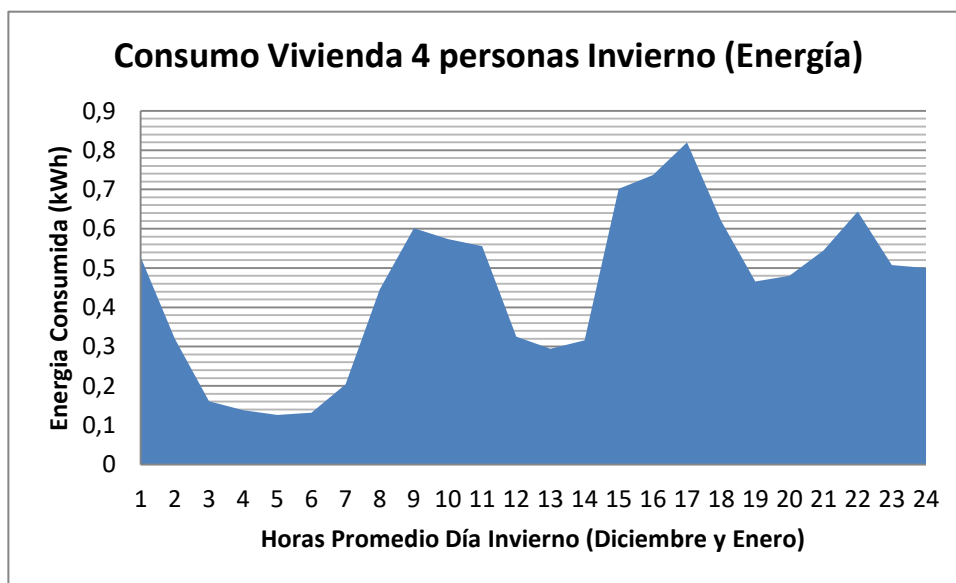
Así pues de nuevo gracias, en este caso, a la Función de Distribución de Weibull podemos afirmar comparando el mayor potencial eólico que posee la ciudad de Conil con respecto a la ciudad de Linares. Y por esa diferencia es por lo que se optó en meter en comparativa a Conil con Linares. Esta gran diferencia hará que Conil sea capaz de producir mucha más energía eólica (kWh) ya que tiene muchas más horas de velocidades de alta generación.

5.4. Mediciones de la curva de carga para una vivienda de cuatro personas:

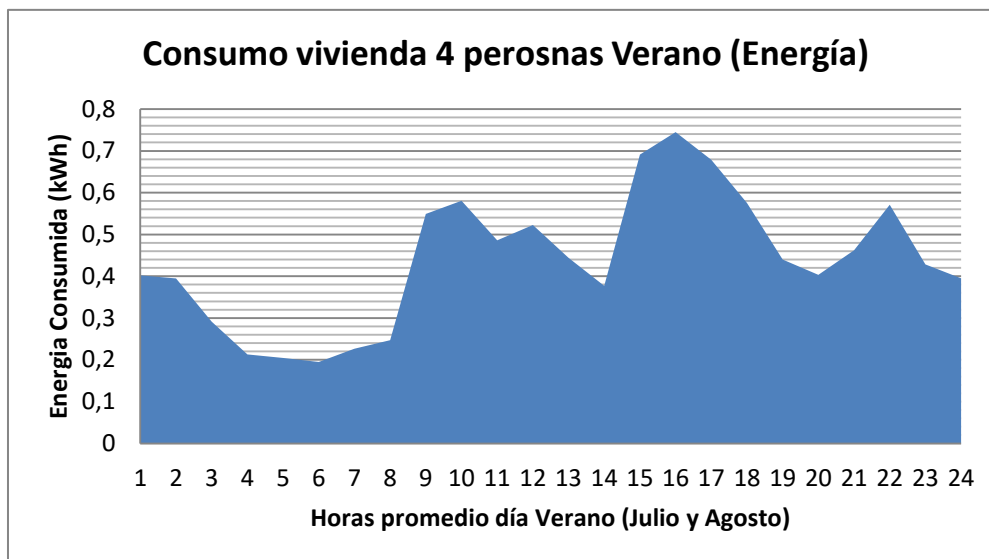
En este apartado siguiendo el método explicado en apartados anteriores se mostraran los datos obtenidos de curva de carga de una vivienda habitada por cuatro personas.

Los datos de Energía han sido obtenidos mediante la compañía suministradora Endesa, fuente 17. Y calculados mediante se explica en el punto 4, y los datos de potencia se obtuvieron mediante el analizador de redes como también se explica en el punto 4.

Una vez realizada la media con los datos mensuales para así poder obtener de un día promedio de los meses de invierno y verano se obtiene la curva de carga (energía. Que podemos ver en la gráfica 5.12 la de invierno y en la gráfica 5.13 la de verano.



Gráfica 5.12. Curva de carga vivienda 4 personas meses de invierno. Fuente propia.



Gráfica 5.13. Curva de carga vivienda 4 personas meses de verano. Fuente propia.

Estas serían las curvas de carga diarias para un día promedio de cada estación. Se puede apreciar que el consumo aumenta en las horas de la comidas y disminuye a altas horas de la madrugada ya que en ese periodo solo funcionan los Stand-By de los electrodomésticos. Estos valores pero en mensuales serán los que en el apartado siguiente se comprarán con la energía FV generada. Siempre todo en parámetros de energía.

Para términos de potencia diaria como ya se explicó se obtuvieron los datos con el analizador de redes. De esta manera con los datos obtenidos de días enteros de verano e invierno se ha construido un día promedio de esos días. Se toma una muestra por cada hora del día y de este modo tenemos la potencia consumida en cada muestra.

En la tabla 5.12 podemos ver los datos de potencia obtenidos tanto para el día promedio de invierno como el de verano.

Consumo Día Promedio Invierno		Consumo Día Promedio Verano	
Hora	Potencia eléctrica (W)	Hora	Potencia eléctrica (W)
1	680	1	300
2	130	2	50
3	50	3	50
4	50	4	50
5	120	5	60
6	120	6	50
7	460	7	50
8	80	8	80
9	240	9	200
10	1.600	10	1.000
11	1.800	11	1.100
12	1.700	12	1.150
13	3.000	13	2.000
14	1.300	14	1.800
15	1.300	15	1.000
16	700	16	500
17	700	17	600
18	700	18	600
19	600	19	600
20	600	20	500
21	600	21	550
22	650	22	1.000
23	700	23	1.000
24	800	24	1.200

Tabla 5.12. – Consumo vivienda 4 personas días promedio invierno y verano. Fuente propia.

De igual modo que para la curva de energía el consumo en invierno es mayor que en verano para la potencia ocurre lo mismo. En invierno con los electrodomésticos de calefacción el consumo aumenta mientras que en verano al no usarlos ese consumo disminuye.

En el siguiente apartado estos datos se mostrarán en gráficas cuando sean comparadas con las potencias de generación eólica y fotovoltaica. Y veremos si la demanda de energía y potencia será capaz de cubrirse con las renovables o no.

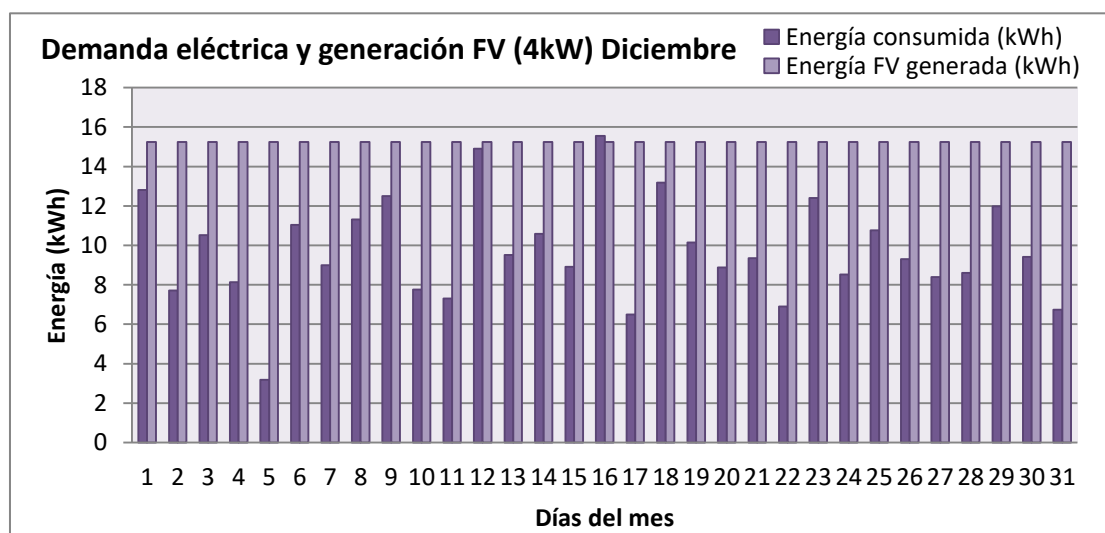


5.5. Valoración de los resultados para cubrir la demanda de la vivienda de 4 personas:

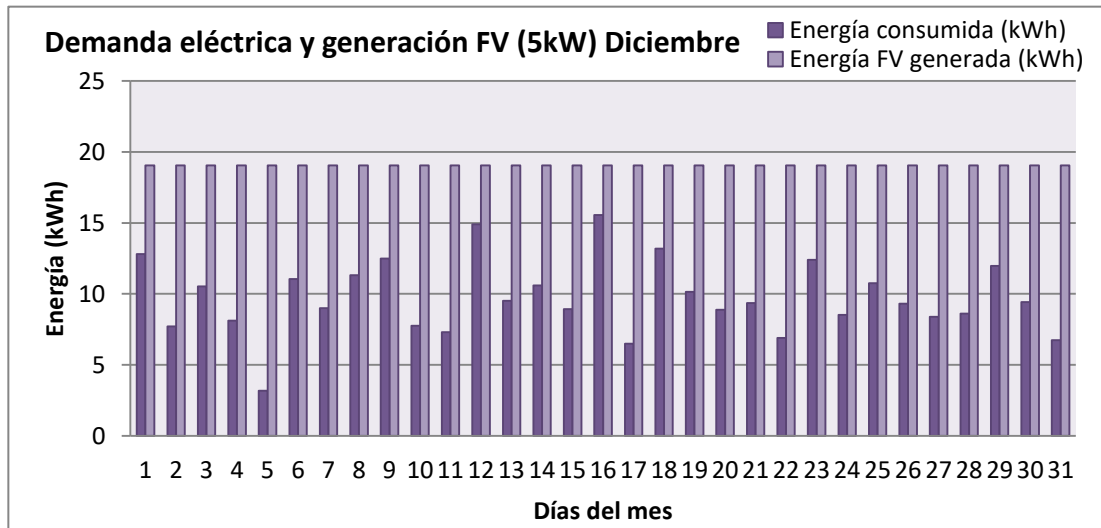
Por último en este apartado de análisis de datos vamos a valorar los resultados en conjunto de los sistemas. Esto lo vamos a hacer de dos formas como ya se viene especificando desde apartados anteriores. Lo primero será valorar la curva de carga mensual de energía de la vivienda de 4 personas junto con la energía FV generada cada día de los meses seleccionados y lo segundo la curva de potencia diaria de la vivienda comparada con la potencia FV y la potencia eólica generada.

Una vez dicho esto hablemos de la curva de energía mensual y la generación mensual FV de energía. Para cumplir con la demanda de energía que podemos ver en el apartado 5.4. Tras realizar los cálculos ya descritos en el apartado 5.1. Para los meses de invierno se ha necesitado una potencia del inversor de 4kW y de 5kW. Para que se pueda observar mejor en este caso en vez de ir los meses de invierno juntos al igual que los de verano. Iran cada mes individualmente haciendo así más apreciable el gráfico.

Para el mes de Diciembre se obtiene la gráfica 5.14 y la gráfica 5.15.



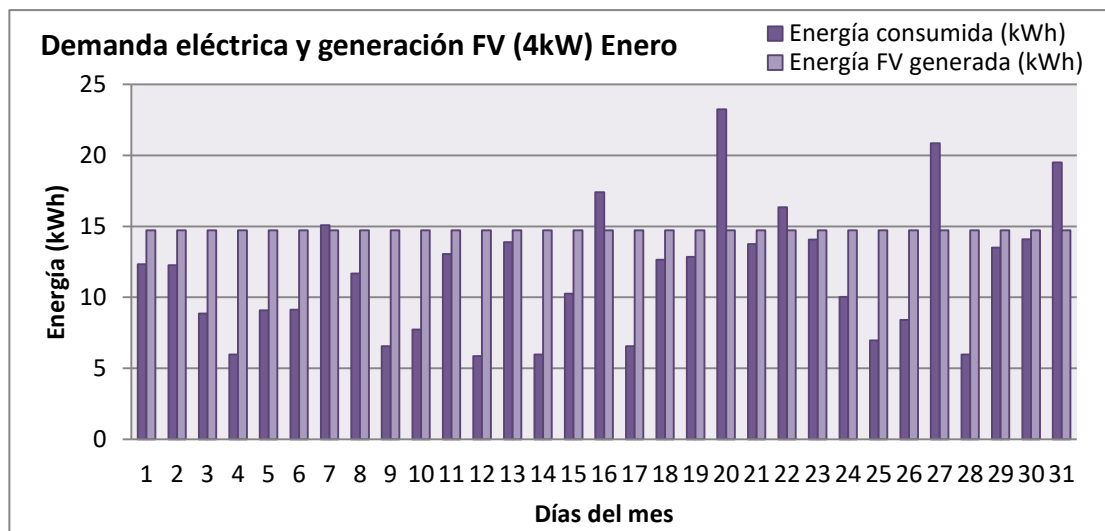
Gráfica 5.14. Generación FV y consumo vivienda (4kW) Diciembre. Fuente propia.



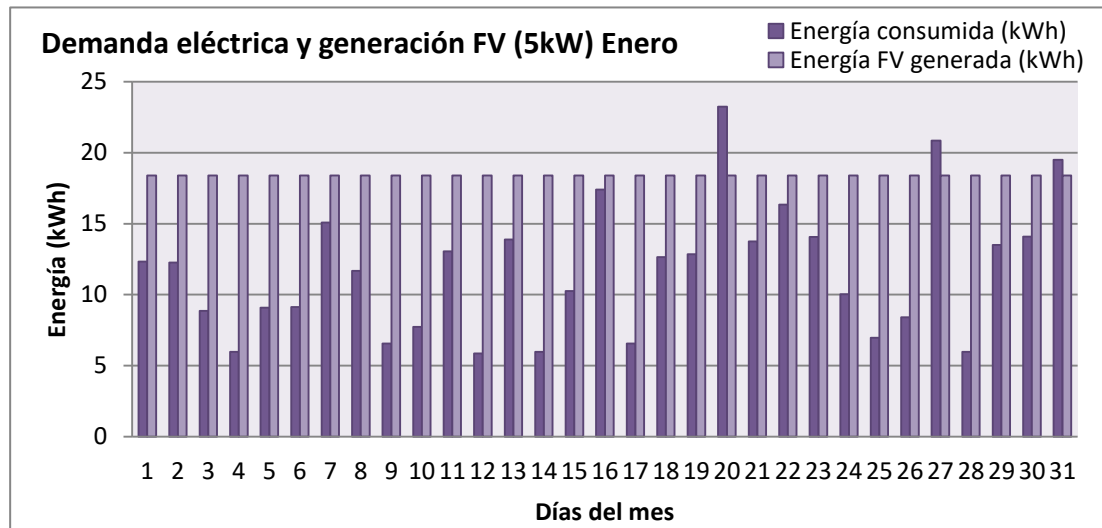
Gráfica 5.15. Generación FV y consumo vivienda (5kW) Diciembre. Fuente propia.

Como se puede observar en este caso con 4kW la demanda se abastece prácticamente todos los días pero queda muy justa. Por eso que también se haya confeccionado con 5kW donde ya podemos observar que todos los días se generaría más de lo que se consumiría.

De igual modo para el mes de Enero se obtiene la gráfica 5.16 y 5.17.



Gráfica 5.16. Generación FV y consumo vivienda (4kW) Enero. Fuente propia.

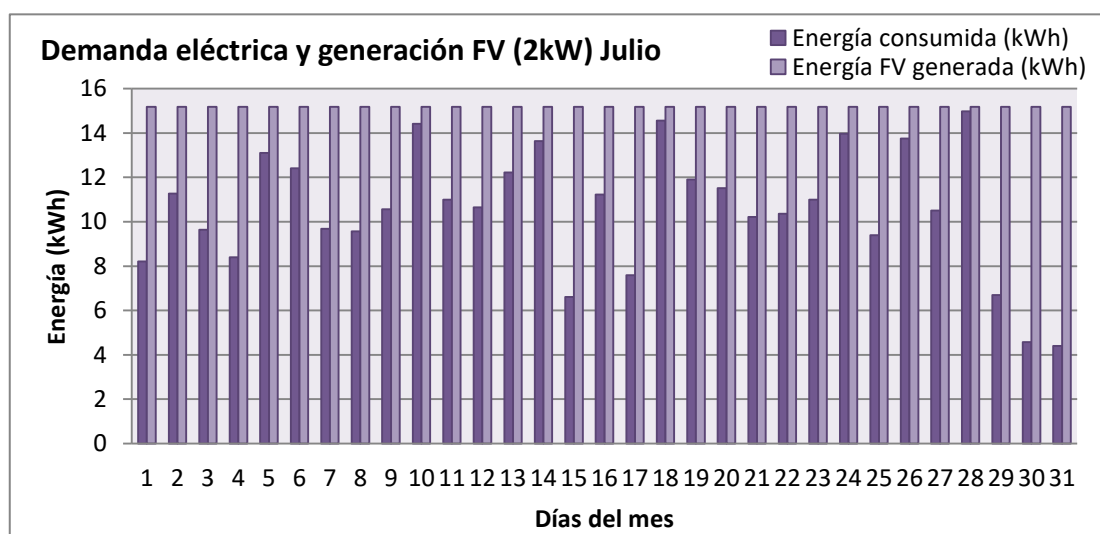


Gráfica 5.17. Generación FV y consumo vivienda (5kW) Enero. Fuente propia.

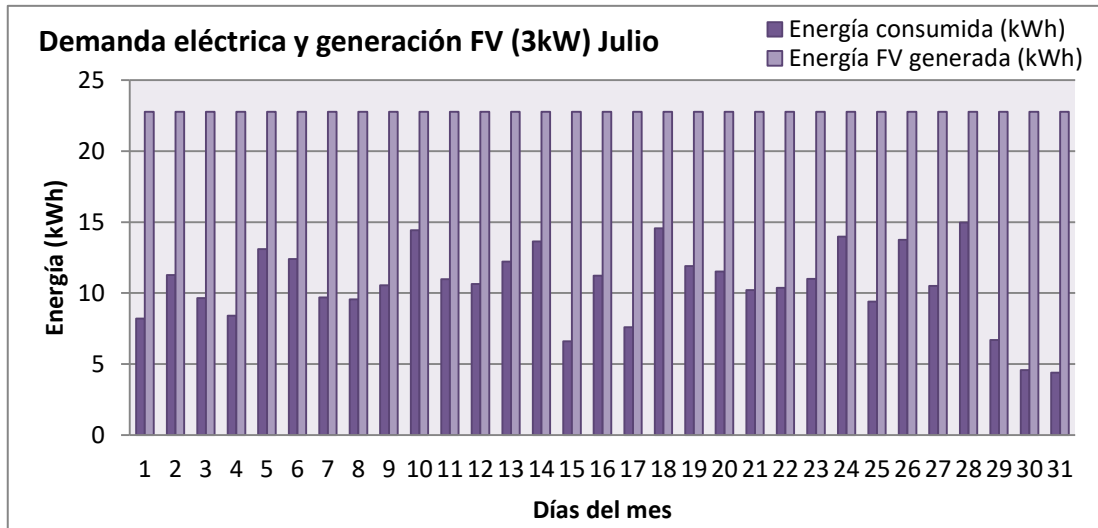
En este caso dado que el consumo del mes de Enero es más elevado, ni la potencia de 4kW ni la de 5kW es capaz de satisfacernos todos y cada uno de los días. Pero aun así la de 5kW nos cumple con casi todos a excepción de unos días picos muy elevados.

De igual manera pasaremos a ver ahora los meses de verano, Julio y Agosto. Para este caso ya que el consumo es menos y la producción FV mayor, solo se han necesitado 2kW y 3kW para cumplir con la demanda.

Para Julio la gráficas 5.18 y 5.19 nos lo mostrarán.



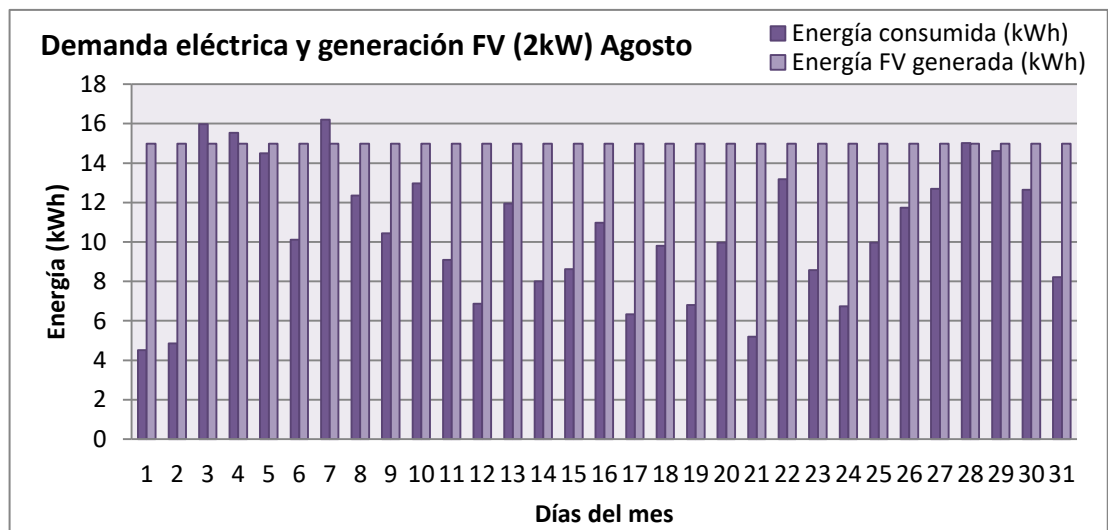
Gráfica 5.18. Generación FV y consumo vivienda (2kW) Julio. Fuente propia.



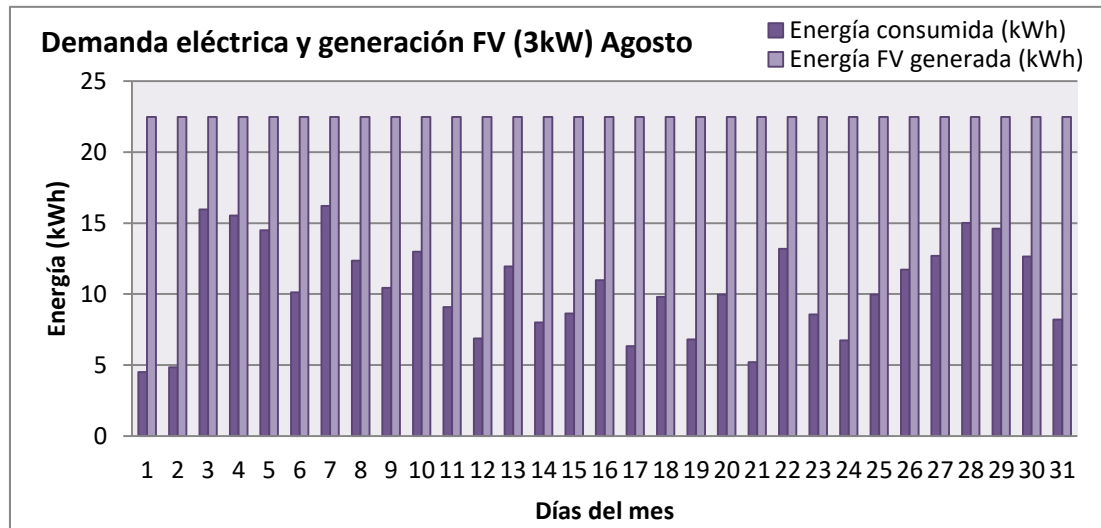
Gráfica 5.19. Generación FV y consumo vivienda (3kW) Julio. Fuente propia.

Aquí lo vemos reflejado, con 2kW es capaz de cubrir la demanda y con 3kW ya se pasa. Al disminuir el consumo y aumentar las horas de sol pico en verano aumenta la generación FV.

Pasemos ya por última en esta parte de energía a ver la producción de Agosto en las gráficas 5.20 y 5.21.



Gráfica 5.20. Generación FV y consumo vivienda (2kW) Agosto. Fuente propia.



Gráfica 5.21. Generación FV y consumo vivienda (3kW) Agosto. Fuente propia.

Sin apenas diferencias con el mes de Julio estos son los datos del mes de Agosto. De nuevo recordar que en estas graficas no está incluido el sistema eólico porque sin un anemómetro instalado en el campus que nos de la velocidad del viento exacta en esa determinada zona no se pueden obtener los valores de energía. Por lo tanto los valores eólicos solo se verán incluidos en los valores de potencia que pasaremos a ver a continuación.

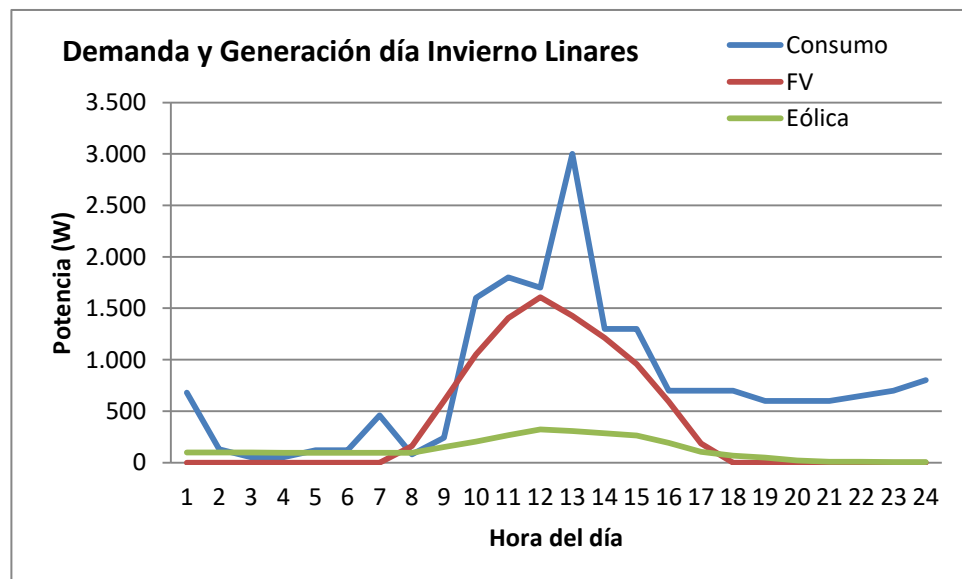
Estos datos mensuales son correctos pero pueden inducir a error ya que se tiene la producción FV que se puede ver. Pero realmente no es a las horas que nosotros queramos si no a las horas del sol. De este modo aunque la producción supere a la demanda tendremos cada día muchas horas donde no tendremos energía suficiente renovable para cumplir con esa demanda diaria. Para ello a continuación se va a efectuar el mismo estudio pero en Potencia (W) donde si podremos ver el gasto de una vivienda de 4 personas a lo largo de 24 tomas por día, la generación FV y la generación eólica.

En este caso si contamos con la energía eólica. Ya que conociendo la velocidad del viento si se puede obtener la potencia. Además también estarán los resultados para la ciudad de Linares y para la ciudad de Conil donde se verán las grandes diferencias con el sistema eólico. Como ya comente los apartados anteriores en la producción solar en ambas ciudad es muy similar y de ahí que siempre se use la de linares en ambos casos ya que

la diferencia es mínima.

Los datos FV que veremos serán para una potencia del inversor de 3kW. Se ha usado esta y no una superior porque con esta se puede apreciar como en invierno con una demanda superior y una generación inferior no cubriremos ningún punto de la demanda pero en verano con un consumo inferior y una generación superior si la cubriremos.

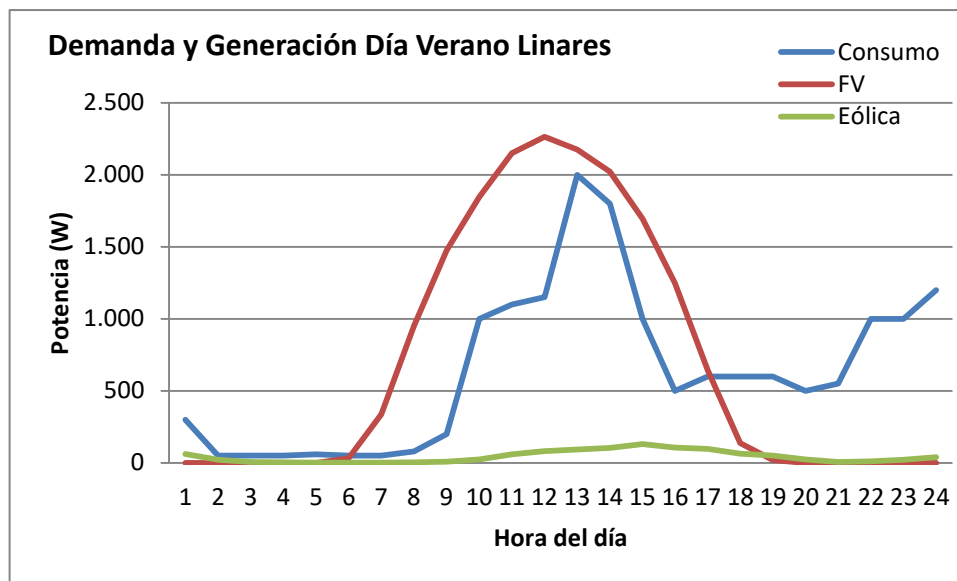
De tal modo para los meses de invierno de la ciudad de Linares obtenemos la gráfica 5.22.



Gráfica 5.22. Generación FV, Eólica y consumo vivienda Linares Invierno. Fuente propia.

Como ya se ha dicho vemos que la demanda en pocas horas se abastece, ya que la generación eólica en Linares es muy baja y que la potencia de 3kW en este caso no es suficiente.

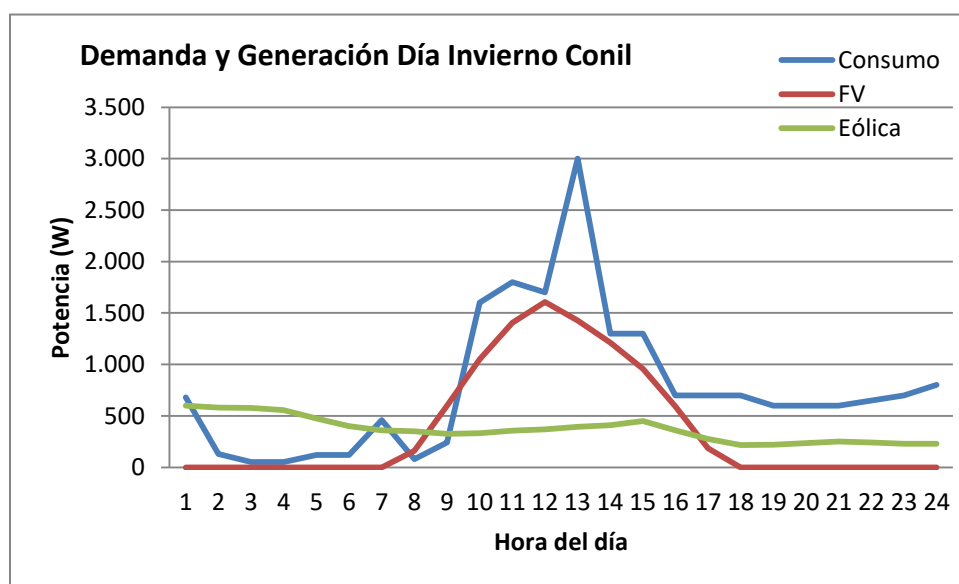
Ahora veremos los resultados de verano para Linares en la gráfica 5.23.



Gráfica 5.23. Generación FV, Eólica y consumo vivienda Linares Verano. Fuente propia.

A diferencia del invierno la demanda en verano es algo inferior y la generación es muy superior ya que tenemos más horas de sol. De esta manera abastecemos sobradamente la demanda con 3kW en determinadas horas del mediodía. Aun así la generación eólica sigue siendo muy insignificante. Por eso ahora vamos a pasar a ver estos mismos resultados pero de la ciudad de Conil.

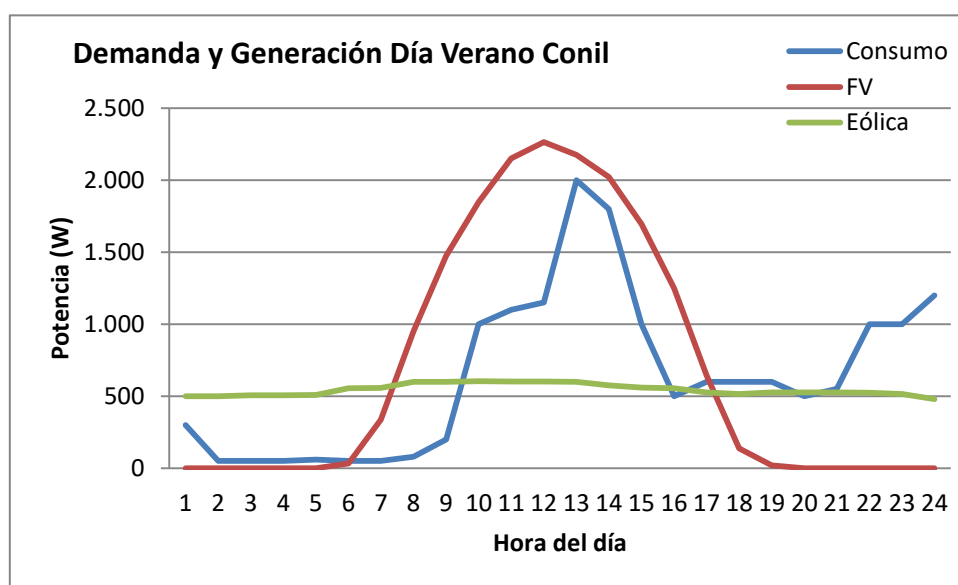
Para Conil de la Frontera podemos ver los resultados de invierno en la gráfica 5.24.



Gráfica 5.24. Generación FV, Eólica y consumo vivienda Conil Invierno. Fuente propia.

En este caso ocurre igual que en el invierno de Linares pero con la diferencia de que aquí el aerogenerador Bornay 600W de potencia nominal ya tendría un papel mucho más importante ya que el solo podría cubrir la demanda de las últimas horas de la noche y la madrugada.

Ahora para acabar pasemos a ver los resultados para Conil en verano con la gráfica 5.25.



Gráfica 5.25. Generación FV, Eólica y consumo vivienda Conil Verano. Fuente propia.

Aquí es donde ya se apreciaran las máximas diferencias y donde se le sacaría el máximo partido a la microgrid con la que partimos desde el principio. Si observamos esta última gráfica vemos que la demanda queda casi cubierta al completo y no solo eso sino que en la mayor parte del día sobra energía que gracias a la instalación de autoconsumo podríamos vender o almacenar en baterías. Añadiendo más aún ya que la ciudad de Conil tiene un gran potencial eólico el aerogenerador instalado podría ser uno superior al de 600W de potencia nominal como por ejemplo el de 1500W de potencia nominal. Este será capaz de producirnos aún más energía para nuestro hogar y así cubrir las últimas horas de demanda que no hemos cubierto con el de 600W de potencia nominal.



6. Conclusiones finales:

Para finalizar este trabajo veamos las conclusiones. Para ello se van a marcar una serie de puntos donde se demostrarán todos los datos obtenidos y veremos y veremos si se cumplen los objetivos marcados:

6.1. Análisis experimental del potencial de la microgrid aislada:

El análisis experimental del potencial de microgrid aislada era el objetivo principal del proyecto. Como se ha podido demostrar el pequeño tamaño de la microgrid tiene un buen rendimiento. No obstante si se necesita aplicar a viviendas de muchas personas o a grandes industrias ese tamaño debe aumentar, colocando más placas solares y aerogeneradores de mayor potencia nominal.

La capacidad solar FV de Linares es muy buena ya que hay días muy soleados durante todo el año. De esta forma se han podido obtener valores muy buenos de generación solar en cada una de las dos estaciones estudiadas.

El problema principal recae en el viento. La provincia de Jaén en general no tiene un alto potencial eólico y Linares menos aun como se ha demostrado de ahí que se haya llevado a cabo el estudio paralelo en Conil de la Frontera.

6.2. Caracterización de un aerogenerador de 600W:

Se ha conseguido el objetivo de caracterizar el aerogenerador Bornay de 600W de potencia 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 es prácticamente igual que la que podíamos obtener directamente por el



fabricante Bornay en el manual del aerogenerador, fuente 1. En la gráfica 5.1 del apartado 5 podemos ver la curva del aerogenerador obtenida midiendo con el analizador de redes la potencia que genera y en el punto 7.3 del apartado 7 vemos la gráfica obtenida de la propia página del fabricante.

6.3. Comparativa ciudad de Linares y Conil de la Frontera:

Cuando se empezó a medir los datos eólicos lo que más sorprendió fue la irregularidad del potencial eólico en Linares. Ya sea por el escaso potencial de Linares o por la mala ubicación del aerogenerador iban a ser datos prácticamente insignificantes. De ahí la idea de obtener datos donde el potencial eólico fuera muy superior y por eso se eligió una ciudad de las costas de Cadiz donde ese potencial si fuera muy relevante.

Por lo tanto la ciudad de Conil de la Frontera ha demostrado con creces tener un potencial eólico elevadísimo en comparación con Linares con una media anual superior a los 6 m/s en comparación con los aproximadamente 2,4 m/s de Linares.

Esto además de obtener el máximo rendimiento del aerogenerador de 600W de potencia nominal permitiría la colocación de uno más superior como pudiera ser el de 1500W de potencia nominal. El cual podemos encontrar su curva de potencia en el apartado 7.3 de este proyecto.

Gracias a los datos obtenidos en ambas ciudades también hemos ratificado esa diferencia de potencial con la cantidad de horas al año de una determinada velocidad obtenidas gracias a la aplicación de la Ley de Weibull. Esto no ha demostrado que Conil tendrá muchas más horas de velocidades superiores a los 6 y 7 m/s mientras que Linares contara con la mayor concentración de horas en torno a los 2 y 3 m/s.

6.4. Estudio del consumo de una vivienda tipo 4 personas:

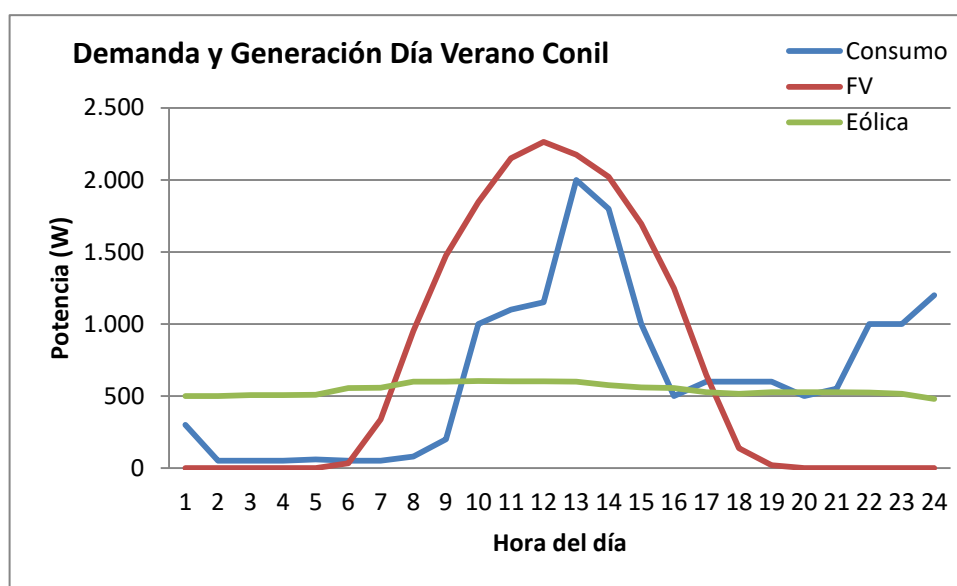
Todo este análisis de la microgrid no hubiera servido de nada si no hubiera tenido una aplicación concreta. En este caso la aplicación ha sido una vivienda tipo de 4 personas. Para esta vivienda se ha estudiado su consumo para los meses de Diciembre y Enero representando el invierno y para los meses de Julio y Agosto representando el verano. Se ha hecho así porque en la provincia de Jaén, que es donde está ubicada la vivienda de donde se han obtenido los datos, las dos estaciones más duraderas son las ya mencionadas.

Se ha demostrado el consumo de la vivienda generando su curva de carga tanto en parámetros de energía (kWh) gracias a los datos obtenidos de Endesa Distribución, fuente 17. Y la curva de carga en parámetros de Potencia (kW) gracias a las medidas tomadas con el analizador de redes y su programa de transferencia de datos, fuente 18. De este modo así ha quedado realizada la demanda que la propia microgrid ha tenido que cubrir total o parcialmente.

6.5. Estudio integral de vivienda con autoconsumo:

Ya por último terminar hablando en este apartado de conclusiones de la aplicación de autoconsumo que le daríamos a la vivienda tipo de 4 personas.

Para el caso de la vivienda la cual hemos estudiado sus curvas de carga, nos encontramos la curva de generación y consumo que podemos ver en la gráfica 6.1.



Gráfica 6.1. Generación FV, Eólica y consumo vivienda 4 personas. Fuente propia.

Como podemos ver la demanda a las horas pico la tenemos cubierta con un buen sistema solar FV. Lo cual nos proporciona un exceso en la energía generada que puede ofrecernos dos opciones. La primera es venderla directamente inyectada a red y la segunda almacenarla en baterías para su posterior aprovechamiento.

Esto solo dependerá de la economía. Gracias a la página oficial de Esios de Red Eléctrica de España, fuente 20, podemos conocer el precio de la energía que compramos y el precio de la energía que vendemos mediante contratos de autoconsumo. De este modo será el usuario el que tendrá que poner en una balanza teniendo en cuenta a qué horas tiene una generación excesiva y por lo tanto puede vender esa energía si su precio es conveniente o, en cambio, le sale más rentable obtener un buen sistema de baterías y almacenar la energía en ellas para poder aprovecharla en las horas



Universidad de Jaén

Juan José Valenzuela Expósito

Grado en Ingeniería Eléctrica

(normalmente de la noche) donde ningún sistema es capaz de cubrir la demanda del hogar.

La función de este trabajo se ha completado ofreciendo al usuario la información de consumos de la vivienda y generación del sistema solar FV y del sistema eólico. Ya debe de ser el propio usuario quien evalúe apoyándose en estos datos obtenidos lo que le puede ser de más rentabilidad para él.



7. Anexos:

En este apartado se mostrarán los anexos que han tenido relación con este trabajo, Esquemas unifilares del sistema Solar – Fotovoltaico, del sistema Eólico, de la conexión del sistema en conjunto con el banco de baterías, Manual del Aerogenerador Bornay 600W, Manual placa solar MeSolar 100W.

7.1. Manual Placa Solar – Fotovoltaica MeSolar 100W:

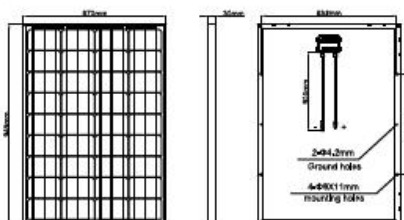


MESM-100W

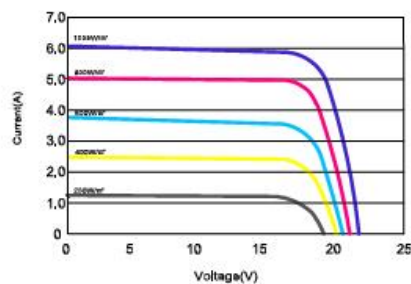
Monocrystalline Solar Panel Grade A



Module Diagram



Characteristics



Electrical Characteristics	
Product code	MESM-100W
Maximum power (Pmax)	100W
Voltage at Pmax (Vmp)	17.8
Current at Pmax (Imp)	5.62
Open-circuit voltage (Voc)	22.3
Short-circuit current (Isc)	6.07
Power temperature coefficient	-0.41%/°C
Voltage temperature coefficient	-0.31%/°C
Current temperature coefficient	+0.05%/°C
Cells Efficiency (%)	18.30%
The maximum system voltage	1000VDC (IEC)
Output power tolerance	±3%

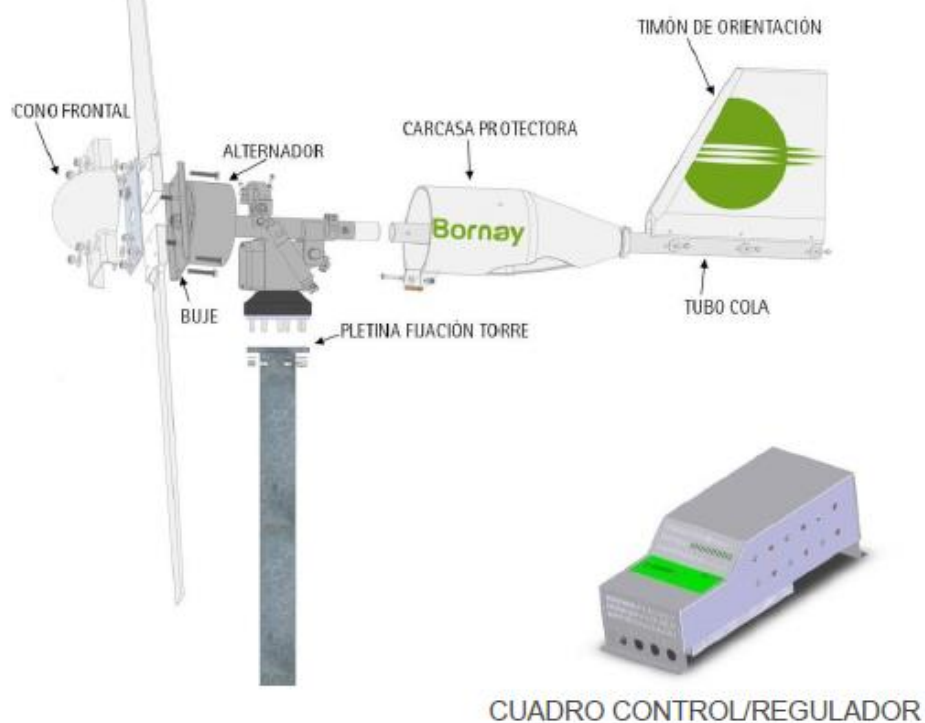
Specifications	
Cells	Germany A grade Solarworld solar cell
No. of cells and connections	36 (4X9)
Module dimension	670*945*30mm
Weight	7KG
Certification	CE, RoHS, ISO

7.2. Manual Aerogenerador Bornay 600W:

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

Bornay 600

ESP

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

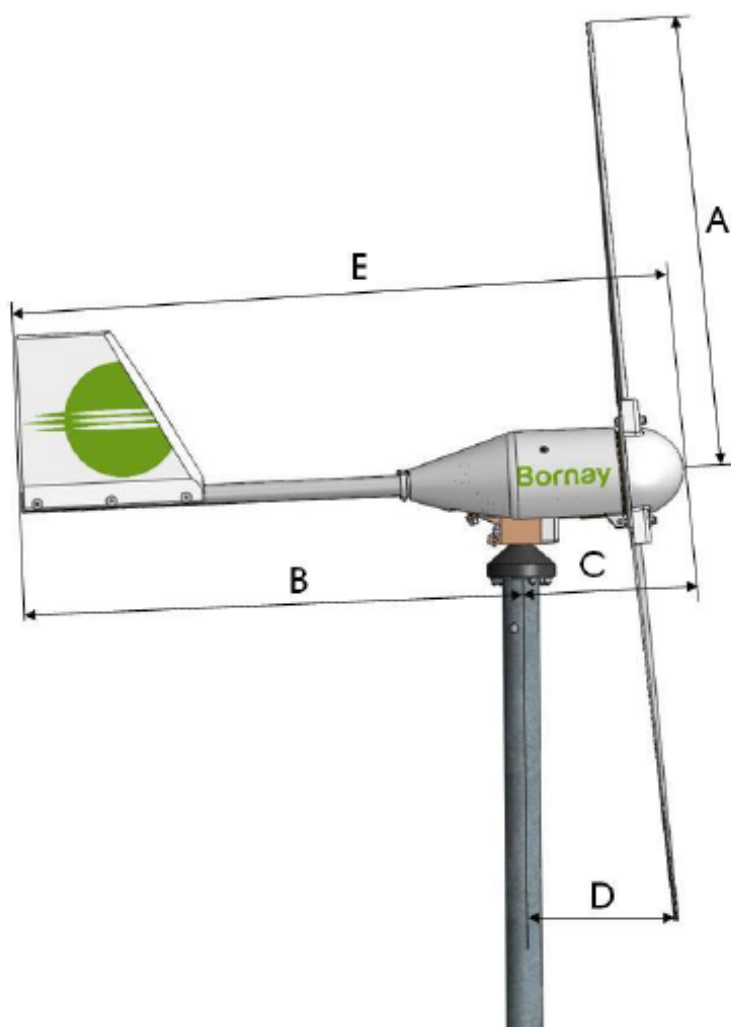
Especificaciones físicas

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



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.

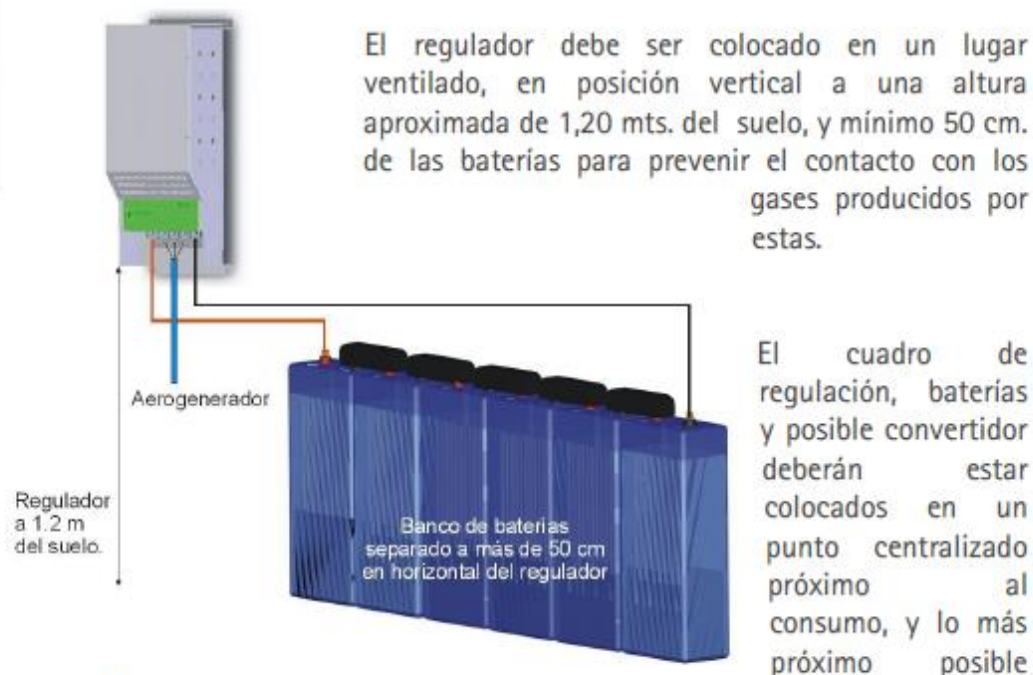
El regulador posee unas resistencias internas de disipación, y la parte superior del regulador puede calentarse en día de viento, una vez las baterías están cargadas.

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

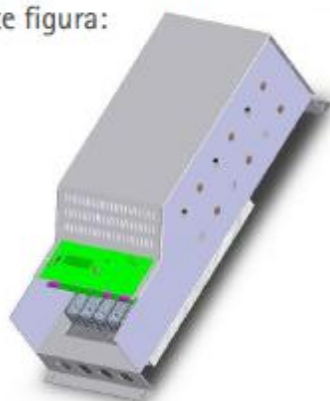
⚠ PRECAUCIÓN:

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

ESP



Para la instalación del regulador, levantar la tapa inferior del regulador (sólo la pequeña que forma un ángulo de 90°) 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.

3 – 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:

Con viento fuerte, frenar el aerogenerador accionando intermitentemente el interruptor de freno.

⚠ PRECAUCIÓN:

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



El aerogenerador puede quedarse frenado fijamente por varios motivos:

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 está situación se da, y el frenado automático esta 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.

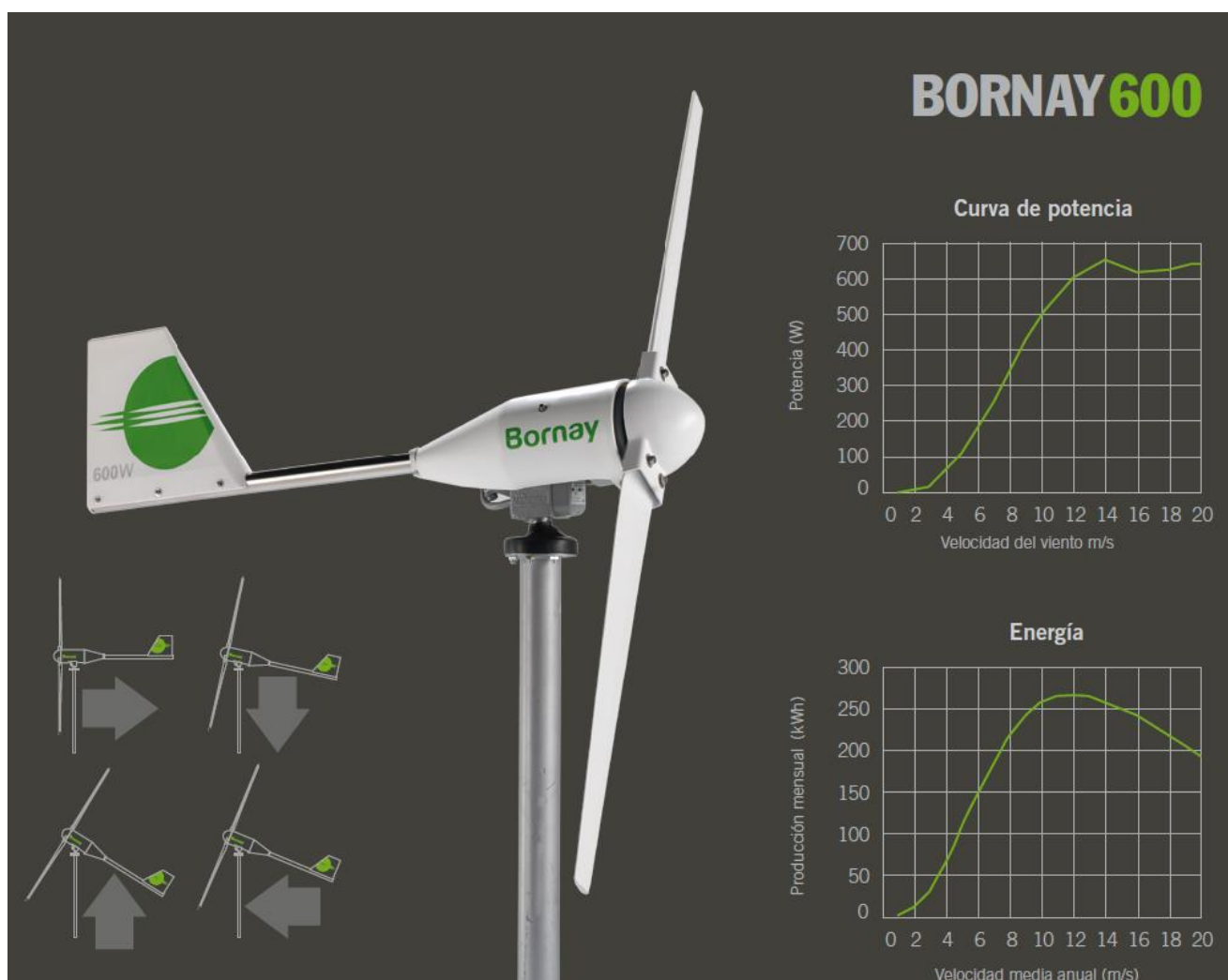
⚠ PRECAUCIÓN:

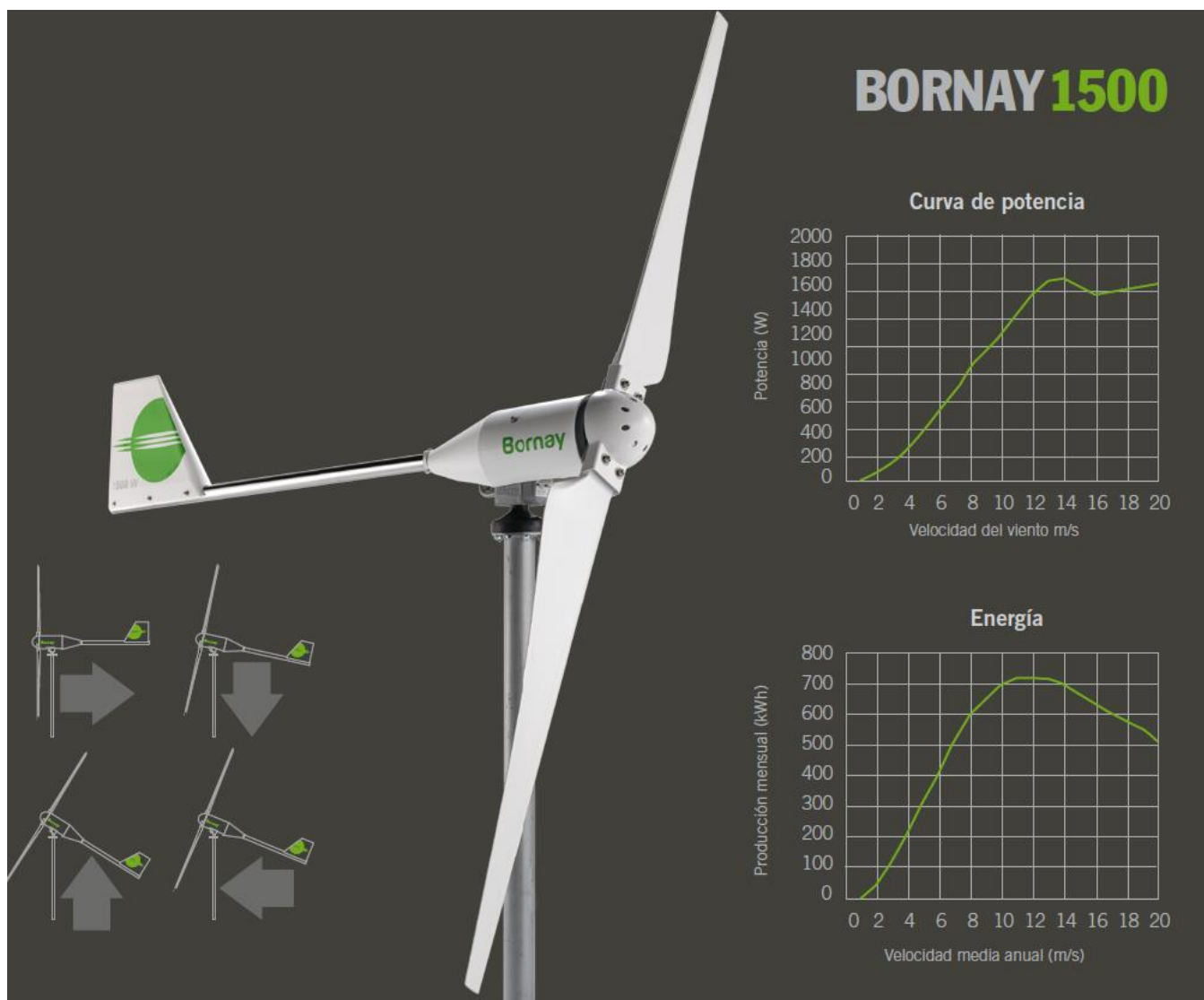
Con viento muy fuerte, no deje nunca el aerogenerador girando en posición de freno.

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 programado. Si no es permitido el voltaje de baterías para la potencia programada, aparecerá un mensaje indicando que el voltaje no es correcto.

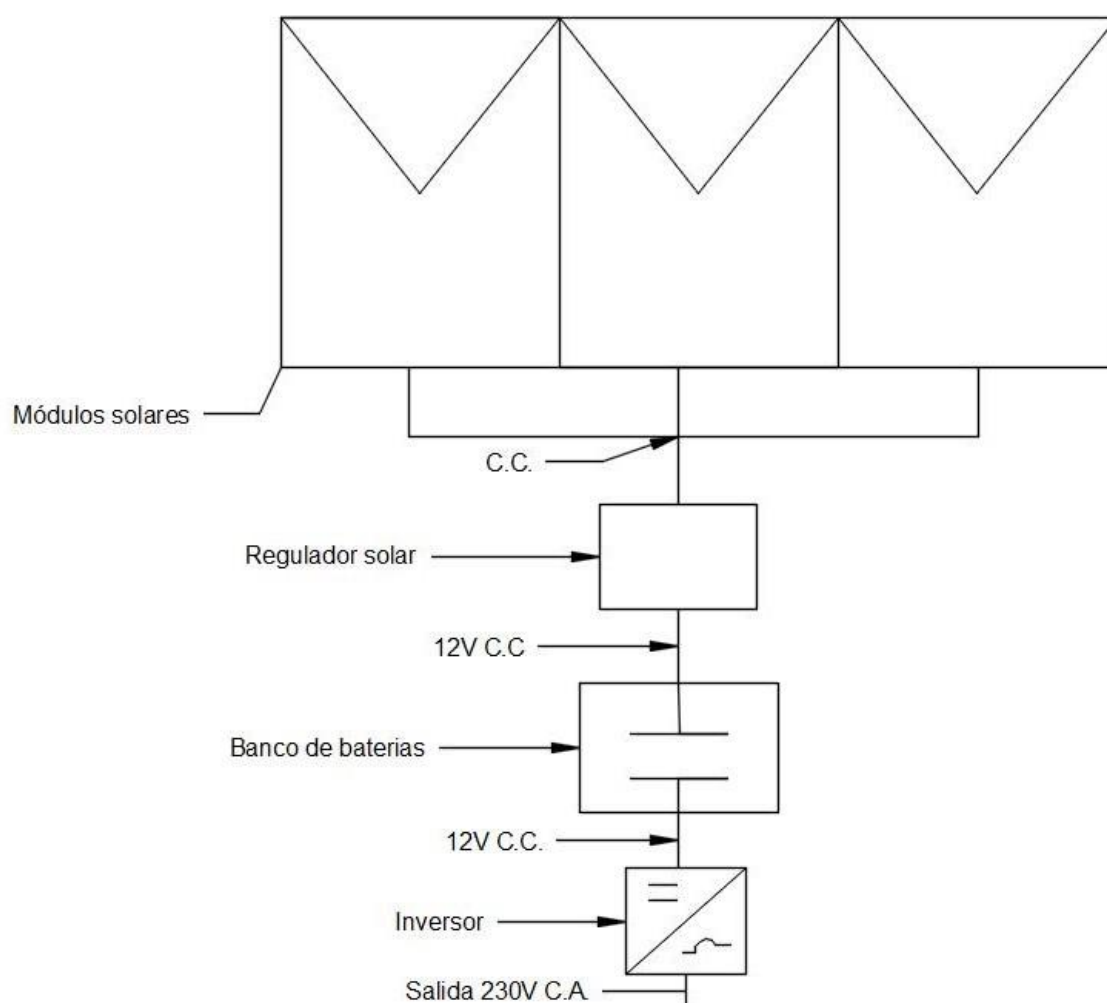
7.3. Curva Potencia y Energía Aerogenerador Bornay 600W y 1500W:





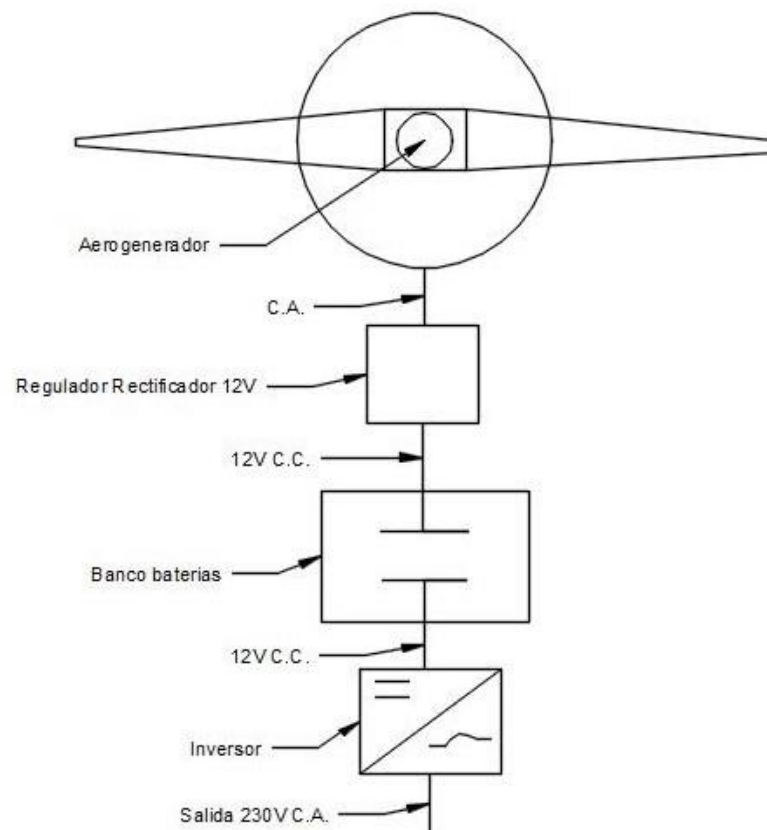


7.4. Esquema Unifilar Sistema Solar – Fotovoltaico:



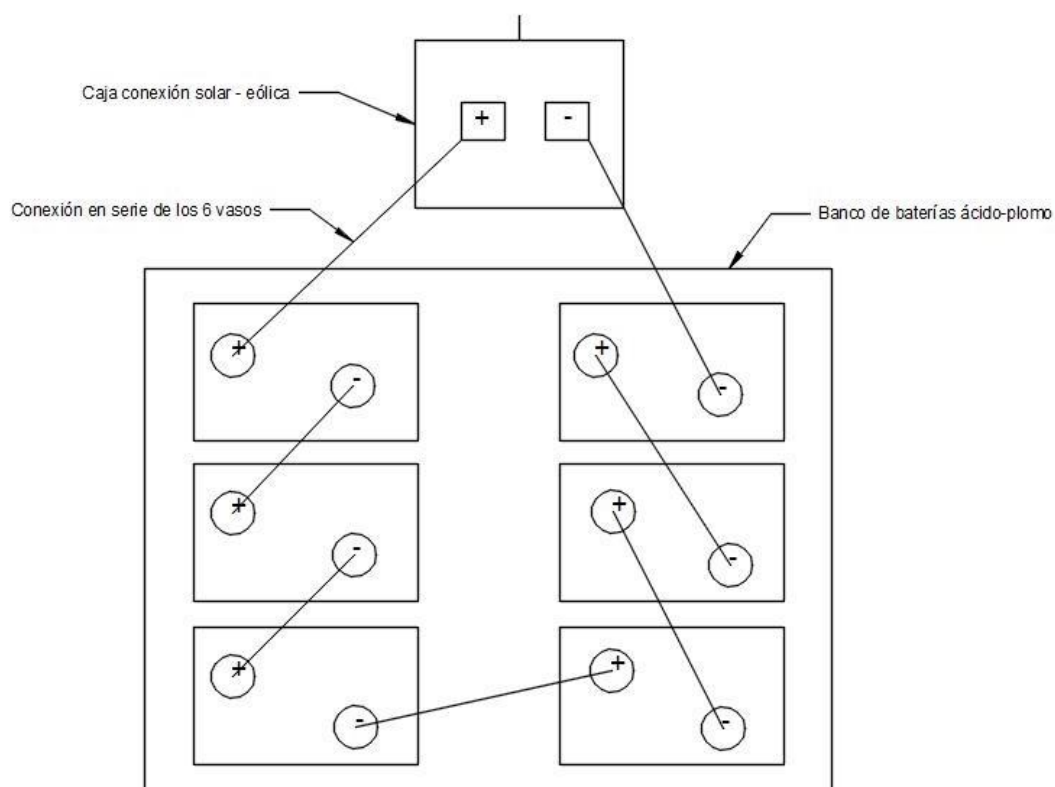


7.5. Esquema Unifilar Sistema Eólico:





7.6. Esquema Unifilar Banco de Baterías:





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] Manual de usuario Aerogenerador Bornay 600. *Nº de serie D711B895, Voltaje 12V. Bornay aerogeneradores SLU. Disponible en www.bornay.com*
- [2] Energía solar fotovoltaica. *Editorial FC – Bureau Veritas Formación, autores Javier María Méndez Muñiz y Rafael Cuervo García, 6ª Edición.*
- [3] Centrales de energía eléctrica renovables: Generación eléctrica con energía renovable. UNED – Pearson Practise Hall, autores: Jose Antonio Carta González, Roque Calero Pérez, Antonio Colmenar Santos y Manuel Alonso Castro – Gil.
- [4] Manual de energía eólica. 2ª edición corregida, autores: J. M. Escudero López, Mundiprensa.
- [5] Investigación experimental de una microgrid con base solar/hidrógeno. Universidad de Bolonia (Italia), junio 2017, investigadores: M. A. Ancona, M. Bianchi, L. Branchini, A. de Pascale, F. Melino y A. Peretto.
- [6] Modelo de diseño de una microred híbrida de viento y solar para proyectos de electrificación en países en desarrollo. Universidad Politécnica de Cataluña, noviembre de 2015, autores; L. Ferrer – Martí, B. Domenech, A. García Vilhoira y R. Pastor.
- [7] Funcionamiento stand – alone de un electrolizador de agua alcalina alimentado por sistemas eólicos y fotovoltaicos. Universidad pública de Navarra, Septiembre 2013, autores: Alfredo Ursua, Idoia san Martín, Ernesto L. Barrios y Pablo Sanchis.



- [8] Proyecto de diseño y verificación experimental de una turbina portátil de energía de viento pequeño de alta eficiencia (SWEPT). Centro de investigación de energía en Virginia (USA), abril de 2013, investigadores: Ravi Anant Kishore y Shashank Priya.
- [9] Imágenes Satélite para localización obtenidas de Goolge Maps. Disponible en www.google.com/maps
- [10] Fuente de datos de irradiación sobre las placas solares y velocidades de viento en los últimos 10 años (PVGIS). Disponible en http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
- [11] Actualidad de las energías renovables en España. Disponible en www.fenieenergia.es
- [12] Mayores fabricantes de placas solares fotovoltaicas. Disponible en www.pv-magazine-latam.com
- [13] Mayores fabricantes de turbinas eólicas. Disponible en www.elperiodicodelaenergia.com
- [14] Datos vida útil baterías estacionarias y sus ciclos. Disponible en <https://tecnosolab.com>
- [15] Referente en almacenamiento en baterías en Europa empresa Cegasa. Disponible en www.cegasa.com
- [16] Imágenes de Google imágenes. <https://www.google.com>
- [17] Datos consumo en vivienda. *Endesa Distribución*. <https://www.endesaclientes.com>
- [18] Programa para obtener los datos medidos por el analizador de Redes en el ordenador. Power Analyzer Transfer (PAT).
- [19] Función de Distribución de Weibull. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/viento/estadistica.html>
- [20] Esios, Red Eléctrica de España. Disponible en: <https://www.esios.ree.es/es?locale=es>
- [21] Instituto para la diversificación y el ahorro de energía (IDAE)