



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

Análisis de viabilidad de una  
vivienda energéticamente  
autónoma en Matadepera  
(Barcelona)

Autor: José Julián Salazar

Tutor: Miguel Villarrubia López

Curso académico: 2015 - 2016

Máster en Energías Renovables y  
Sostenibilidad Energética

Dos Campus d'Excel·lència Internacional:



RESUMEN .....	III
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	1
1.3 ANTECEDENTES .....	1
1.4 UBICACIÓN DEL PROYECTO .....	1
2. METODOLOGÍA .....	2
2.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA VIVIENDA.....	2
2.2 CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO.....	3
2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR INCIDENTE.....	5
2.4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO POR BALANCE DE ENERGÍA.....	7
2.5 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA .....	8
2.5.1 DIMENSIONADO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS .....	8
2.5.2 DIMENSIONADO DE LAS BATERÍAS .....	9
2.5.3 DIMENSIONADO DE INVERSOR .....	10
2.5.4 DIMENSIONADO DE REGULADOR DE CARGA .....	11
2.6 DIMENSIONADO DE GRUPO ELECTRÓGENO DE APOYO.....	12
2.6.1 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE CALCULO O CARGA TÉRMICA .....	13
3. RESULTADOS.....	14
3.1 INSTALACION FOTOVOLTAICA DE LA VIVIENDA (Demanda Cotidiana).....	14
3.2 BANCO DE BATERÍAS.....	15
3.3 INVERSOR .....	15
3.4 REGULADOR DE CARGA.....	16
3.5 GRUPO ELECTRÓGENO .....	16
3.6 REPRESENTACION DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA.....	17
4. RESUMEN DE ESPECIFICACIONES BÁSICAS DE PROYECTO .....	18
5. ANALISIS DAFO.....	19
6. CONCLUSIONES.....	19
7. RECOMENDACIONES .....	20
8. BIBLIOGRAFÍA .....	21
ABSTRACT .....	22

## Índice de Figuras

Fig. 1. Ubicación Geográfica del Proyecto.....	2
Fig. 2. A) Terreno. B) Vista de la Zona .....	4
Fig. 3. Horas acumuladas al año de la velocidad del viento. ....	5
Fig. 4. Horas equivalentes de sol. Inclinación 35° (Óptima Anual) .....	6
Fig. 5. Horas equivalentes de sol. Inclinación 64° .....	7
Fig. 6. Esquema de un sistema aislado (grid-off) [2] .....	7
Fig. 7. Perfil de Demanda diaria para el consumo considerado.....	11
Fig. 8. Estructura de conexión de los módulos fotovoltaicos .....	14
Fig. 9. Representación final del sistema fotovoltaico aislado.....	17

## Índice de Tablas

Tabla 1. Datos Geográficos del Proyecto.....	1
Tabla 2. Consumo diaria Aproximado de Vivienda. ....	2
Tabla 3. Propiedades del Recurso Eólico en la zona de estudio. Atlas Eólico de España (IDAE-Meteosim). ....	4
Tabla 4. Potencia y Energía producida por aerogeneradores verticales usados como referencia.....	5
Tabla 5. Datos de Irradiación e Irradiancia en Matadepera. PVGIS.....	8
Tabla 6. Requerimientos en módulos fotovoltaicos. ....	14
Tabla 7. Requerimientos para el sistema de baterías.....	15
Tabla 8. Dimensión del Inversor o grupo de Inversores.....	15
Tabla 9. Parámetros del Regulador de Carga .....	16
Tabla 10. Potencia de Equipos de uso puntual.....	16
Tabla 11. Grupos Electrónicos a considerar. ....	16
Tabla 12. Especificaciones básicas del Proyecto. ....	18

## RESUMEN

El presente estudio trata sobre el dimensionado de una instalación solar fotovoltaica para proveer de energía eléctrica a una vivienda unifamiliar que será construida en la localidad de Matadepera, España; como dato inicial del proyecto se buscó generar la energía eléctrica que necesitaría la vivienda mediante energía eólica, sin embargo este recurso fue desestimado debido al bajo potencial del recurso eólico, posteriormente la energía eléctrica será generada a partir de la irradiación solar incidente la cual demostró que puede ser un recurso viable y disponible para ser aprovechado por la instalación autónoma.

Una propuesta de la potencia fotovoltaica a instalar y capacidad de baterías es presentada, como punto importante se menciona que el inversor de corriente fue determinado de manera orientativa debido a la falta de un perfil de demanda de la vivienda, siendo necesario considerar solamente los equipos que requieran un uso cotidiano, el resto de equipos necesitará ser alimentado por un grupo electrógeno de apoyo.

Estudios de este tipo ayudan a conocer cuáles son los recursos disponibles para producir electricidad de manera renovable y autónoma con el fin de crear sostenibilidad y responsabilidad ambiental, además de practicar de manera permanente la eficiencia energética durante el diseño, producción y uso de las instalaciones autónomas aisladas de la red.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 JUSTIFICACIÓN

Cada zona geográfica presenta características particulares en cuestión de recursos energéticos renovables, siendo éstos estratégicos cuando se considera emprender un proyecto de aprovechamiento de estas fuentes, sea por brindar un servicio o para hacer uso del mismo en un terminal de consumo. La información que se tiene de estos recursos se vuelve disponible cada vez más con relativa facilidad y el futuro productor de energía visualiza la rentabilidad al generar electricidad con fuentes renovables a mediano plazo en comparación de mantenerse ligado al servicio convencional de suministro eléctrico. Mientras los recursos de energía renovable disponibles in situ lo permitan, el impulso que tenga el potencial productor se verá justificado técnica y económicamente, además de ser sostenible energéticamente.

### 1.2 OBJETIVOS

- Determinar el recurso renovable idóneo para la generación de energía eléctrica para una vivienda unifamiliar aislada de la red.
- Dimensionar la potencia y capacidad de almacenamiento que requeriría un sistema autónomo aislado de red, presentando un nivel aceptable de autonomía.

### 1.3 ANTECEDENTES

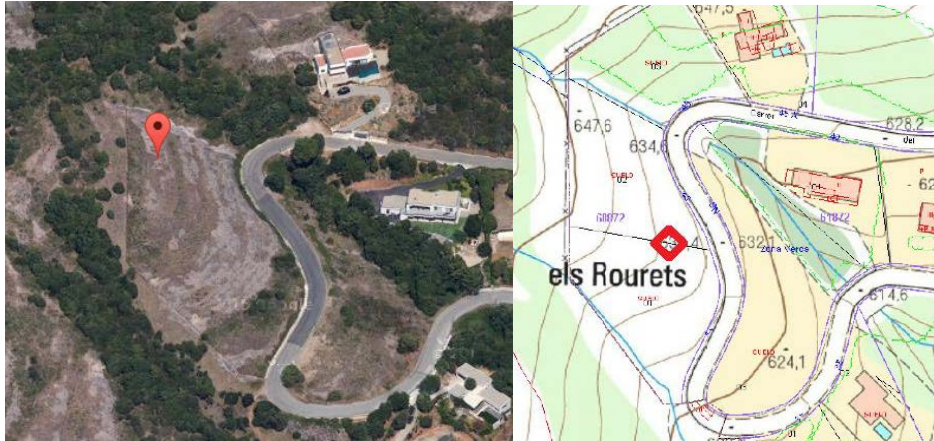
El proyecto parte del interés de construcción de una vivienda unifamiliar, localizada en la ciudad de Matadepera (Cataluña, España) que disponga de generación eléctrica autónoma a partir de fuentes de energía renovable, para lo cual existen dos alternativas: Eólica o Solar Fotovoltaica, siendo las fuentes mencionadas las que presentan mayor presencia en la zona además de la disponibilidad de datos técnicos de las mismas.

### 1.4 UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto presenta las siguientes características geográficas:

Localidad	Latitud	Longitud	Altitud
Matadepera	41.625043	1.991198	631msnm

*Tabla 1. Datos Geográficos del Proyecto.*



*Fig. 1. Ubicació Geogràfica del Projecte*

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA ELÉCTRICA DE LA VIVIENDA

Para dimensionar la instalación fotovoltaica de consumo, es necesario conocer la demanda de energía eléctrica que tiene la vivienda, como dato de partida se tiene que la vivienda está en fase de construcción, por lo cual no hay hábitos de consumo iniciales que permitan definir un perfil de carga horaria, siendo este perfil de carga útil para generar un diseño optimizado. Para un diseño referencial se parte de los equipos eléctricos que serán instalados en la vivienda, para determinar el tamaño de la instalación en referencia a aerogeneradores o módulos fotovoltaicos y baterías; el tema de inversores y controladores de carga es más sensible debido a que se debe considerar el perfil de carga previamente mencionado, sin embargo serán estimados valores de referencia para estos equipos.

Demanda Cotidiana	
Zona de la Vivienda	Consumo diario Aprox. (kWh/día)
Iluminación	2,10
Cocina	3,34
Salón	0,86
Despacho	2,39
Lavadero	3,06
Habitaciones	0,65
Baños	0,40
<b>TOTAL</b>	<b>13 kWh/día</b>
Demanda Puntual/Periódica (Potencia)	
Taller	6,50 kW
Piscina	0,21 kW
Climatización	Anexo 9

*Tabla 2. Consumo diaria Aproximado de Vivienda.*

Los consumos citados en la tabla 2, son tomados del Anexo 1, que muestra a detalle los consumos cotidianos y puntuales que efectuarían los equipos a ser instalados en la vivienda basándose en la frecuencia de consumo citada por la parte interesada del proyecto. Estos consumos son de ayuda para definir una dimensión inicial de la instalación de energía renovable para cantidad de aerogeneradores o módulos solares y baterías principalmente. Al igual que los consumos, la consideración de la potencia instalada de los equipos permite asignar grupos de equipos a diferentes grupos generadores de energía, es óptimo que la instalación de generación aislada energice a los equipos utilizados de manera cotidiana y aquellos que sean puntuales sean alimentados por grupos de apoyo.

Es realizado un análisis de las características de los recursos renovables de los cuales se puede considerar a partir de ellos generación de energía eléctrica. Con los resultados obtenidos posteriormente se decidirá cuál será la tecnología a aplicar.

## 2.2 CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO

La energía eólica presenta un potencial energético importante que está sujeto a la ubicación y condiciones existentes en el terreno a ser considerado, es ideal que existan zonas amplias o que no se vean afectadas por entornos urbanos ni por obstáculos que disminuyan la energía cinética del viento, todas estas perturbaciones serán ocasionadas por la rugosidad del terreno; visualmente la ubicación presenta zonas boscosas y pendiente de tipo ladera. Esto puede aumentar la rugosidad del terreno provocando disminución del potencial eólico.

Se presentan las particularidades que muestra la zona en relación al recurso eólico existente:





*Fig. 2. A) Terreno. B) Vista de la Zona*

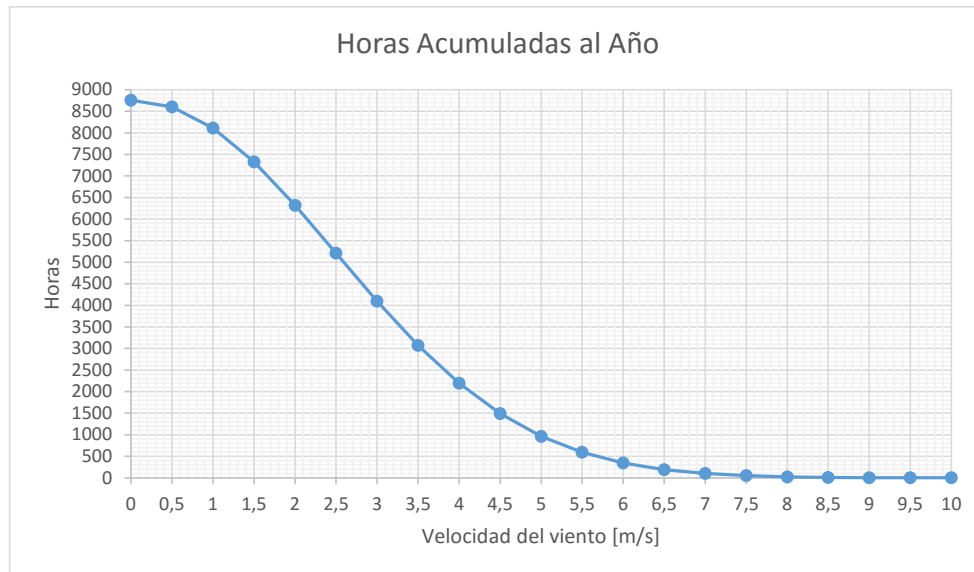
Los datos que proporciona la tabla 3 son útiles para caracterizar el comportamiento del viento durante el año, sin embargo una de los principales puntos débiles existentes en la consideración de energía eólica como fuente renovable para producir energía eléctrica es la baja velocidad media anual, teniendo en cuenta que aprovechar la energía eólica del lugar era la primera opción a considerar en el proyecto haciendo uso de turbinas de eje vertical (VAWT).

<b>Información Media Anual</b>	
<b>Elevación</b>	631 metros
<b>Rugosidad</b>	0,1 metros
<b>Medición sobre el suelo</b>	30 metros
<b>Velocidad Media Anual <math>\langle V \rangle</math></b>	3,68 m/s
<b>Factor de Escala (C)</b>	4,28 m/s
<b>Factor de Forma (Weibull) (K)</b>	2,256

*Tabla 3. Propiedades del Recurso Eólico en la zona de estudio. Atlas Eólico de España (IDAE-Meteosim).*

El procedimiento para analizar el viento presente en la zona fue a partir de los datos de la información media anual (tabla 3), los factores permiten caracterizar la situación en el lugar del viento existente, los parámetros son a una altura de 30 metros sobre el suelo del terreno, el generador eólico no estará a dicha altitud por lo cual fue necesario escalar los parámetros a la elevación que estará instalado el generador (aproximadamente 13 metros, usando una torre de 12 metros), siendo la variación del perfil vertical de velocidad un factor crítico que analiza el potencial eólico existente.





*Fig. 3. Horas acumuladas al año de la velocidad del viento.*

Mediante la ley de distribución de Weibull de la velocidad del viento se obtuvo la función de densidad de probabilidad para la velocidad del viento, y por consiguiente el histograma de velocidades del viento en un periodo anual. La frecuencia acumulada da lugar a las horas acumuladas de viento en función de su velocidad, siendo esta duración otro indicador útil que se utilizó para discutir la viabilidad técnica de este recurso (Figura 3). Tal como se desarrolló en el Anexo 7.

Con una velocidad media aproximada de 3m/s, los parámetros de viento en el lugar y usando como referencia dos aerogeneradores VAWT de 300W y 600W, se estimó la energía producida al año.

AEOLOS-V 300W		AEOLOS-V 600W	
Potencia Generada	Energía Producida	Potencia Generada	Energía Producida
0,02 kW	151,74 kWh/año	0,04 kW	311,22 kWh/año

*Tabla 4. Potencia y Energía producida por aerogeneradores verticales usados como referencia.*

Estos datos consideran la energía producida desde que el aerogenerador supera su velocidad de conexión (1,5m/s. Anexo 8), este análisis desestimaría el uso de energía eólica como recurso de obtención de energía eléctrica, considerando que los consumos presentados en la tabla 2 están muy por encima de lo generado por el recurso eólico.

## 2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR INCIDENTE

El estudio ha sido realizado para tener en cuenta el recurso solar parte de la cantidad de irradiación existente en la zona, para lo cual se puede obtener esta información de bases de datos especializadas, las cuales están caracterizadas por la recogida de datos de varios años sobre la actividad de la irradiación solar. En este trabajo se ha utilizado la

plataforma PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), la cual es una base de datos europea que presenta información fiable.

Como dato clave para el lugar en cuestión, la inclinación óptima que debería tener un módulo o grupo de módulos solares fotovoltaicos para obtener el máximo aprovechamiento de la irradiación es  $35^\circ$ , sin embargo la inclinación óptima por lo general es un dato que deriva en confusiones dado que el aprovechamiento máximo será en los meses de mayor irradiación, tal intervalo va comprendido entre Mayo y Agosto, los demás meses tendrán menos horas equivalentes de sol (HSP o “yield”), el *yield* de una locación viene dado por la relación entre la irradiación incidente y la irradiancia, éste último la potencia por unidad de área debido al bombardeo de fotones provenientes del sol, generalmente tiene un valor de  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , siendo la analogía a la cantidad de horas que el sol ha emitido con este valor durante una hora.

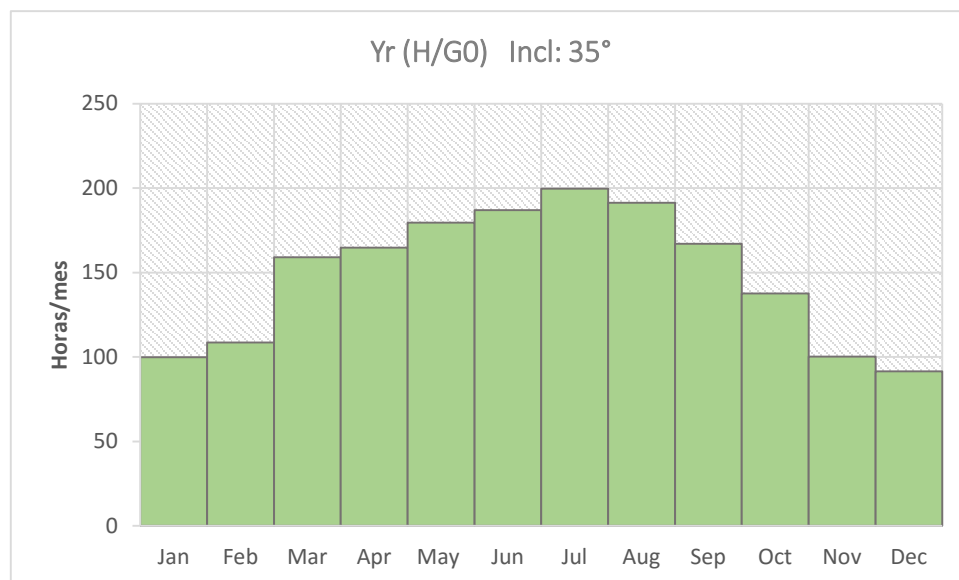
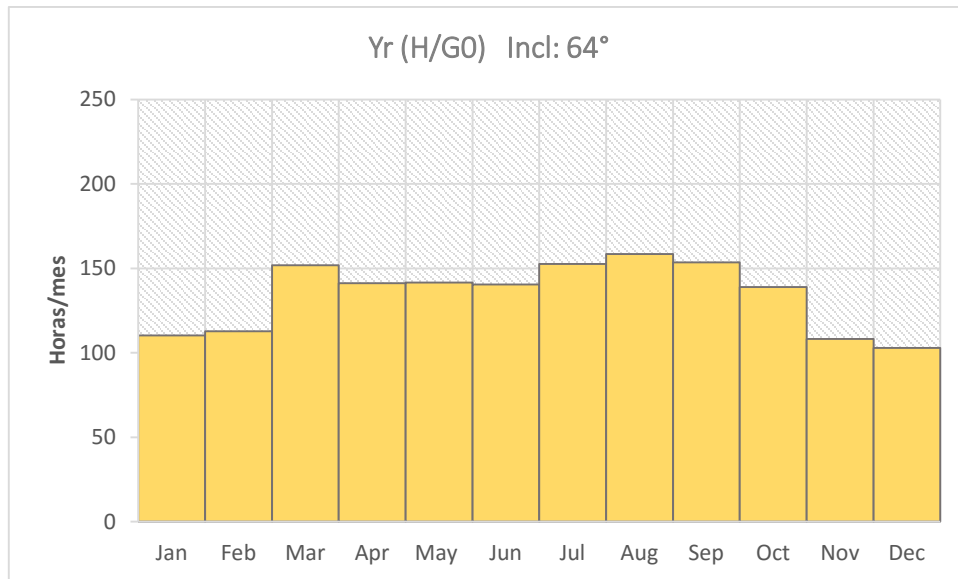


Fig. 4. Horas equivalentes de sol. Inclinación  $35^\circ$  (Óptima Anual)

Utilizar la inclinación óptima anual para diseñar una instalación fotovoltaica aislada de la red sería lo conveniente en caso de que la vivienda fuera habitable solamente durante el período de verano, con lo cual quedaría abastecido el consumo durante ese periodo además de incluir la climatización necesaria para la vivienda, con casi 200 horas equivalentes en el mes de Julio, tal como queda ilustrado en la figura 3, no habría problema en no preocuparse de los meses de invierno, porque estos meses la casa estaría inhabitada. Sin embargo la vivienda será habitable durante todo el año, por lo cual el concepto de inclinación óptima anual para dimensionar la instalación queda totalmente descartado; es necesario obtener las máximas horas de sol equivalentes para cada mes, especialmente para los meses de menor producción que son los de invierno, y siendo estos los más críticos, Diciembre y Enero.

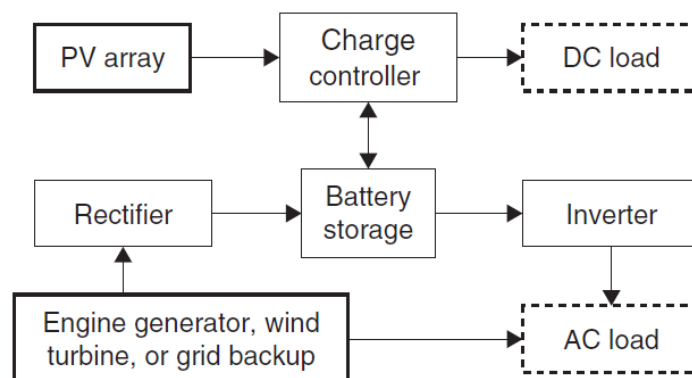


*Fig. 5. Horas equivalentes de sol. Incl. 64°*

En la figura 4, se observan las horas equivalentes para una inclinación de 64°, este valor ha sido escogido porque es la inclinación a la cual se obtiene el máximo aprovechamiento para el mes de Diciembre que es el de menor irradiación.

En instalaciones aisladas, se sacrifican las horas equivalentes ganadas en verano, para obtener el máximo posible de horas en invierno, específicamente en el peor mes, éste concepto es válido para dimensionar la instalación, dado que si la demanda de energía eléctrica de la vivienda puede ser abastecida durante este mes, no habrá inconveniente durante el resto del año, no obstante esta producción más “estable” durante el año, hace que sea necesario replantear hacia dónde está dirigido el diseño de la instalación fotovoltaica, abasteciendo solo los equipos de uso cotidiano a lo largo del año y dejando a un lado los equipo de uso puntual, como lo sería la climatización, y considerando un equipo de apoyo para estas aplicaciones.

## 2.4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO POR BALANCE DE ENERGÍA



*Fig. 6. Esquema de un sistema aislado (grid-off) [2]*

En sistemas aislados (autoconsumo) cumplir con la demanda de carga que requiere una edificación es primordial, como aspecto crítico del diseño de un sistema aislado es el dimensionado de la misma, siendo una de las tareas más importantes, a partir de aquí se obtendrá la potencia de la instalación fotovoltaica y la capacidad de almacenamiento de las baterías, necesarios para cubrir la demanda, surgiendo de aquí el concepto de balance, este tipo de diseño tiene en consideración dos elementos fundamentales (Silvestre, 2012):

- La demanda de carga diaria típica. Este concepto debe ir acompañado del detalle de consumo a lo largo del día, para el análisis que se realiza en este estudio se considera la cantidad de energía consumida en un día.
- La cantidad de HSP (Horas solares pico), o también conocidas como las horas equivalentes que deben corresponder al período crítico de la operación del sistema, meses con baja irradiación y alta demanda, el cual de manera general para sistemas aislados son los meses de Diciembre o Enero, dependiendo de la locación, en este caso es Diciembre; fue mencionado anteriormente que la inclinación de los módulos fotovoltaicos sería de 64 grados, este dato está justificado porque es la inclinación a la cual se obtiene la mayor cantidad de HSP en el mes con más baja irradiación.

<b>Diciembre</b>		
<b>Irradiación (H)</b>	<b>Irradiancia (G<sub>0</sub>)</b>	<b>HSP (yield) = H/G<sub>0</sub></b>
3360 Wh/m <sup>2</sup>	1000 W/m <sup>2</sup> (STC)	3,36 horas

*Tabla 5. Datos de Irradiación e Irradiancia en Matadepera. PVGIS.*

Una vez definido el mes desde el cual partirá el diseño, Diciembre, se tiene una cantidad de HSP aproximada de 3,4 horas (Tabla 5 derivada de Anexo 2).

## **2.5 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA**

### **2.5.1 DIMENSIONADO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS**

Un módulo o panel fotovoltaico es un dispositivo de estado sólido que convierte la luz proveniente del sol (incidencia de fotones) en electricidad, existen diversos tipos de módulos, sin embargo los de tipo policristalino, producidos a partir de varios granos de silicio monocristalino, por su manufactura más simple y menor rendimiento que los monocristalinos aunque aceptable (menor costo), presentan una alternativa disponible y válida para usarla en el diseño. En concreto, se utilizarán módulos fotovoltaicos policristalinos AXITEC-72CEL, de 300 Vatios de potencia y eficiencia de 15.46%.

La potencia que suministre la planta fotovoltaica ( $P_{PV,ARRAY}$ ) durante el número de horas equivalentes HSP, debe igualar a la energía eléctrica requerida por la demanda ( $E_L$ ), este concepto muy idealizado viene interferido por condiciones reales como:

- el rendimiento de los conductores e inversor ( $n_{B,O}$ ),
- pérdidas debido a la manufactura de los paneles (fmanuf, Anexo 2),
- temperatura presente en la zona (ftemp, Anexo 2) y
- suciedad (polvo) (fsuc, Anexo 2),

Siendo conocido el producto de los últimos tres factores como Performance Ratio (PR); siendo Ec.1 la que establece la relación entre estos factores.

$$P_{PV,ARRAY} = \frac{E_L}{n_{B,O} * PR * HSP} \quad (1)$$

Con la potencia obtenida del total de paneles, la cantidad de los mismos debe ser ordenada mediante una matriz que comprenda paneles conectados en serie ( $N_{MS}$ ) y paralelo ( $N_{MP}$ ), a fin de cumplir con el voltaje y amperaje por unidad de tiempo requeridos (ecuaciones 2 y 3).

$$N_{MS} = \frac{V_{SISTEMA}}{V_{MPP}} \quad (2)$$

$$N_{MP} = \frac{P_{PV.ARRAY}}{N_{MS} * P_{MOD}} \quad (3)$$

El voltaje con el que trabajará cada módulo debe ser el de máxima potencia ( $V_{MPP}$ ), para lo cual es necesario hacer uso de reguladores de carga con tecnología MPPT (optimización de la curva voltaje-intensidad para producir mayor potencia), de este modo se aprovecha la máxima potencia de los módulos ( $P_{MOD}$ ).

El número total de módulos fotovoltaicos es el producto de ambas expresiones (Ec.2 y Ec.3).

## 2.5.2 DIMENSIONADO DE LAS BATERÍAS

El banco de baterías se caracteriza por la satisfacción de demanda durante períodos de poca o nula irradiación solar, en los cuales la energía eléctrica producida por los módulos no cubre en su totalidad los requerimientos del proyecto, el consumo diario y el potencial eléctrico definen la capacidad de almacenamiento del banco de baterías, esta capacidad se establece estacional o diariamente, en la primera se considera un periodo en el cual el banco de baterías será lo que proporcione el suministro eléctrico incluyendo el factor “autonomía” (factor crítico que caracteriza al sistema aislado), definiendo el número de días que el proyecto estará aislado de la parte de generación, 10 días considerados para una ubicación con latitud de 41° (Tabla 1) (Silvestre, 2012); el segundo tipo de consumo analiza la capacidad necesaria en caso de que se considere el gasto realizado a los acumuladores durante un día. En ambos casos interviene la relación de la demanda ( $E_L$ ) y/o días de autonomía ( $N_D$ ) con la profundidad de descarga máxima “DOD<sub>MAX</sub>”

(estacional o diaria) que define el máximo porcentaje de descarga que sufrirán los acumuladores, con el fin de alargar la vida útil de las baterías, la práctica habitual fija un 80% (Agustin McEvoy, 2012), voltaje del sistema ( $V_{SIST}$ ) y eficiencia de equipos ( $n_{BO}$ ,  $n_{BAT}$ ). Se considera la mayor capacidad de almacenamiento entre estacional (Ec.4) o diaria (Ec.5) para el diseño.

$$C_{S,E} = \frac{N_D * E_L}{DOD_{MAX.EST} * V_{SIST} * n_{BO} * n_{BAT}} \quad (4)$$

$$C_{S,D} = \frac{E_L}{DOD_{MAX.DIA} * V_{SIST} * n_{BO} * n_{BAT}} \quad (5)$$

Al igual que los paneles, es necesario un arreglo que permita cumplir las necesidades del sistema aislado, y según sea el caso deben existir conexiones en serie (relación entre los voltajes del sistema y de las baterías (Ec.6)) y/o paralelo (relación entre la capacidad de almacenamiento y la capacidad de la batería (Ec.7)).

$$N_{BS} = \frac{V_{SIST}}{V_{BAT}} \quad (6)$$

$$N_{BP} = \frac{C_S}{C_{BAT}} \quad (7)$$

La cantidad total de baterías será el producto entre ambas expresiones (Ec.6 y Ec.7). Se ha considerado la batería Rolls 48V 605Ah/C100 468Ah/C20 (Anexo 6).

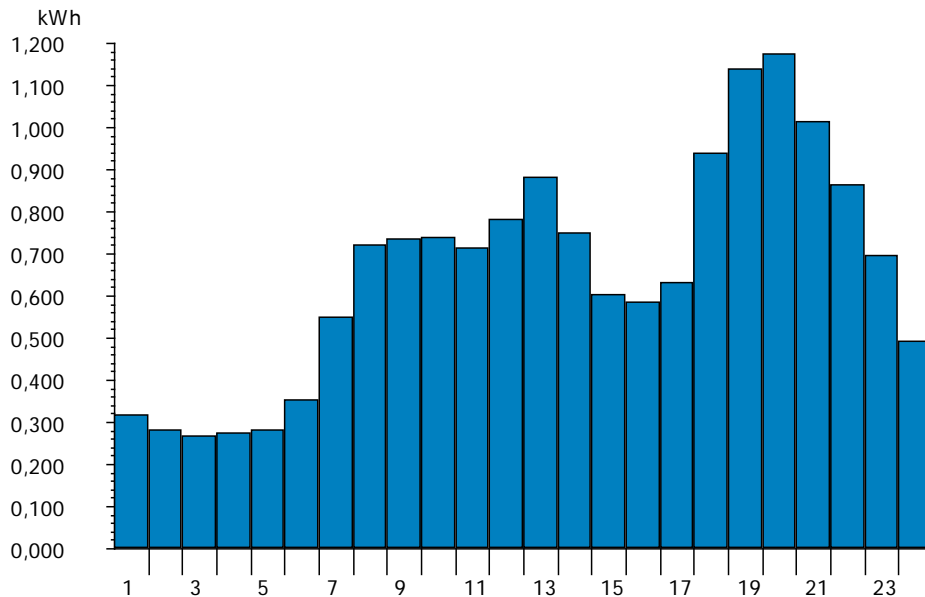
### 2.5.3 DIMENSIONADO DE INVERSOR

El inversor es el equipo responsable de convertir la corriente directa proveniente del conjunto de paneles o baterías en alterna y mantener constante el voltaje suministrado, necesaria para el funcionamiento de los equipos instalados, es a partir de este factor que el inversor es dimensionado, dependiendo de la capacidad de potencia total de la vivienda. En este estudio es importante recalcar que el dimensionado del inversor es orientativo ya que no existe un perfil de demanda a lo largo del día, en instalaciones de autoconsumo o aisladas es siempre importante determinar perfiles de demanda estacionales o diarios, y cada vivienda es un caso particular.

La potencia total que debe cubrir el inversor o inversores ( $P_{INV}$ ) parte de la premisa de abarcar las potencias que presentan los equipos ( $P_{RS}$ ), además de considerar a los equipos que presentan corrientes de arranque por periodos cortos de tiempo ( $P_{LSC}$ ) (corriente de arranque aproximadamente 3 veces la nominal), adicionalmente se incluye un factor de expansión de la instalación, aproximadamente un 25% (Ec.8).

$$P_{INV} = 1.25(P_{RS} + 3P_{LSC}) \quad (8)$$

Sin embargo, en una vivienda los equipos instalados no funcionan simultáneamente todos en conjunto, habrá equipos que funcionen de una manera más frecuente que otros y también según los hábitos de consumo grupos o sectores de equipos predefinidos.



*Fig. 7. Perfil de Demanda diaria para el consumo considerado.*

Los perfiles de demanda pueden ser caracterizados según el tipo de instalación de consumo, la figura 7 representa una demanda de tipo residencial con el consumo diario especificado para este proyecto (13 kWh/día), utilizando la aplicación de software HOMER ENERGY PRO, la curva presenta buena información para definir puntos donde la demanda será importante cuantitativamente, la desventaja de utilizar estas curvas simuladas es que parten de plantillas y no se especifica qué equipos en realidad funcionan en ese instante, sin embargo el área debajo de la curva es igual a la demanda diaria.

La aproximación que se llevará a cabo en este trabajo será considerar coeficientes de simultaneidad de uso, de este modo se evita sobredimensionado del equipo inversor, teniendo como fundamento que no todos los equipos funcionan de manera simultánea, el cálculo de la potencia máxima utilizada puede ser obtenida mediante el producto de la potencia de los equipos de manera sectorizada y el factor de simultaneidad de cada sector de la vivienda, según la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-25 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).

## 2.5.4 DIMENSIONADO DE REGULADOR DE CARGA

Un controlador de carga es un instrumento que regula la potencia de los módulos fotovoltaicos a fin de prevenir un estado de sobrecarga en las baterías, adicionalmente gestiona la distribución de energía a la carga dependiendo cual sea el sistema que dona electricidad al sistema (fotovoltaico, acumulador o grupo electrógeno)

La capacidad de producción de un sistema autónomo viene limitado por el valor de voltaje que manejan los acumuladores, sin embargo los reguladores de carga actuales utilizan tecnología de seguimiento de punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés), de este modo se obtiene una relación voltaje-intensidad (V/I) óptima para conseguir la máxima potencia del panel solar.

El dimensionado del regulador depende de las intensidades de entrada y salida con las que vaya a trabajar el equipo, donde la intensidad de entrada es la proveniente del sistema fotovoltaico, corriente total procedente de todos los ramales en paralelo ( $I_{SC} * N_{MP}$ ) considerando un factor de seguridad (Ec.9) y la salida viene definida por la demanda que solicite la carga, potencia total simultánea en el sistema dividida por el voltaje que maneje el sistema de acumuladores (Ec.10).

$$I_{RE} = 1,25 * I_{SC} * N_{MP} \quad (9)$$

$$I_{RS} = \frac{P_{AC}}{n_{inv} * V_{BAT}} \quad (10)$$

## 2.6 DIMENSIONADO DE GRUPO ELECTRÓGENO DE APOYO

Al ser un sistema aislado se vuelve imperativo fijar estrategias referentes a situaciones donde el mismo sistema no pueda ser capaz de ser autónomo, situaciones como fallos presentes en el sistema de paneles fotovoltaicos, o problemas con acumuladores, o rutinas periódicas como regímenes de mantenimiento, por lo cual dotar al sistema de una etapa de apoyo para suplir al mismo cuando la demanda lo requiera es un factor que no se puede desestimar. Adicionalmente a la consideración de que se necesitará un grupo electrógeno de apoyo, todos los equipos instalados en la vivienda requerirán energía eléctrica con el fin de funcionar para satisfacer una necesidad específica de los ocupantes, sin embargo estas necesidades pueden ser puntuales o periódicas, por lo cual energizar a los equipos que no requieran un uso cotidiano mediante la instalación fotovoltaica deriva en un sobredimensionado de la misma, la mejor opción para este tipo de equipos es energizarlos con un grupo electrógeno de apoyo adicional que cubra las demandas de potencia de estos equipos debido a su baja frecuencia de uso o uso estacional. Los equipos presentes en la zona de taller, piscina, y climatización serán incluidos dentro del suministro que aporta este grupo electrógeno que adicionalmente proveerá energía al sistema completo en caso de fallos en el sistema de generación fotovoltaica, de este modo se aprovechan los grupos de apoyo electrógeno cuando la instalación fotovoltaica funciona correctamente.



### 2.6.1 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA DE CÁLCULO O CARGA TÉRMICA

Para satisfacer demanda de calor y refrigeración será utilizada una bomba de calor, siendo la determinación de la potencia térmica a instalarse en la vivienda definido por varios factores, como las pérdidas presentes en el sistema y las aportaciones de calor proveniente de los ocupantes y equipos instalados; al no disponer de datos específicos, una buena aproximación de la potencia térmica a instalar viene dado por la siguiente expresión (Villarubia, 2015):

$$P_i = GV(t_{int} - t_{ext}) \quad (11)$$

Siendo la potencia térmica una función del volumen habitable (V), la diferencia de temperatura exterior (mínima de -6°C en invierno y máxima 38°C en verano, según los datos provistos por el Servicio Meteorológico de Cataluña) e interior (De 21-23°C en invierno y de 23-25°C en verano<sup>1</sup>) y un coeficiente volumétrico de pérdidas, dicho coeficiente incluye renovación e infiltración, dicho coeficiente depende del grado de aislamiento de la vivienda. Esta potencia puede ser estimada tanto para invierno como para verano, considerando la mayor de las dos potencias.

Finalmente la relación entre la potencia de cálculo y la potencia eléctrica del equipo vendrá dado por el COP (coeficiente de desempeño) o el EER (eficiencia de refrigeración) dependiendo de cuál de las dos potencias haya sido seleccionada.

---

<sup>1</sup> según RITE (Tabla 1.4.1.1)

### 3. RESULTADOS

Los cálculos de dimensionado de las distintas etapas han sido realizados considerando los grupos de equipos que serán energizados, demanda cotidiana (cocina, salón, despacho, lavadero, habitaciones y baños) y demanda puntual o periódica (taller, piscina y climatización)

#### 3.1 INSTALACION FOTOVOLTAICA DE LA VIVIENDA

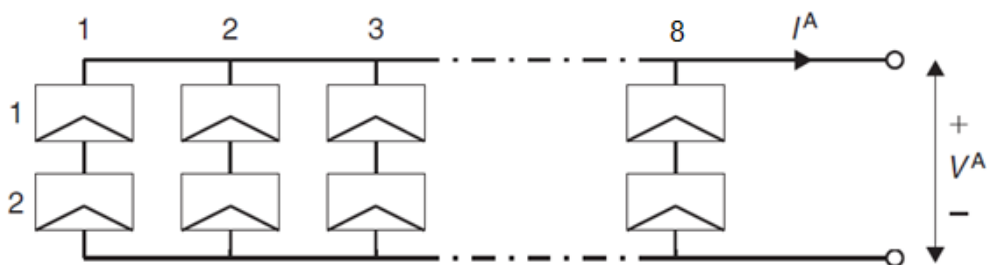
##### (Demanda Cotidiana)

De acuerdo al desarrollo en el Anexo 3, quedaría definida de la siguiente manera la instalación:

<b>Demanda</b>	13 kWh/día
<b>Potencia a Instalar</b>	4,8 kW
<b>Potencia de Módulo</b>	300 W
<b>Módulos en Conexión en Serie</b>	2
<b>Módulos Conexión en Paralelo</b>	8
<b>Total Módulos</b>	16

*Tabla 6. Requerimientos en módulos fotovoltaicos.*

Depende del lugar de instalación de los módulos tener presente la cantidad de irradiación dado que las HSP, definirán el tamaño de la planta fotovoltaica, en la tabla 6 se muestra que serían necesarios 16 paneles solares, 2 en serie con la finalidad de cumplir con el voltaje mínimo que requiere el sistema que son 48V (definido por las baterías), en este caso se hace uso del voltaje MPP (máximo punto de potencia), esta propiedad la regula el controlador de carga, la finalidad es aprovechar al máximo la potencia que puede otorgar cada módulo y utilizar la cantidad óptima necesaria de los mismos; 8 ramales en paralelo para conseguir la intensidad por unidad de tiempo que necesitan los equipos.



*Fig. 8. Estructura de conexión de los módulos fotovoltaicos*

La planta solar fotovoltaica queda definida de este modo (figura 7), será la configuración base para alimentar la demanda diaria cotidiana. Siendo el panel utilizado un AXITEC-72CEL de 300 vatios, especificaciones en el Anexo 5.

### 3.2 BANCO DE BATERÍAS

Las baterías definen al sistema aislado por la autonomía en días que tiene, con la demanda diaria de 13kWh las baterías trabajarán a 48V, tal como se definió en la metodología de cálculo de las baterías (Anexo 4), fueron consideradas pérdidas y la descarga máxima que podrán tener (para prolongar la vida útil de las baterías), la carga que utilizó fue para la demanda de carga estacional, por ser mayor que la diaria, la batería utilizada tiene una capacidad de 468Ah, esta capacidad está definida para C20, la capacidad que ofrecería para una descarga en un tiempo de 20 horas, a pesar que las baterías presentan varias capacidades, la C20 es comúnmente utilizada para cuestiones de diseño, dado que los periodos de utilización de la energía son diarios (24 horas).

<b>Días de Autonomía</b>	10 días
<b>Descarga Máxima Estacional</b>	80%
<b>Capacidad de Almacenamiento estacional requerida</b>	4278 Ah
<b>Capacidad de Batería</b>	468Ah (C20)
	605Ah (C100)
<b>Baterías Conexión en Serie</b>	1
<b>Baterías Conexión en Paralelo</b>	10
<b>Total Baterías</b>	10

*Tabla 7. Requerimientos para el sistema de baterías.*

Como resultado se necesitarían 10 baterías de iguales características. Se ha considerado una batería ROLLS de 48V, 605Ah (C100).

### 3.3 INVERSOR

Dado que no existen perfiles de demanda óptimos que permitan conocer de primera mano los picos de potencia existentes en el sistema a diversas horas del día, se ha considerado válido calcular la potencia necesaria de inversor mediante la simultaneidad de uso de los equipos de la vivienda.

<b>Potencia instalada (consumos cotidianos)</b>	17,25 kW
<b>Factor de Simultaneidad (Según Circuito de Aplicación)</b>	Iluminación: 0.75
	Cocina y horno: 0.50
	Cuarto de Lavado: 0.66
	Baño, cuarto de cocina: 0.40
	Tomas de Uso General: 0.20
<b>Potencia de Inversor (en TOTAL)</b>	9 kW

*Tabla 8. Dimensión del Inversor o grupo de Inversores.*

La potencia del inversor fue calculada con la potencias de los equipos expuestas en el Anexo 1, sectorizadas según la tabla 8, así, se ha conseguido un valor práctico de potencia de inversor, y no un valor teórico como lo sería considerando que todos los equipos funcionan simultáneamente, lo cual en la práctica no suele suceder.

### 3.4 REGULADOR DE CARGA

El regulador de carga se convierte en un elemento crítico del sistema fotovoltaico ya que es el que permite el máximo aprovechamiento de la irradiación por parte de los paneles y así trabajar con la potencia pico que especifica el fabricante, el regulador viene definido por los siguientes parámetros (anexo 4):

<b>Regulador de Carga con tecnología MPPT</b>	
Intensidad de entrada	87,1 A
Intensidad de salida	197,37 A

*Tabla 9. Parámetros del Regulador de Carga*

### 3.5 GRUPO ELECTRÓGENO

El grupo electrógeno de apoyo debe dimensionarse para las cargas no cotidianas expuestas en el Anexo 1. Considerándose las siguientes potencias correspondientes:

<b>Equipo</b>	<b>Potencia</b>
Equipo de Soldadura (Taller)	3,0 kW
Taladro de Columna (Taller)	0,4 kW
Ingletadora (Taller)	1,2 kW
Sierra Circular (Taller)	1,2 kW
Amoladora (Taller)	0,7 kW
Bomba de Circulación (Piscina)	0,21 kW
Bomba de Calor	4,25 kW
<b>TOTAL</b>	<b>11 kW</b>

*Tabla 10. Potencia de Equipos de uso puntual.*

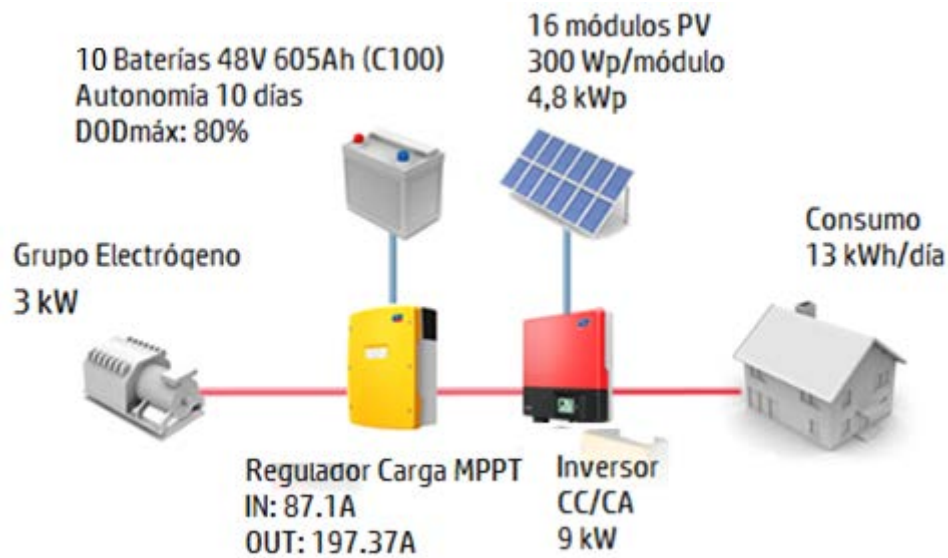
La potencia total que debe cubrir un grupo electrógeno según el detalle de la tabla 9 es considerable, sin embargo este grupo de equipos probablemente no se pondrá en marcha de manera simultánea, lo cual hace óptimo dimensionar el grupo electrógeno total en 2 etapas, una que cubra la potencia de la bomba de calor y bomba de circulación, y otra etapa que cubra la potencia de los equipos restantes (zona de taller), los cuales no funcionarán simultáneamente, y que pueda ser usado como generador de apoyo en caso de que la instalación fotovoltaica presente fallos o requiera mantenimiento, de esta manera, se garantiza que el índice de carga que mantiene cada grupo electrógeno sea el más alto posible. Por lo tanto dos grupos electrógenos serán escogidos:

<b>Elemento</b>	<b>Potencia</b>	<b>Abarca:</b>
Grupo Electrónico 1	4,5 kW	- Bomba de Calor - Bomba de Agua
Grupo Electrónico 2	3 kW	- Equipos de Taller - BackUp del Sistema General

*Tabla 11. Grupos Electrónicos a considerar.*

### 3.6 REPRESENTACION DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos anteriormente el sistema autónomo queda representado del siguiente modo:



*Fig. 9. Representación final del sistema fotovoltaico aislado.*

#### 4. RESUMEN DE ESPECIFICACIONES BÁSICAS DE PROYECTO

Los datos concluyentes del proyecto quedan enlistados en la tabla 11, se muestra un sumario de las características que se han logrado concluir en la propuesta:

<b>Datos de la Instalación Objetivo</b>
<b>Tipo/Uso:</b> Vivienda Unifamiliar
<b>Localización:</b> Matadepera (Cataluña, España)
<b>Superficie:</b> 260 m <sup>2</sup> (habitables 240 m <sup>2</sup> )
<b>Consumo Diario:</b> 13 kWh/día
<b>Consumo Anual proyectado:</b> 4800 kWh/año
<b>Datos del Proyecto:</b>
<b>Objetivo Inicial:</b> Aprovechamiento del recurso eólico para generar energía eléctrica a suministrar a la vivienda.
<b>Propuesta Realizada:</b> Desestimar uso de energía eólica y considerar irradiación solar para generación de electricidad.
<b>Trabajos Realizados:</b> Análisis de la irradiación incidente en la locación del proyecto, dimensionado de la instalación solar fotovoltaica, acumuladores, equipos auxiliares.
<b>Datos de Sistema de Generación Eléctrica Solar Fotovoltaico</b>
<b>Potencia FV necesaria calculada:</b> 4,8 kWp
<b>Orientación de paneles FV:</b> Sur
<b>Inclinación considerada:</b> 64° (inclinación óptima para el peor mes)
<b>Área total de paneles:</b> 31,05 m <sup>2</sup>
<b>Potencia CA de inversor:</b> 9 kW
<b>Capacidad total disponible en baterías:</b> 4278 Ah
<b>Vida útil estimada de instalación:</b> 20 – 25 años
<b>Componentes de la Instalación FV</b>
<b>Planta FV:</b> 16 paneles FV de 300Wp
<b>Sistema Acumulador:</b> 10 baterías cada una con capacidad de 468Ah C20
<b>Sistema Regulador de Carga:</b> Tecnología MPPT, Intensidad de entrada 87.1A, Intensidad de Salida 197.37A.
<b>Sistema Inversor:</b> Inversor de 9 kW
<b>Sistema Electrónico de Apoyo:</b> 2 grupos electrógenos: a) 4,5kW: cobertura de demanda de sistema bomba de calor, bomba de circulación; b) 3kW: cobertura de equipos de taller y sistema de apoyo a sistema fotovoltaico.

*Tabla 12. Especificaciones básicas del Proyecto.*

## 5. ANALISIS DAFO

- Necesita una capacidad de almacenamiento muy grande debido a sus días de autonomía
- No se dispone de perfil de demanda, por tanto el diseño no es optimizado para los consumos
- Existen electrodomésticos que presentan una potencia muy grande, quizás no eficientes energéticamente
- Disponibilidad del recurso solar con buen nivel de irradiación
- Dimensionado de instalación fotovoltaica de modo conservador, cubre demanda estacional
- Independencia de red
- No afecta cambios en tarifas de electricidad



## 6. CONCLUSIONES

- Inicialmente el recurso del cual se pretendía generar electricidad era el eólico, sin embargo se ha demostrado con los datos que se disponía que no era el recurso con el mejor potencial, por lo cual se utilizará la irradiación solar para esta finalidad.
- La instalación tendrá una potencia de módulos fotovoltaicos aproximado de  $5kW_p$  y una capacidad total de baterías de 4500Ah (C20), con lo cual se busca a más de cubrir la demanda total de carga de la vivienda, proveerla con una autonomía de 10 días.
- Los grupos electrógenos en total cubrirá a los equipos de uso puntual, se utilizarán dos grupos con el fin de aumentar el índice de carga de cada grupo electrógeno y uno de ellos actuará como apoyo al sistema fotovoltaico en caso de fallos o mantenimiento.

- Para el dimensionamiento de la instalación, se consideró la inclinación óptima para el mes con peor irradiación, de tal forma que se asegure el suministro de energía eléctrica de los paneles a las baterías y a la carga total.
- Es importante acotar que las pérdidas (fabricación, suciedad, temperatura) en el sistema son factores a tener muy en consideración al momento de definir el tamaño final de la instalación, caso contrario no se llegaría a cubrir la demanda de manera eficiente.
- La capacidad de autonomía de la instalación viene dado por la latitud de la ubicación del proyecto, en este caso se podría asumir una autonomía de 10 a 12 días, recomendable para esta latitud.
- Expresar la carga mediante sus pico total de energía requerida es un criterio muy conservador, aunque a la falta de un perfil de demanda, se puede considerar un criterio válido el cálculo de la potencia pico mediante factores de simultaneidad, aunque hay que resaltar que es sumamente deseable disponer de perfiles de carga específicos para cada aplicación de modo que se obtenga un diseño lo más optimizado posible, evitar el sobredimensionado y escoger equipos de generación, control y maniobra ideales para los requerimientos del sistema.

## 7. RECOMENDACIONES

- Es prioritario para un sistema aislado disponer de curvas de demanda (perfiles) para optimizar el diseño del sistema.
- La aproximación dada para el cálculo de la potencia térmica necesaria es aceptable para una propuesta indicativa, aunque el diseño del sistema de climatización puede ser más exhaustivo, pero para aquello es necesario conocer las características de construcción de la vivienda y de trabajar con las cargas térmicas.
- En el anexo 1 se enlista electrodomésticos y equipos que se instalarán en la nueva vivienda, los cuales la mayoría proviene de una vivienda ya existente, es necesario analizar el grado de eficiencia energética que tiene cada equipo y sustituir aquellos que no presenten un grado de eficiencia aceptable.
- Para ampliar el alcance que tiene el proyecto se puede considerar establecer un estudio de costos de adquisición de equipos, ahorro energético y mantenimiento con la finalidad de complementar más al análisis ya establecido en este trabajo.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agustin McEvoy, T. M. (2012). *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications* (Segunda ed.). Elsevier.
- [2] Kalogirou, S. A. (2014). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*. Elsevier.
- [3] Sandia National Laboratories. (1995). *Stand-Alone Photovoltaic Systems: A Handbook of Recommended Design Practices*. U.S. Department of Commerce.
- [4] Silvestre, S. (2012). Review of System Design and Sizing Tools. En A. McEvoy, T. Markvart, & L. Castañer, *Practical Handbook of Photovoltaics* (págs. 673-692). Elsevier.
- [5] Villarrubia, M. (2015-2016). Caracterización Energética del Viento: Potencial Eólico. En *Energía Eólica*. Universidad de Barcelona.
- [6] Villarubia, M. (2015-2016). *Ingeniería de la energía geotérmica*. Universidad de Barcelona.
- [7] M. Ishaq, U. I. (2013). Design of an Off-Grid Photovoltaic System: A case of study of government technical college, Wudil, Kano State. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, 175-181.

## ABSTRACT

The present study is about the sizing of a solar photovoltaic installation for providing electrical energy to a single-family household, which will be built in Matadepera, Spain; as an initial key fact of the project a way to generate electrical energy through eolic energy, however this resource was underestimated due to low power potential from the eolic resource, subsequently electrical energy will be generated from solar incident irradiation which proved it can be a viable resource and available to be taken advantage of by the autonomous installation.

Proposal of photovoltaic power plant to be installed and the capacity of batteries is presented, as an important factor it is mentioned the current inverter was determined in an indicative way because of the lack of the specific household load profile, being necessary to consider only the appliances that require a daily usage, the rest of the appliances will need to be supplied by a support genset.

This kind of research helps to know which one is the available resource to produce electricity in a renewable and autonomous fashion with the aim to create environmental and sustainable responsibility, furthermore, practice permanently energy efficiency during all design process, production and use of the grid-off autonomous installations.

## ANEXOS

### Índice de Anexos

Anexo 1. Tabla de Consumos de Vivienda .....	A1
Anexo 2. Datos de Irradiación para un día tipo de Diciembre .....	A2
Anexo 3. Cálculos de módulos fotovoltaicos .....	A3
Anexo 4. Cálculos de capacidad de baterías .....	A4
Anexo 5. Datos de módulo seleccionado .....	A5
Anexo 6. Datos de batería seleccionada .....	A6
Anexo 7. Estimación eólica del emplazamiento .....	A7
Anexo 8. Datos de aerogeneradores considerados.....	A9
Anexo 9. Calculo de Potencia Térmica y Eléctrica de Bomba de Calor...	A10

## ANEXO 1. Consumos Vivienda

Estimación de los consumos de la vivienda, basado en la frecuencia de consumo y potencia de cada equipo a instalar.

Zona	Equipo	Cant.	Uso	Potencia (kW)	Horas/ día Aprox.	Días/ Semana	Consumo Diaria kWh/día	Consumo/ zona*día kWh/día
<b>CONSUMOS COTIDIANOS</b>								
<b>Iluminación</b>	Lámpara LED	35	Frecuente	0,015	4	7	2,10	2,10
<b>Cocina</b>	Batidora	1	Frecuente	0,70	0,15	6	0,09	3,29
	Cafetera	1	Frecuente	1,85	0,5	7	0,93	
	lavavajillas	1	Frecuente	2,40	0,4	7	0,96	
	Nevera	1	Frecuente	0,15	7	7	1,05	
	Campana extractora	1	Frecuente	0,35	0,3	6	0,09	
	Microondas	1	Frecuente	1,00	0,05	7	0,05	
<b>Salón</b>	Televisor Oled 55"	1	Frecuente	0,10	6	7	0,58	0,86
	Equipo Música	1	Puntual	0,50	2	2	0,29	
<b>Despacho</b>	Ordenador	1	Frecuente	0,20	3	7	0,60	2,39
	Servidor	1	Frecuente	0,03	24	7	0,72	
	Equipo Música	1	Frecuente	0,50	3	5	1,07	
<b>Lavadero</b>	Secadora	1	Frecuente	2,30	0,3	5	0,49	3,06
	Lavadora	1	Frecuente	2,80	1	5	2,00	
	Plancha	1	Frecuente	2,00	0,5	4	0,57	
<b>Habitaciones</b>	Cargador Móvil	5	Frecuente	0,01	2	7	0,05	0,65
	Cargador PC Portátil	1	Frecuente	0,12	5	7	0,60	
<b>Baños</b>	Secador de pelo	1	Frecuente	1,20	0,05	5	0,04	0,40
	Calefactor	1	Frecuente	1,00	0,5	5	0,36	
<b>Total</b>				<b>17,25 kW</b>				<b>12,76 kWh/día</b>
<b>CONSUMOS PUNTUALES</b>								
<b>Taller</b>	Equipo de soldadura Inverter	1	Puntual	3,00				
	Taladro de Columna	1	Puntual	0,40				
	Inglletadora	1	Puntual	1,20				
	Sierra Circular	1	Puntual	1,20				
	Amoladora	1	Puntual	0,70				
<b>Piscina</b>	Bomba de Circulación	1	Periódica	0,21				
<b>Climatización</b>	Bomba de Calor	1	Periódica	ANEXO 9				

## Anexo 2. Datos de Irradiación para un día tipo de Diciembre

Results for:		December								
Inclination of plane:		64	deg.							
Orientation (azimuth) of plane:		0	deg.	Calculos correspondientes al módulo considerado						
Time	G [W/m2]	Td	H [Wh/m2]	Yr	ftemp	fmanuf	fsuc	Ym [horas]	Energia mod [Wh]	Prod Total[kWh/dia]
5:22	0	1,1	0,000	0,000	0,985	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
5:37	0	1,1	0,000	0,000	0,985	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
5:52	0	1,2	0,000	0,000	0,985	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
6:07	0	1,3	0,000	0,000	0,984	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
6:22	0	1,4	0,000	0,000	0,984	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
6:37	0	1,5	0,000	0,000	0,983	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
6:52	0	1,7	0,000	0,000	0,983	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
7:07	0	1,9	0,000	0,000	0,982	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
7:22	0	2,1	0,000	0,000	0,981	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
7:37	0	2,4	0,000	0,000	0,980	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
7:52	86	2,6	10,750	0,011	0,979	0,97	0,950	0,010	2,913	0,043
8:07	143	2,9	28,625	0,029	0,977	0,97	0,950	0,026	7,746	0,115
8:22	207	3,3	43,750	0,044	0,976	0,97	0,950	0,039	11,818	0,176
8:37	255	3,6	57,750	0,058	0,974	0,97	0,950	0,052	15,578	0,232
8:52	300	4	69,375	0,069	0,973	0,97	0,950	0,062	18,681	0,278
9:07	341	4,3	80,125	0,080	0,971	0,97	0,950	0,072	21,547	0,321
9:22	378	4,7	89,875	0,090	0,970	0,97	0,950	0,080	24,125	0,359
9:37	413	5,1	98,875	0,099	0,968	0,97	0,950	0,088	26,493	0,394
9:52	444	5,5	107,125	0,107	0,966	0,97	0,950	0,095	28,652	0,426
10:07	472	5,9	114,500	0,115	0,964	0,97	0,950	0,102	30,569	0,455
10:22	496	6,3	121,000	0,121	0,963	0,97	0,950	0,107	32,246	0,480
10:37	518	6,7	126,750	0,127	0,961	0,97	0,950	0,112	33,718	0,502
10:52	537	7,1	131,875	0,132	0,959	0,97	0,950	0,117	35,017	0,521
11:07	552	7,5	136,125	0,136	0,957	0,97	0,950	0,120	36,080	0,537
11:22	565	7,9	139,625	0,140	0,956	0,97	0,950	0,123	36,941	0,550
11:37	574	8,2	142,375	0,142	0,954	0,97	0,950	0,125	37,617	0,560
11:52	580	8,5	144,250	0,144	0,953	0,97	0,950	0,127	38,060	0,566
12:07	583	8,8	145,375	0,145	0,952	0,97	0,950	0,127	38,304	0,570
12:22	583	9	145,750	0,146	0,951	0,97	0,950	0,128	38,368	0,571
12:37	580	9,2	145,375	0,145	0,950	0,97	0,950	0,127	38,234	0,569
12:52	574	9,3	144,250	0,144	0,949	0,97	0,950	0,126	37,921	0,564
13:07	565	9,5	142,375	0,142	0,949	0,97	0,950	0,124	37,393	0,556
13:22	552	9,5	139,625	0,140	0,949	0,97	0,950	0,122	36,671	0,546
13:37	537	9,6	136,125	0,136	0,948	0,97	0,950	0,119	35,735	0,532
13:52	518	9,6	131,875	0,132	0,948	0,97	0,950	0,115	34,620	0,515
14:07	496	9,5	126,750	0,127	0,949	0,97	0,950	0,111	33,290	0,495
14:22	472	9,4	121,000	0,121	0,949	0,97	0,950	0,106	31,794	0,473
14:37	444	9,2	114,500	0,115	0,950	0,97	0,950	0,100	30,114	0,448
14:52	413	9	107,125	0,107	0,951	0,97	0,950	0,094	28,200	0,420
15:07	54	8,8	58,375	0,058	0,952	0,97	0,950	0,051	15,381	0,229
15:22	50	8,5	13,000	0,013	0,953	0,97	0,950	0,011	3,430	0,051
15:37	44	8,1	11,750	0,012	0,955	0,97	0,950	0,010	3,106	0,046
15:52	38	7,8	10,250	0,010	0,956	0,97	0,950	0,009	2,713	0,040
16:07	32	7,4	8,750	0,009	0,958	0,97	0,950	0,008	2,320	0,035
16:22	25	6,9	7,125	0,007	0,960	0,97	0,950	0,006	1,894	0,028
16:37	17	6,5	5,250	0,005	0,962	0,97	0,950	0,005	1,398	0,021
16:52	0	6,1	2,125	0,002	0,963	0,97	0,950	0,002	0,567	0,008
17:07	0	5,7	0,000	0,000	0,965	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
17:22	0	5,3	0,000	0,000	0,967	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
17:37	0	4,9	0,000	0,000	0,969	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
17:52	0	4,5	0,000	0,000	0,970	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
18:07	0	4,2	0,000	0,000	0,972	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
18:22	0	3,9	0,000	0,000	0,973	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
18:37	0	3,7	0,000	0,000	0,974	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
18:52	0	3,5	0,000	0,000	0,975	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
19:07	0	3,3	0,000	0,000	0,976	0,97	0,950	0,000	0,000	0,000
<b>TOTAL</b>			<b>3360</b> wh/m2*día	<b>3,4</b> horas	<b>0,965</b>	<b>0,97</b>	<b>0,95</b>	<b>3,0</b> horas	<b>889,3</b> Wh/día	<b>13,2</b> kWh/día

### ANEXO 3. CÁLCULO DEL DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

*Demanda\_Diaria*  $E_L := 13 \text{ kW} \cdot \text{hr}$

*Irradiación*  $H := 3.36 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2}$       *Irradiancia*  $G_0 := 1.000 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$

*HSP(YIELD)*       $HSP := \frac{H}{G_0} = 3.36 \text{ hr}$

*Factores\_Perdidas*      *Rendimiento\_Conductores*       $n_{cond} := 0.98$   
*Rendimiento\_Inversor*       $n_{inv} := 0.95$   
 $n_{bo} := n_{cond} \cdot n_{inv} = 0.931$

*Modulos\_PV*      *Rendimiento\_Manufactura*       $f_{man} := 0.97$   
*Rendimiento\_Temperatura*       $f_{temp} := 0.952$       (*Anexo\_2*)  
*Rendimiento\_Suciedad*       $f_{dirt} := 0.95$

*PERFORMANCE\_RATIO*       $PR := f_{man} \cdot f_{temp} \cdot f_{dirt} = 0.877$

$$P_{PV.ARRAY} := \frac{E_L}{n_{bo} \cdot PR \cdot HSP}$$

*Potencia de la Instalación Fotovoltaica*       $P_{PV.ARRAY} = 4.7 \text{ kW}$

*AXITEC – 72 CEL*       $P_{MOD} := 300 \text{ W}$        $V_{MPP} := 36.73 \text{ V}$        $I_{MPP} := 8.18 \text{ A}$   
 $n_{mod} := 0.1546$        $I_{SC} := 8.71 \text{ A}$       \*Seguimiento MPPT

$$n_{ARRAY} := n_{bo} \cdot PR \cdot n_{mod} = 0.126$$

$V_{SIST} := 48 \text{ V}$       Debido a la Potencia instalada en vivienda >5kW (Sandia National Laboratories, 1995)

*Módulos Conexión en SERIE:*       $N_{MS} := \text{ceil} \left( \frac{V_{SIST}}{V_{MPP}} \right) = 2$

$N_{MS} = 2$  módulos PV en SERIE

*Módulos Conexión en PARALELO:*       $N_{MP} := \text{ceil} \left( \frac{P_{PV.ARRAY}}{N_{MS} \cdot P_{MOD}} \right) = 8$

$N_{MP} = 8$  módulos PV en PARALELO

$$N_{TOTAL.MOD} := N_{MS} \cdot N_{MP}$$

*Número Total Módulos:*  $N_{TOTAL.MOD} = 16$  módulos PV

## ANEXO 4. CÁLCULO DEL DIMENSIONADO DE BATERÍAS Y REGULADOR

### BATERIAS

<i>Días_Autonomía</i>	$N_D := 10 \text{ días}$
<i>Rendimiento_Batería</i>	$n_{bat} := 0.85$
<i>Descarga_máxima_estacional</i>	$DOD_{MAX.EST} := 0.80$
<i>Descarga_máxima_diaria</i>	$DOD_{MAX.DIA} := 0.10$

Capacidad de Almacenamiento Estacional

$$C_{S.E} := \frac{N_D \cdot E_L}{DOD_{MAX.EST} \cdot V_{SIST} \cdot n_{bo} \cdot n_{bat}}$$

$$C_{S.E} = 4278 \text{ A} \cdot \text{hr}$$

Capacidad de Almacenamiento Diaria

$$C_{S.D} := \frac{E_L}{DOD_{MAX.DIA} \cdot V_{SIST} \cdot n_{bo} \cdot n_{bat}}$$

$$C_{S.D} = 3422 \text{ A} \cdot \text{hr}$$

Para el dimensionado se utiliza el factor más crítico, la capacidad de almacenamiento estacional

**BATERIA A CONSIDERAR: ROLLS 48V 605Ah/C100 468Ah/C20 (Anexo 6)**

$$C_{BAT} := 468 \text{ A} \cdot \text{hr} \quad V_{BAT} := 48 \text{ V}$$

Baterías Conexión en Paralelo:

$$N_{BP} := \text{ceil} \left( \frac{C_{S.E}}{C_{BAT}} \right) = 10 \quad \text{Batería(s) en Paralelo}$$

Baterías Conexión en Serie:

$$N_{BS} := \text{ceil} \left( \frac{V_{SIST}}{V_{BAT}} \right) = 1 \quad \text{Batería(s) en Serie}$$

Número Total de Baterías:

$$N_{B.TOTAL} := N_{BP} \cdot N_{BS}$$

$$N_{B.TOTAL} = 10 \text{ Baterías}$$

### REGULADOR DE CARGA

Intensidad de Entrada al Regulador:

$$I_{RE} := 1.25 \cdot I_{SC} \cdot N_{MP} = 87.1 \text{ A}$$

Potencia a considerar:

$$P_{SIMULTANEA} := 9 \text{ kW}$$

Intensidad de Salida al Regulador:

$$I_{RS} := \frac{P_{SIMULTANEA}}{V_{BAT} \cdot n_{inv}} = 197.37 \text{ A}$$

## ANEXO 5. DATOS DE MODULO SELECCIONADO



# AXIpower

**AC-300P/156-72S**  
**AC-305P/156-72S**  
**AC-310P/156-72S**

Distribuido por:



IEC 61215  
 IEC 61730  
 Snow Load Resistance  
 ID 0000040256



**Datos eléctricos** (en condiciones estándar de prueba (STC), irradiación de 1000 vatios/m<sup>2</sup> en el espectro AM 1.5 a una temperatura de célula de 25°C)

Tipo	Potencia nominal Pmpp	Tensión nominal Umpp	Corriente nominal Impp	Corriente de cortocircuito Isc	Tensión de circuito abierto Uoc	Coefficiente de rendimiento del módulo
AC-300P/156-72S	300 Wp	36,73 V	8,18 A	8,71 A	45,48 V	15,46 %
AC-305P/156-72S	305 Wp	36,85 V	8,28 A	8,81 A	45,50 V	15,72 %
AC-310P/156-72S	310 Wp	37,02 V	8,39 A	8,89 A	45,52 V	15,98 %

### Estructura

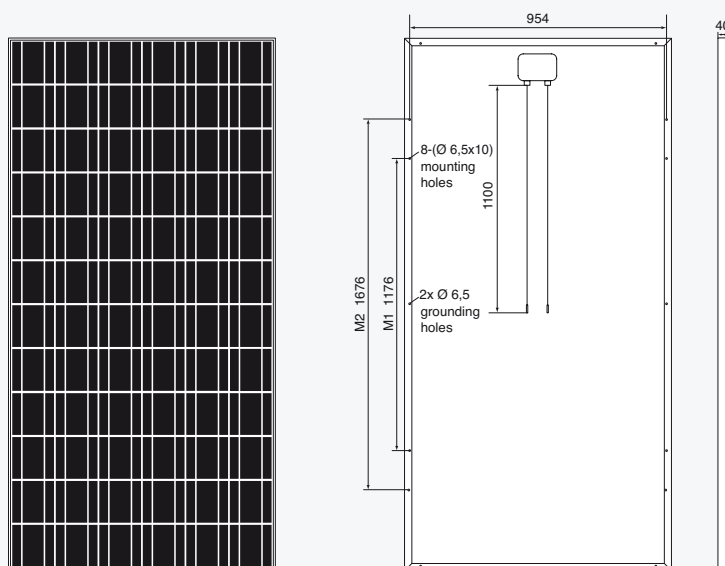
Lado frontal	crystal blanco templado de 3,2 mm de baja reflexión
Células	72 células policristalinas de alto rendimiento 156 mm x 156 mm (6")
Lado posterior	hoja compuesta
Marco	marco de aluminio anodizado a la plata de 40 mm

### Datos mecánicos

L x A x A	1956 x 992 x 40 mm
Peso	23 kg con marco

### Conexión

Caja de conexión	grado de protección IP65 (3 diodos de bypass)
Cable	aprox. 1,1 m, 4 mm <sup>2</sup>
Sistema de enchufe	enchufe / hembra IP67



Todas las medidas en mm

### Valores límites

Tensión del sistema	1000 VDC
NOCT (temperatura de la célula de operación nominal)*	45°C +/-2K
Carga máxima admisible	2400 Pa/m <sup>2</sup>
Corriente de reversión IR	16,0 A

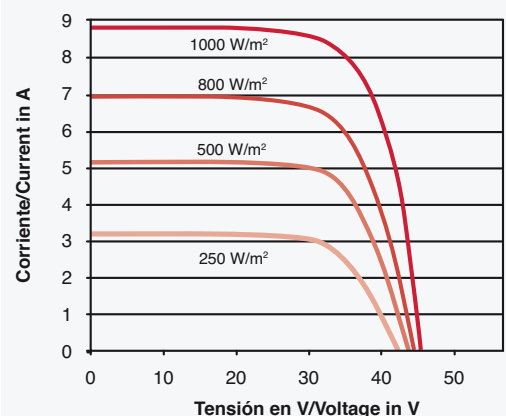
(No se deben conectar al módulo tensiones externas superiores al valor máximo de tensión)

\*NOCT, intensidad de irradiación 800 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5 velocidad del viento 1 m/sec, temperatura 20°C

### Coefficiente de temperatura

Tensión Uoc	-0,33 %/K
Corriente Isc	0,06 %/K
Potencia Pmpp	-0,44 %/K

Curva característica I/U a 1000-800-500-250 W/m<sup>2</sup>



Ejemplo para AC-300P/156-72S



# ANEXO 6. DATOS DE BATERIA SELECCIONADA

## BATERIA ROLLS **S-605**



CONTAINER:	High Density Polypropylene
COVER:	High Density Polypropylene
TERMINALS:	Flag M
HANDLES:	Rope

<b>6 VOLTS</b>		
WEIGHT DRY:	45 kg	99 Lbs.
WEIGHT WET:	57 kg	125 Lbs.
LENGTH:	318 mm	12 1/2 Inches
WIDTH:	181 mm	7 1/8 Inches
HEIGHT:	425 mm	16 3/4 Inches

CELLS:	18 Plates/Cell	3 Cell
SEPARATOR THICKNESS:	2 mm	0.061 Inches
GLASS MAT INSULATION:	1 mm	0.02 Inches
ELECTROLYTE RESERVE: ABOVE PLATES	57 mm	2.25 Inches

PLATE HEIGHT:	293 mm	11.550 Inches
PLATE WIDTH:	143 mm	5.625 Inches
THICKNESS (POSITIVE):	4.32 mm	0.170 Inches
THICKNESS (NEGATIVE):	3.05 mm	0.120 Inches

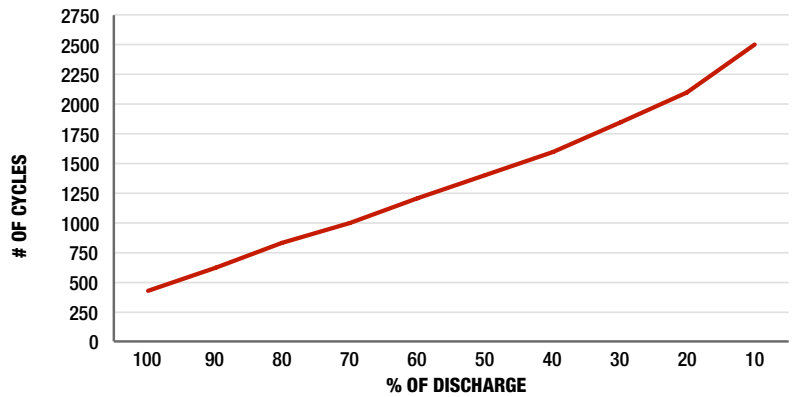
COLD CRANK AMPS (CCA):	0°F / -17.8°C	1475
MARINE CRANK AMPS (MCA):	32°F / 0°C	1845
RESERVE CAPACITY (RC @ 25A):		979 Minutes

### CAPACITY **468 AH**

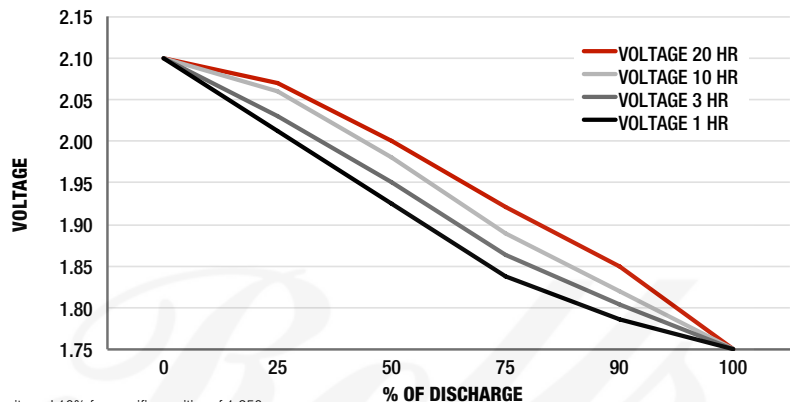
HOURLY RATE:	SPECIFIC GRAVITY	CAPACITY / AMP HOUR	CURRENT / AMPS
@ 100 HOUR RATE	1.280	605	6.05
@ 72 HOUR RATE	1.280	573	7.96
@ 50 HOUR RATE	1.280	547	10.93
@ 24 HOUR RATE	1.280	482	20.09
<b>@ 20 HOUR RATE</b>	<b>1.280</b>	<b>468</b>	<b>23.40</b>
@ 15 HOUR RATE	1.280	439	29.27
@ 12 HOUR RATE	1.280	417	34.71
@ 10 HOUR RATE	1.280	398	39.78
@ 8 HOUR RATE	1.280	374	46.80
@ 6 HOUR RATE	1.280	346	57.72
@ 5 HOUR RATE	1.280	328	65.52
@ 4 HOUR RATE	1.280	304	76.05
@ 3 HOUR RATE	1.280	276	92.04
@ 2 HOUR RATE	1.280	239	119.34
@ 1 HOUR RATE	1.280	168	168.48



### CYCLE LIFE VS. DEPTH OF DISCHARGE



### VOLTAGE VS. DEPTH OF DISCHARGE



Amphère Hour capacity ratings based on specific gravities of 1.280. Reduce capacities 5% for 1.265 specific gravity and 10% for specific gravities of 1.250

## Anexo 7. Estimación eólica del emplazamiento

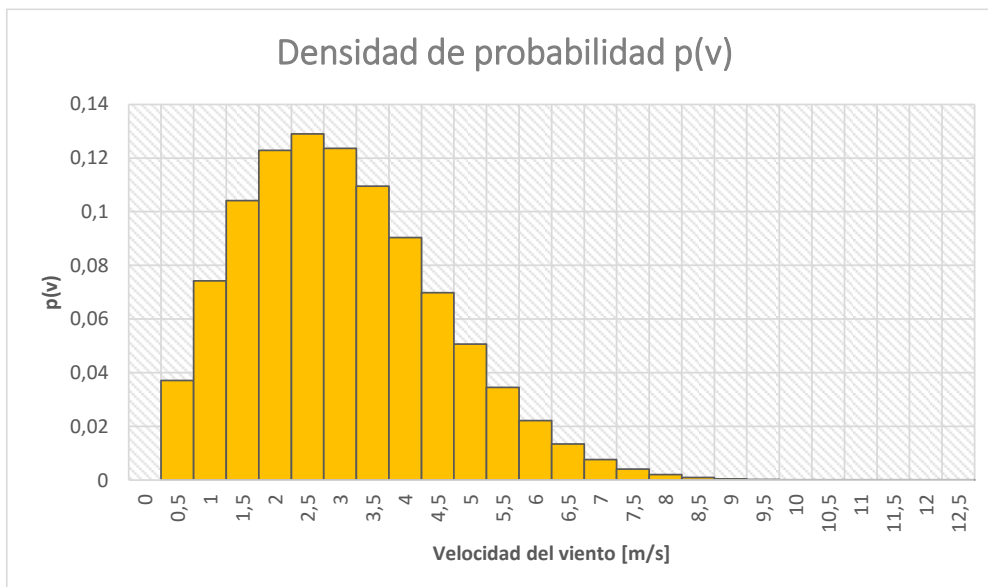
PARAMETROS DE UBICACIÓN Y DE WEIBULL SEGÚN ATLAS EÓLICO				
Ubicación	Els Rourets - Matadepera			
Localización	41°37'30"N; 1°59'28"E	Altitud AMSL	648	m
Factor de forma k	2,256	Altura medición	30	m
Factor de escala C [m/s]	4,28	rugosidad	0,1	m Clase 2

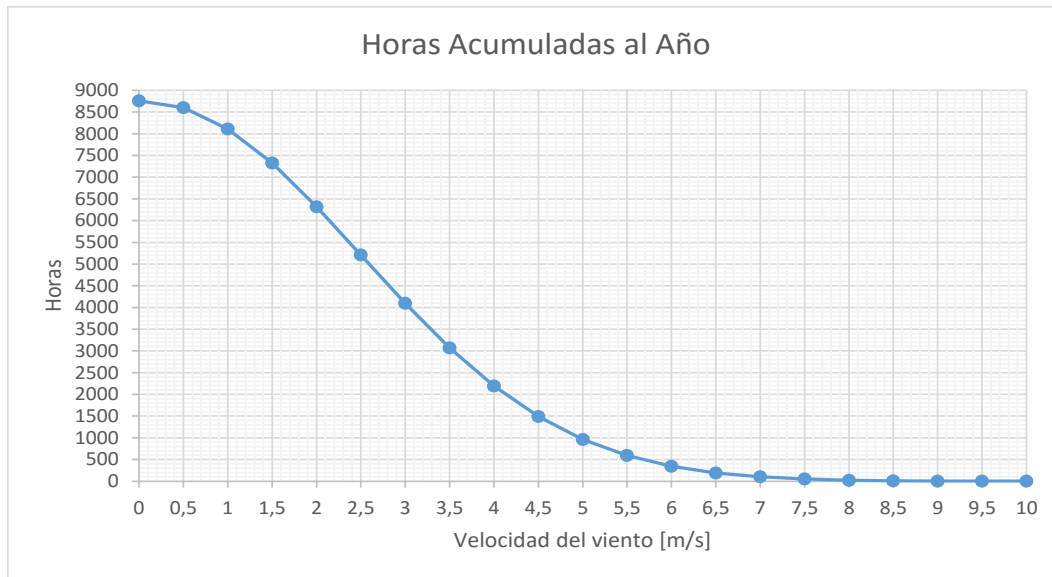
Escalamiento a  $z'=13$  metros de altura (Turbina + Torre)

$k' = k \frac{1 - 0.088 \ln\left(\frac{z}{10}\right)}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{z'}{10}\right)}$	$c' = c \left(\frac{z'}{z}\right)^\beta$	$\beta = \frac{0.37 - 0.088 \ln c}{1 - 0.088 \ln\left(\frac{z}{10}\right)}$	$\frac{\langle v \rangle}{c} = \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$
beta	c'	k'	Velocidad Media Anual <V'>
0,268	3,42m/s	2,09	3,03m/s

### Caracterización del Recurso Eólico:

Distribucion de la densidad de probabilidad de Weibull	$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$
frecuencias acumuladas de la velocidad	$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$





Producción eléctrica anual estimada tomando de referencia dos aerogeneradores tipo VAWT

AEOLOS-V 300W	n	360	RPM	AEOLOS-V 600W	n	360	RPM
	Radio	0,6	m		Radio	0,8	m
	Rated Velocity	10	m/s		Rated Velocity	10	m/s
	Altura	1,6	m		Altura	1,8	m
	Ancho	1,2	m		Ancho	1,6	m
	$\lambda$	2,26	m/s		$\lambda$	3,02	m/s
	Cp	0,28			Cp	0,45	
	Potencia	300	W		Potencia	600	W
Potencia Max.	400	W	Potencia Max.	800	W		

Intervalo	v' [m/s]	p(v)	AEOLOS-V 300W			AEOLOS-V 600W		
			Pi (W)	pi*Pi*Δv (kW)	E. Prod. (kWh)	Pi (W)	pi*Pi*Δv (kW)	E. Prod. (kWh)
0,25 - 0,75	0,5	0,037	0	0	0	0	0	0
0,75 - 1,25	1	0,074	0	0	0	0	0	0
1,25 - 1,75	1,5	0,104	0	0	0	0	0	0
1,75 - 2,25	2	0,123	0	0	0	0	0	0
2,25 - 2,75	2,5	0,129	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000
2,75 - 3,25	3,0	0,124	10	0,001	10,827	20	0,002	21,653
3,25 - 3,75	3,5	0,110	18	0,002	17,267	37	0,004	35,492
3,75 - 4,25	4,0	0,090	25	0,002	19,794	50	0,005	39,588
4,25 - 4,75	4,5	0,070	32	0,002	19,573	66	0,005	40,370
4,75 - 5,25	5,0	0,051	50	0,003	22,184	100	0,005	44,367
5,25 - 5,75	5,5	0,035	56	0,002	16,957	117	0,004	35,427
5,75 - 6,25	6,0	0,022	75	0,002	14,605	155	0,003	30,183
6,25 - 6,75	6,5	0,013	93	0,001	10,986	195	0,003	23,035
6,75 - 7,25	7,0	0,008	105	0,001	7,103	240	0,002	16,236
7,25 - 7,75	7,5	0,004	143	0,001	5,233	298	0,001	10,905
7,75 - 8,25	8,0	0,002	175	0,000	3,273	350	0,001	6,547
8,25 - 8,75	8,5	0,001	203	0,000	1,835	416	0,000	3,760
8,75 - 9,25	9,0	0,000	240	0,000	0,991	475	0,000	1,961
9,25 - 9,75	9,5	0,000	269	0,000	0,480	540	0,000	0,963
9,75 - 10,25	10,0	0,000	300	0,000	0,219	600	0,000	0,437
10,25 - 10,75	10,5	0,000	334	0,000	0,094	658	0,000	0,185
10,75 - 11,25	11,0	0,000	365	0,000	0,038	730	0,000	0,075
11,25 - 11,75	11,5	0,000	395	0,000	0,014	764	0,000	0,027
11,75 - 12,25	12,0	0,000	400	0,000	0,004	800	0,000	0,008
12,25 - 12,75	12,5	0,000	400			800		
12,75 - 13,25	13,0	0,000	400			800		
13,25 - 13,75	13,5	0,000	400			800		
13,75 - 14,25	14,0	0,000	400			800		
<b>TOTAL</b>		<b>0,997</b>		<b>0,02kW</b>	<b>151,47kWh/año</b>		<b>0,04kW</b>	<b>311,22kWh/año</b>

## ANEXO 8. DATOS DE AEROGENERADORES CONSIDERADOS



### V 300W Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	1.6 m (5.25 ft)
Rotor Width:	1.2 m (3.94 ft)
Blades Material:	Aluminum Alloy
Safety Control:	Electronic Dump Loading Blades Rotation Limitation 360 rpm

### Performance

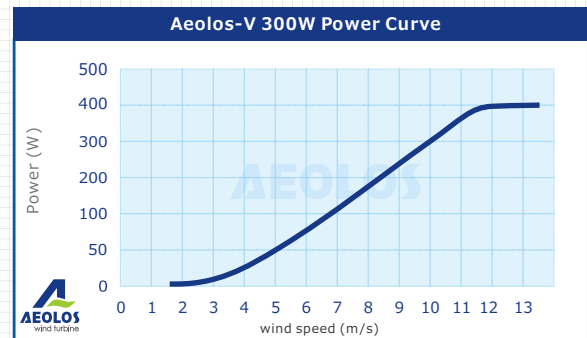
Rated Power:	300 W
Max Output Power:	400 W
Cut In Wind Speed:	1.5 m/s (3.35 mph)
Rated Wind Speed:	10 m/s (22.3 mph)
Survival Wind Speed:	50 m/s (111.5 mph)
Noise Level:	< 45 dB(A)

### V 600W Specification

Generator Type:	Three Phase Permanent Magnet
Rotor Height:	1.8 m (5.91 ft)
Rotor Width:	1.6 m (5.25 ft)
Blade Material:	Aluminum Alloy
Safety Control:	Electronic Dump Loading Blades Rotation Limitation 360 rpm

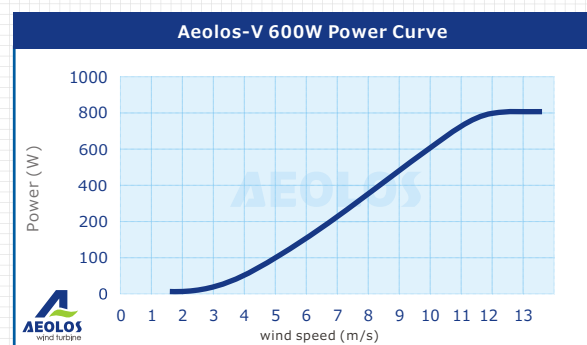
### Performance

Rated Power:	600 W
Max Output Power:	800 W
Cut In Wind Speed:	1.5 m/s (3.35 mph)
Rated Wind Speed:	10 m/s (22.3 mph)
Survival Wind Speed:	50 m/s (111.5 mph)
Noise Level:	< 45 dB(A)



**Aeolos-V 300W Wind Turbine Annual Energy Output**

Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)
3 m/s	88 kWh	8 m/s	1576 kWh
4 m/s	227 kWh	9 m/s	2102 kWh
5 m/s	438 kWh	10 m/s	2628 kWh
6 m/s	683 kWh	11 m/s	3241 kWh
7 m/s	919 kWh	12 m/s	3504 kWh



**Aeolos-V 600W Wind Turbine Annual Energy Output**

Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)	Wind Speed(m/s)	Annual Energy Output (kWh)
3 m/s	131 kWh	8 m/s	3328 kWh
4 m/s	481 kWh	9 m/s	4292 kWh
5 m/s	876 kWh	10 m/s	5256 kWh
6 m/s	1401 kWh	11 m/s	6394 kWh
7 m/s	1752 kWh	12 m/s	7008 kWh

## ANEXO 9. CÁLCULO DE LA POTENCIA O CARGA TÉRMICA

Volumen Habitable  $V := 240 \text{ m}^2 \cdot 2.8 \text{ m}$

Coficiente Volumetrico de Pérdidas  $G := 0.6 \frac{\text{W}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$

Vivienda Bien Aislada:

$$0.5 - 0.9 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}}$$

### CALEFACCIÓN

Temperatura Mínima (Exterior)  $t_{ext} := 267 \text{ K}$

Temperatura Interior  $t_{int} := 295 \text{ K}$

Potencia de Cálculo  $P_i := G \cdot V \cdot (t_{int} - t_{ext})$

$$P_i = 11.29 \text{ kW}$$

### REFRIGERACIÓN

Temperatura Mínima (Exterior)  $t_{ext} := 308 \text{ K}$

Temperatura Interior  $t_{int} := 297 \text{ K}$

Potencia de Cálculo  $P_i := G \cdot V \cdot (t_{ext} - t_{int})$

$$P_i = 4.44 \text{ kW}$$

## POTENCIA ELÉCTRICA A PARTIR DE POTENCIA DE CÁLCULO

Bomba de Calor Seleccionada: PANASONIC WH-SDC16F6E5 WH-UD16FE5

Potencia Calorífica (a  $-7^\circ\text{C}$ ):  $P_{CAL} := 11.4 \text{ kW}$   $P_{CAL} \geq P_i$

COP (a  $-7^\circ\text{C}$ ):  $COP := 2.68$

Potencia eléctrica requerida:  $P_e := \frac{P_{CAL}}{COP}$

$$P_e = 4.25 \text{ kW}$$