



PROYECTO FIN DE CARRERA
Titulación: Ingeniero Técnico industrial
Especialidad: Electricidad
Alumno: Francisco Javier Márquez Martín

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA



MEMORIA DESCRIPTIVA

PROYECTO DE INSTALACIÓN HÍBRIDA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA VIVIENDA AISLADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MARCHENA (SEVILLA)



INDICE

1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL PROYECTO.

2. EMPLAZAMIENTO.

3. NORMAS Y REFERENCIAS.

3.1. BIBLIOGRAFÍA

3.2. OTRAS REFERENCIAS

4. CONDICIONES AMBIENTALES.

4.1. DATOS CLIMATOLÓGICOS SISTEMA SOLAR-FOTOVOLTAICA

4.2. DATOS CLIMATOLÓGICOS SISTEMA EÓLICO

5. REQUISITOS DE DISEÑO.

5.1. PREVISIÓN DE CARGA Y CONSUMO ELÉCTRICO

6. ANÁLISIS DE SOLUCIONES.

7. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.

7.1. SISTEMA EÓLICO

7.1.1. Rotor

7.1.2. Generador

7.1.3. Sistema de regulación de vueltas

7.1.4. Sistema de frenado



7.1.5. Sistema de orientación

7.1.6. Torre soporte

7.1.7. Mini aerogenerador SELECCIONADO

7.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO

7.2.1. Subsistema de captación de energía

7.2.1.1. *Paneles fotovoltaicos seleccionados*

7.2.2. Subsistema de regulación

7.2.2.1. *Regulador solar seleccionado*

7.2.3. Subsistema de adaptación del suministro

7.2.3.1. *Inversor seleccionado*

7.3. EL BUS DE CC

7.4. SISTEMA HÍBRIDO

7.5. SISTEMA DE ACUMULACIÓN: LAS BATERIAS

7.5.1. Selección de las baterías

7.5.1.1. *Baterías seleccionadas*

7.6. APOORTE DE LA INSTALACIÓN EÓLICA Y FOTOVOLTAICA

8. RESULTADOS FINALES

8.1. GENERADOR EÓLICO

8.2. PANEL FOTOVOLTAICO

8.3. MÓDULOS DE GESTIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

8.3.1. Módulo regulador fotovoltaico

8.4. BATERÍAS



1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL PROYECTO.

Se redacta el presente proyecto “PROYECTO DE INSTALACIÓN HÍBRIDA, FOTOVOLTAICA-EÓLICA, PARA VIVIENDA AISLADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MARCHENA (SEVILLA)” por encargo de José Manuel Álvarez Abadía con NIF 64342859D.

El presente proyecto se redacta con el fin de diseñar y calcular la instalación correspondiente a un sistema de generación de energía eléctrica, mediante el empleo de energía solar fotovoltaica y energía eólica, de acuerdo a la legislación vigente, así como servir de base a la hora de proceder a la ejecución de dicha instalación, de forma que lo proyectado pueda ser directamente ejecutado mediante la correcta interpretación y aplicación de las especificaciones.

El suministro eléctrico mediante energías renovables objeto del proyecto, estará destinado a vivienda aislada ubicada en terrenos pertenecientes al término municipal de Marchena, Sevilla. Donde se tratará de aprovechar los recursos naturales de la comarca, eólicos y solares, para su uso en la generación de energía.

2. EMPLAZAMIENTO.

El conjunto de instalaciones objeto de este proyecto estará situado junto a vivienda aislada ubicada en la finca denominada “Villa San José” perteneciente al término municipal de Marchena, Sevilla. Estando situada ésta en las siguientes coordenadas UTM:

X: 287367

Y: 4134620,6

Huso: 30

3. NORMAS Y REFERENCIAS.

En la definición y cálculo de las instalaciones, se han tenido en cuenta las normas que establecen los siguientes reglamentos en vigor:

El diseño del suministro eléctrico y térmico autónomo se acoge a las siguientes normas del marco legislativo:

PROYECTO FIN DE CARRERA INSTALACIÓN HÍBRIDA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA
VIVIENDA AISLADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MARCHENA (SEVILLA)



- RD 842/2002 sobre el reglamento electrotécnico para baja tensión (RBT).
- Ley 24/2013 del sector eléctrico de 26 de Diciembre del 2013, que establece los principios de un modelo de funcionamiento basado en la libre competencia, impulsando a la vez instalaciones de energía eléctrica en régimen especial RD 2818/1998 de 23 de Diciembre del 1998 sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos o cogeneración.
- RD 1381/2008 de 1 de Agosto del 2008 que establece el certificado de profesionalidad de la ocupación de instalador de sistemas fotovoltaicos y eólicos.
- Ley 31/1995, sobre riesgos laborales.
- RD 1627/1997 de 24 de Octubre del 1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras.
- RD 485/1997 de 18 de Julio del 1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los trabajadores de los equipos de trabajo.
- RD 2177/2004 de 12 de Noviembre de 2004 por el que se modifica el RD 485/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de los trabajadores de los equipos de trabajo.
- RD 773/1997 de 30 de Mayo de 1997, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización de los equipos de protección por parte de los trabajadores.
- Condiciones impuestas por los organismos públicos afectados y ordenanzas particulares.
- Normalización Nacional. Normas UNE.
- Normas técnicas y administrativas regionales.
- Orden de 26 de marzo de 2007, por la que se aprueban las especificaciones técnicas de las instalaciones fotovoltaicas andaluzas.
- Otra normativa

PROYECTO FIN DE CARRERA INSTALACIÓN HÍBRIDA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA
VIVIENDA AISLADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MARCHENA (SEVILLA)



3.1. BIBLIOGRAFÍA

- Tecnología solar, ediciones Mundi-Prensa 2005.
- Desarrollo tecnológico de sistemas aislados con energía eólica, editorial Ciemat 2002.
- Instalaciones de energía solar, editorial Progensa 1999.
- Pliego de Condiciones Técnicas de instalaciones aisladas de Red. Departamento de Energía solar IDEA 2002.

3.2. OTRAS REFERENCIAS

- www.idae.es
- www.uponoriberia.com
- www.talentfactory.dk
- www.agenciaandaluzadelaenergia.es
- www.censolar.es
- www.aemet.es

4. CONDICIONES AMBIENTALES.

4.1. DATOS CLIMATOLÓGICOS SISTEMA SOLAR-FOTOVOLTAICA

Tanto los datos de radiación, como los de temperatura ambiente promedio, utilizados en este proyecto corresponden a datos climáticos de Andalucía aportados por la JUNTA DE ANDALUCÍA a través de su página web www.agenciaandaluzadelaenergia.es para la provincia de Sevilla en el punto de información más cercano al municipio de Marchena. En cuanto a los datos de radiación, se expresa la Energía H, en megajulios, que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes ($\text{MJ/m}^2 \cdot \text{día}$).



Lugar	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Sevilla	9,1	12,5	16,9	21	24,5	29,1	27,6	24,8	19,4	13,4	10	7,8	18

Por otra parte tenemos los datos referentes a la temperatura ambiente media durante las horas de sol en °C:

Lugar	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Sevilla	13	15	17	19	21	24	27	27	25	22	18	15	

4.2. DATOS CLIMATOLÓGICOS SISTEMA EÓLICO

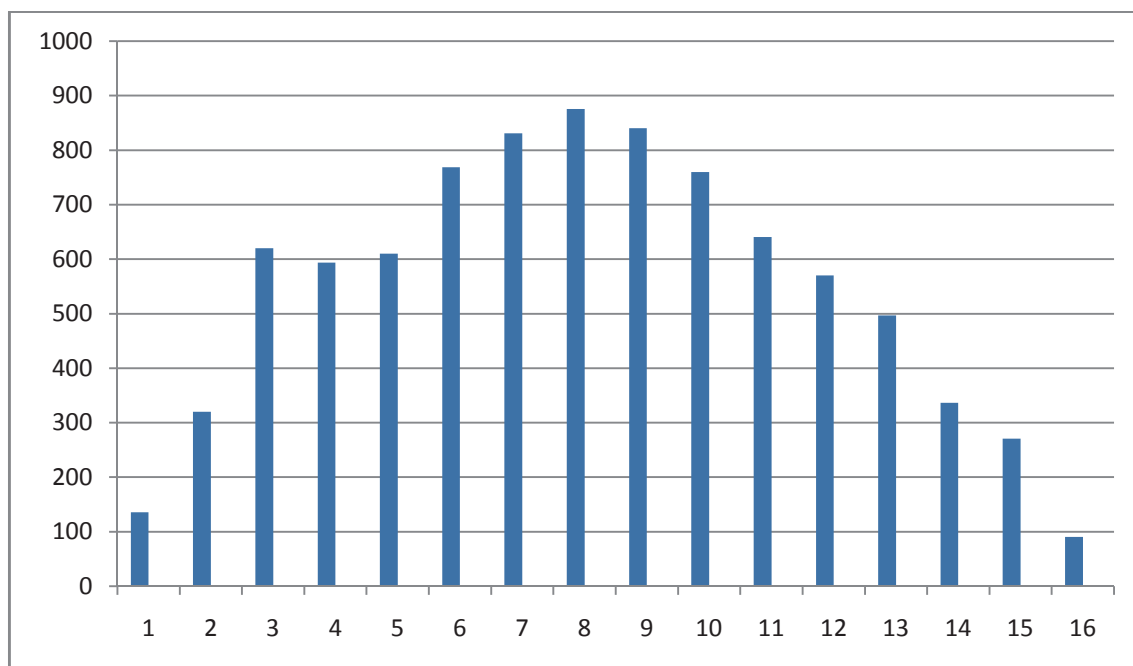
Para los datos eólicos se ha utilizado el mapa eólico nacional elaborado por CENER (Centro Nacional de Energías Renovables), Fundación CENER-CIEMAT, en colaboración con la Universidad de Atenas. Se ha desarrollado una metodología para el cálculo de mapas de viento a escala regional a partir del modelo de mesoscala SKIRON.

Estos mapas tienen dos características destacables:

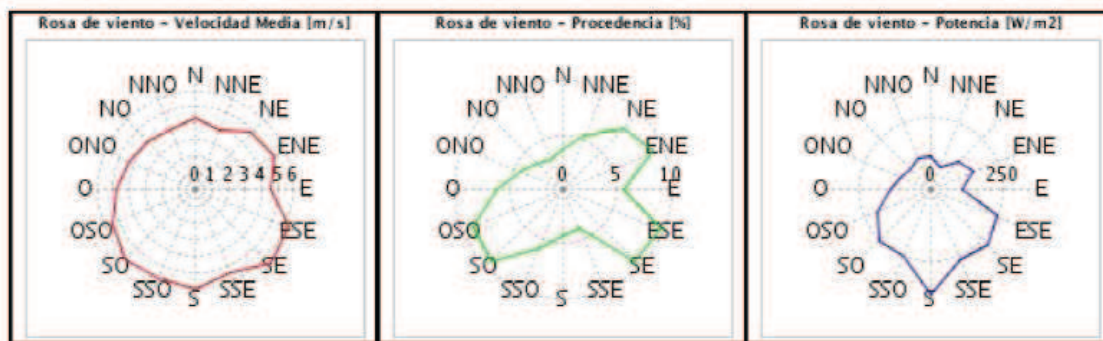
- Se construyen a partir de las simulaciones hora a hora durante periodos de hasta 10 años.
- Resolución hasta $0.02^\circ \times 0.02^\circ$ (1.5 km x 1.5 km aproximadamente).

Los mapas de viento generados por CENER permiten identificar las zonas con mejores condiciones para las instalaciones de parques eólicos, así como disponer de “estaciones de viento virtuales” (series horarias a altura de buje de 10 metros) en cualquier punto del área simulada. Estas estaciones virtuales son útiles para realizar cálculos de producción energética de parque eólico y como referencias válidas a largo plazo.

A continuación se detalla el diagrama que muestra cuantas horas de viento hay al año en función de la velocidad, (en m/s);



Las siguientes figuras muestran las rosa de los vientos de la velocidad media, de la procedencia del viento y la fuerza con la que viene en cada dirección:

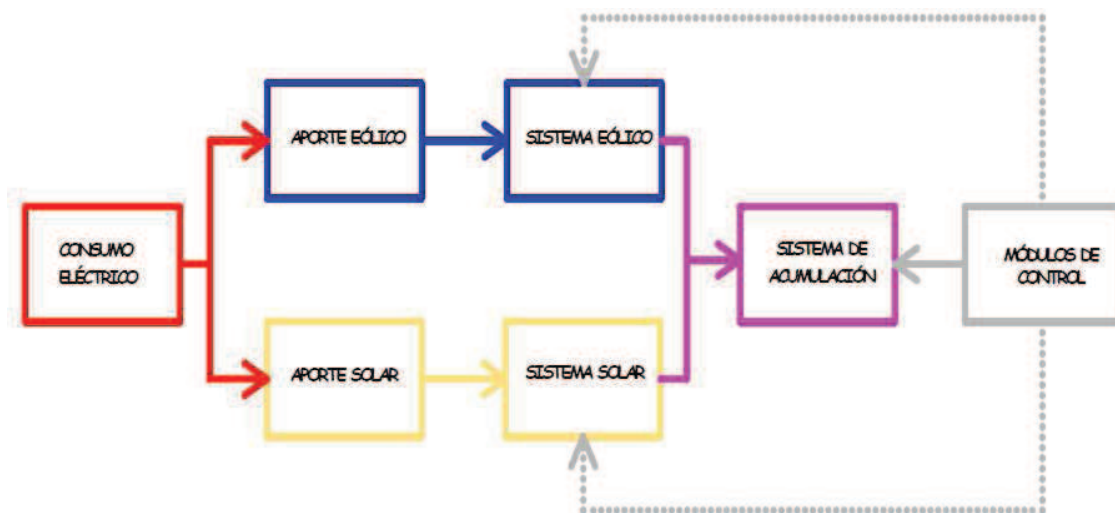


5. REQUISITOS DE DISEÑO.

Se procura llevar a cabo el análisis técnico para la instalación de un sistema de suministro eléctrico que funcione con energías renovables, concretamente fotovoltaico/eólico.

Para ello el diagrama de bloques del estudio técnico a seguir será el siguiente:

PROYECTO FIN DE CARRERA INSTALACIÓN HÍBRIDA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA
VIVIENDA AISLADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MARCHENA (SEVILLA)



5.1. PREVISIÓN DE CARGA Y CONSUMO ELÉCTRICO

Atendiendo a las especificaciones requeridas para cumplir correctamente con el aporte eléctrico en la vivienda aislada, las diferentes necesidades del propietario de la instalación son:

SALÓN	CTDAD.	POT Ud(W)	POT. (W)	TIEMPO(h)	CONSUMO(W.h/día)
TV	1	65,7	65,7	4	262,8
DVD	1	25,3	25,3	0,5	12,65
EQUIPO SONIDO	1	120	120	0,5	60
VENTILADOR TECHO	2	60	120	1	120
TOMAS VARIAS	2	20	40	1	40
ALUMBRADO	2	15	30	6	180
				TOTAL	675,45

COCINA	CTDAD.	POT. Ud(W)	POT. (W)	TIEMPO (h)	CONSUMO(W.h/día)
MICROONDAS	1	800	800	0,5	400
HORNO	1	1200	1200	0,25	300
FRIGORÍFICO	1	63	63	24	1512
LAVADORA	1	1050	1050	0,5	525
LAVAVAJILLAS	1	1050	1050	1	1050
CAMPANA EXTRACTORA	1	120	120	0,5	60
TERMO ELÉCTRICO	1	1500	1500	0,5	750
TOMAS VARIAS	2	20	40	1	40
ALUMBRADO	2	15	30	2	60
				TOTAL	4697



DORMITORIOS 1,2,3	CTDAD.	POT. Ud(W)	POT. (W)	TIEMPO (h)	CONSUMO(W.h/día)
VENTILADOR TECHO	1	60	60	2	120
TOMAS VARIAS	1	20	20	0,5	10
ALUMBRADO	1	15	15	0,5	7,5
				TOTAL	412,5

BAÑOS 1 Y 2	CTDAD.	POT. Ud(W)	POT. (W)	TIEMPO (h)	CONSUMO(W.h/día)
TOMAS VARIAS (secador pelo)	1	825	825	0,1	82,5
ALUMBRADO	1	15	15	1	15
				total	195

HALL Y PASILLOS	CTDAD.	POT. Ud(W)	POT. (W)	TIEMPO (h)	CONSUMO(W.h/día)
TOMAS VARIAS	1	20	20	0,2	4
ALUMBRADO	3	15	45	0,4	18

OTRAS INSTALACIONES	CTDAD.	POT. Ud(W)	POT. (W)	TIEMPO (h)	CONSUMO(W.h/día)
ALUMBRADO EXTERIOR	1	9	9	6	324

	CONSUMO(W·h/día)
TOTAL PROYECTO:	6325,95

6. ANÁLISIS DE SOLUCIONES.

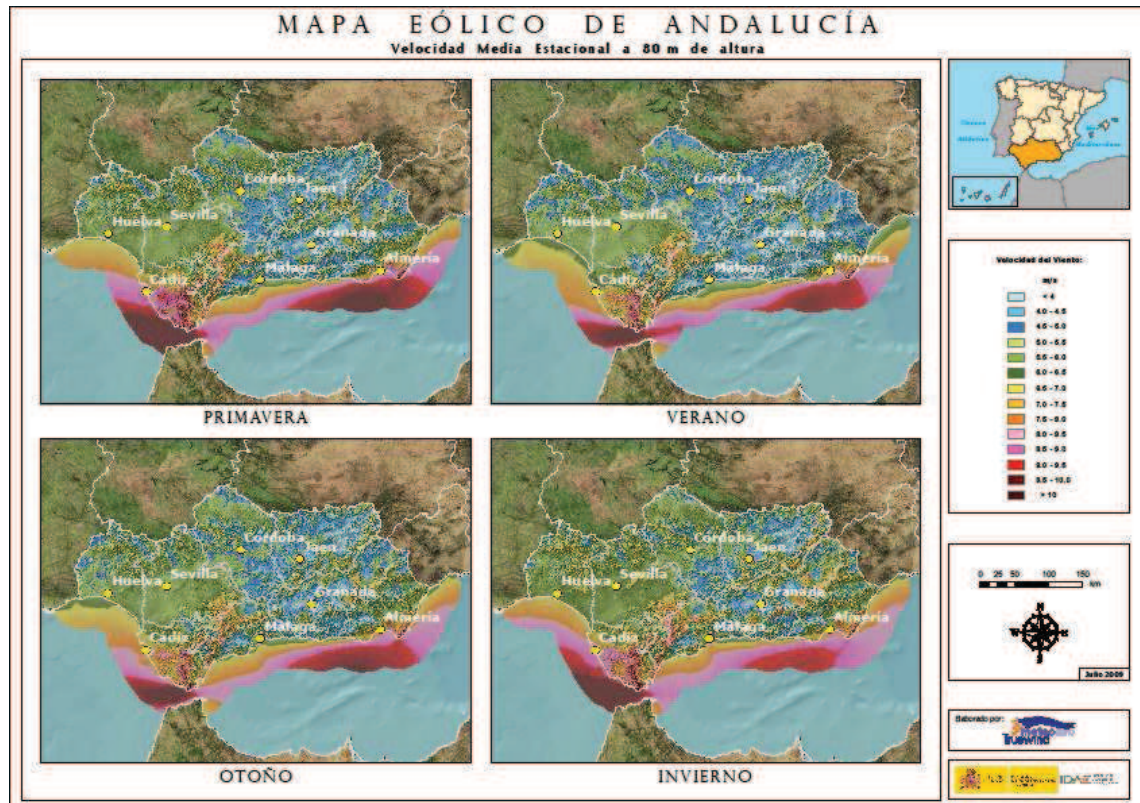
Dadas las características de la región en la que se ubica la vivienda objeto del proyecto y la distancia a la red general de distribución, así como la no existencia por parte de la Compañía Eléctrica de distribución de planes de variación o trazado de nuevas líneas en un futuro cercano, para satisfacer las necesidades expuestas de suministro eléctrico se ha optado por un sistema híbrido de energías renovables.

Las pequeñas turbinas eólicas, brindan una solución muy atractiva para la electrificación rural en muchos lugares, pero muchas veces la fluctuación del viento hace que no se pueda obtener una producción de electricidad de manera constante.



Por esta razón, frecuentemente, se usa una turbina eólica en combinación con otra fuente de generación: por ejemplo, paneles fotovoltaicos o un generador eléctrico a base de diesel.

Una de las mayores ventajas que presentan, con respecto a un sistema individual, es que da una mayor seguridad para la generación de energía eléctrica.



En el caso que nos ocupa, instalaciones híbridas eólico-fotovoltaicas, la energía eólica y la fotovoltaica son complementarias. En verano, corresponde a la época en que menores velocidades de viento media tenemos y sin embargo se complementa con el gran aporte de energía fotovoltaica para dicha estación. Ocurriendo la situación inversa en los meses de menor aporte de energía solar, se obtiene sin embargo un mayor aporte eólico.

Juntas, no sólo mejoran la fiabilidad de los sistemas aislados sino que también los hacen más rentables que cuando operan separadamente.



7. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.

La instalación está constituida por un aerogenerador de pequeñas dimensiones que, a través de un rectificador/regulador de carga, suministra la energía producida a las baterías. En paralelo se encuentra un sistema de paneles fotovoltaicos, que mediante su regulador de carga se conectan también a la batería.

Las dimensiones de cada uno de los equipos (aerogenerador y paneles) dependerán de las características climatológicas así como de las características de la carga.

7.1. SISTEMA EÓLICO

Los aerogeneradores de baja potencia presentan características que hacen que sean una opción muy interesante en la producción de la energía eléctrica y entre ellas cabe destacar que se evitan pérdidas en transporte, ya que la energía se producirá en el mismo lugar que se demanda. Además no requieren grandes espacios para su instalación.

Uno de los factores variables e importantes para poder hacer una aproximación de la cantidad de energía eléctrica a producir por el aerogenerador, es estimar la cantidad de viento que incidirá en este aparato.

Obtenidos los datos de velocidad media del viento se puede realizar la *estimación* de la potencia que suministrará el generador eólico.

Se usan estos datos de acceso público ya que para una obtención más exacta, por ejemplo de las velocidades medias de viento, se instalaría una estación básica de medida, que aporta monetariamente el interesado (promotoras de parques eólicos, particulares ...)

Los generadores eólicos para funcionamiento aislado presentan una problemática claramente diferenciada respecto de los sistemas conectados a red. En el caso de instalaciones conectadas a la red, la planta eólica suministra la energía de acuerdo a las condiciones de viento. En el caso de instalaciones aisladas hay que cubrir las necesidades de demanda por lo que son necesarios sistemas de acumulación y regulación.



Denominación	kW	Utilización
Muy baja ¹	< 1	Embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, iluminación, etc.
	1-10	Granjas, viviendas aisladas (sistemas EO-FV), bombeo, etc.
Baja	10-100	Comunidades de vecinos, PYME's (sistemas mixtos EO-Diesel), drenaje, tratamientos de aguas, etc.
Media	100-1 000	Parques eólicos (terreno complejo)
Alta	1 000-10 000	Parques eólicos (terreno llano, mar adentro)
Muy alta	> 10 000	En fase de investigación y desarrollo, requieren nuevos diseños y materiales no convencionales. No antes del año 2010

Tabla. Clasificación de aerogeneradores para producción eléctrica en función de su potencia

1.- Esta clase se divide según la potencia en microaerogeneradores (<1 kW) y miniaerogeneradores (1-10 kW).

Los aerogeneradores más pequeños o “micro”, <1 KW, se emplean en una gran variedad de aplicaciones tales como la carga de baterías para embarcaciones, sistemas de comunicación, refugios de montaña, etc. Las turbinas de 1 a 10 KW se suelen usar en granjas, para bombear agua, viviendas aisladas, comunidades de vecinos, etc. Las turbinas para aplicaciones residenciales pueden estar en el rango de 400 W hasta los 100 KW dependiendo de la cantidad de electricidad que se desee generar.

A continuación se analizan los diferentes elementos que dan forma a los generadores eólicos.

7.1.1. Rotor

La mayor parte de aerogeneradores en el mercado son aerogeneradores de eje horizontal a barlovento, si bien existen modelos comerciales en el mercado de eje vertical.

La tecnología utilizada varía desde rotores de dos palas, hasta rotores de 6 palas, cubriendo todas las soluciones intermedias: 3, 4 y 5 palas.

El mayor número de modelos corresponde con aerogeneradores tripalas y bipalas, utilizándose mayor número de palas en los aerogeneradores de potencia nominal inferior a 250 W.

El material de las palas es mayoritariamente fibra de vidrio/poliéster.



Figura. Mini-aerogenerador (6 kW) de 3 palas

7.1.2. Generador

La mayoría de diseños de pequeña potencia usan conexión directa entre el rotor del aerogenerador y el generador eléctrico, sin existencia de caja de manipulación.

En los aerogeneradores de micro potencia (< 3 KW) el tipo de generador utilizado prácticamente en la totalidad de los diseños es un alternador de imanes permanentes (PMG) de 4, 6, 8 o 10 polos. En el caso de aerogeneradores en el rango de los 3 KW a 30 KW, también se utiliza la opción de generadores de inducción.

7.1.3. Sistema de regulación de vueltas

Existen gran variedad de soluciones utilizadas para regular la potencia y la velocidad de giro en los pequeños aerogeneradores. Entre ellas se incluyen:

- Sin regulación: en la que el aerogenerador se diseña para poder soportar las cargas que se produzcan en todas las condiciones de operación, incluidas las velocidades de giro que puedan presentarse en funcionamiento en vacío.



Figura. Sin regulación

- Regulación por desorientación: el que el eje del rotor se desalinea en el plano horizontal respecto a la dirección del viento incidente. Existen distintas soluciones para que se produzca esta desorientación del rotor, si bien la más utilizada es mediante un diseño en el que el centro de empuje del rotor no queda alineado con el centro de rodamiento de orientación.



Figura. Regulación por desorientación

- Regulación por cabeceo: similar al anterior, pero en el que la desalineación se produce en plano vertical.



Figura. Regulación por cabeceo

- Regulación por cambio de paso: similar al utilizado en los aerogeneradores más grandes, aunque en su mayoría se utilizan sistemas de cambio de paso pasivos, en los que la variación del ángulo de ataque de las palas se produce mediante sistemas centrífugos.
- Regulación por pérdida aerodinámica: similar a la utilizada en grandes aerogeneradores.

7.1.4. Sistema de frenado

En los aerogeneradores que disponen de un solo sistema de frenado la solución mayoritaria es mediante cortocircuito del generador eléctrico.

En el caso de que se usen dos sistemas de frenado, el primero de ellos es mayoritariamente freno mecánico o aerodinámico mediante posicionamiento de las palas en la posición de “bandera”. Para el segundo sistema se utiliza freno mecánico, aerodinámico o por cortocircuito del generador eléctrico, dependiendo fundamentalmente de la solución utilizada para el sistema de frenado.

7.1.5. Sistema de orientación

El sistema de orientación mayoritario para los aerogeneradores a barlovento (el rotor está instalado por la parte de donde viene el viento) es por veleta de cola. El timón veleta de orientación utilizado es, indistintamente, recto o elevado.



Figura. Rotor a sotavento

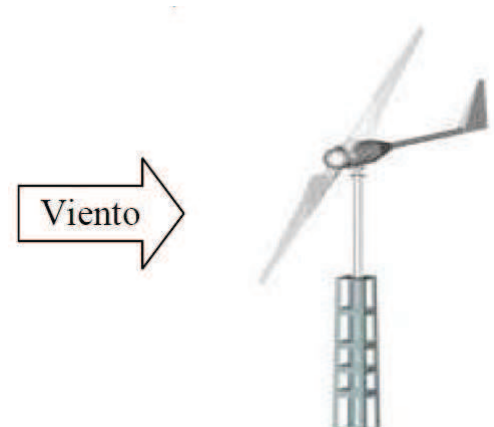


Figura. Rotor a sotavento

En los aerogeneradores a sotavento (el rotor está instalado por la parte opuesta de donde viene el viento) la orientación se produce por la acción del viento sobre el rotor, si bien aparecen inestabilidades difíciles de controlar.

7.1.6. Torre soporte

Respecto al tipo de torre encontramos una amplia dispersión, usándose torres atirantadas o autoportantes, tubulares y de celosía. Es práctica habitual que el fabricante ofrezca diferentes tipos de torres, de acuerdo a las características del emplazamiento.

7.1.7. Mini aerogenerador SELECCIONADO

El aerogenerador seleccionado genera energía a partir de la velocidad de 2,7 m/s, idóneo para las velocidades de viento que se extraen del mapa eólico (de 5 a 8 m/s), se elige el aerogenerador Inclín-6000, de una potencia de 6000W ya que el mini aerogenerador trabajará paralelamente con un sistema fotovoltaico, para paliar la ausencia de una u otra fuente de energía.



Potencia nominal	6000 W
Voltaje	48 V
Tipo de generador	Alternado trifásico de imanes permanentes
Potencia nominal	12 m/s
Arranque	2,7 m/s
Número de hélices	3
Diámetro	5,66 m

Tabla. Características del Inclín 6000



Figura. Inclín 6000

7.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO

La instalación fotovoltaica será autónoma, sin conexión a la red, por lo que será necesaria la existencia de los siguientes componentes (más otros que serán tratados en diferentes apartados):

- Subsistema de captación de energía.
- Subsistema de regulación.
- Subsistema de adaptación del suministro.

7.2.1. Subsistema de captación de energía

Obtenidos los datos de la radiación global horaria se puede realizar la estimación de la potencia que generarán los paneles fotovoltaicos.

El subsistema de captación de energía está formado por un conjunto de módulos o paneles fotovoltaicos, conectados convenientemente, que realizan la captación de la energía procedente del sol y la transforman, directamente, en energía eléctrica, en forma de tensión y corriente continua. El tipo de estructura a utilizar en este caso será fija.

Las diferentes tecnologías en células fotovoltaicas que se pueden encontrar son:

- El silicio cristalino (ya sea monocristalino o policristalino) es una tecnología probada y robusta (con una esperanza de vida de: 30 años), cuyo rendimiento es del orden del 13 % al 18 %. Estas células están adaptadas para potencias de unos cientos de vatios hasta algunas decenas de kilowatios.



- Silicio policristalino: estas células, gracias a su potencial de mayor productividad, se han impuesto hoy en día: representan el 49% de toda la producción mundial en el año 2000. La ventaja de estas células respecto al silicio monocristalino es que producen pocos restos al cortarlas y que necesitan menos energía para su fabricación.
- Silicio monocristalino: su procedimiento de fabricación es largo y requiere mucha energía; aunque más costoso, es más eficaz que el silicio policristalino.
- Silicio amorfo: el coste de fabricación es sensiblemente más económico que el del silicio cristalino. Las células amorfas son utilizadas allí donde se busca una alternativa más económica o cuando se requiere muy poca electricidad (por ejemplo, alimentación de relojes, calculadoras, luces de emergencia). Sin embargo, el rendimiento es más de dos veces inferior al del silicio cristalino y requiere por tanto de más superficie para instalar la misma potencia.

7.2.1.1. Paneles fotovoltaicos seleccionados

El panel a utilizar en la instalación fotovoltaica es el SPP280-24 de VICTRON ENERGY, sus características más importantes son:

Potencia Pico (Wp)	280
Tensión nominal (V)	24
Tensión en la P_{máx.} (V)	36,36
Corriente a la P_{máx.} (A)	7,70
Corriente de cortocircuito (A)	8,26
Tensión en circuito abierto (V)	44,06

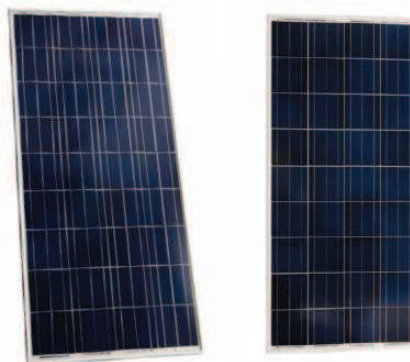


Figura. Panel fotovoltaico SPP280-24



El tema de la eficiencia energética de los paneles fotovoltaicos es una tarea pendiente aún en este tipo de tecnología. El criterio de selección ha sido el meramente económico.

7.2.2. Subsistema de regulación

Es el encargado de regular el flujo de electricidad desde los módulos fotovoltaicos hasta las baterías (suministrándoles la tensión e intensidad adecuadas al estado de carga en que éstas se encuentren). Además, el regulador tiene la misión de mantener la batería plenamente cargada sin que sufra sobrecargas que pudieran deteriorarla.

Algunos reguladores incorporan sistemas que sustituyen a los diodos de bloqueo, impidiendo el flujo de energía eléctrica desde las baterías hacia los módulos fotovoltaicos en ausencia de insolación. El dimensionado del subsistema de regulación conduce al establecimiento de sus características nominales, que son, la tensión nominal de funcionamiento y la intensidad eléctrica máxima que puede controlar.

7.2.2.1. Regulador solar seleccionado

El regulador realizará la función de control de carga de las baterías y controlar el proceso de conexión y desconexión de las cargas alimentadas. El regulador mostrado dispone de vigilancia del estado de las baterías, basamos la selección en el precio y pequeñas utilidades extras que pueda incorporar el regulador. Se elige el Steca Power Tarom 4110, ya que realiza la regulación de carga basado en el SOC (Estado de carga), además de la posibilidad de poder incorporarle sensores de temperatura y registradores de datos.

Steca:

Tensión nominal	48 V
Intensidad máxima	110 A
Vigilancia de baterías	SOC
Tensión en circuito abierto	120 V

Tabla. Características del Steca Power Tarom 4110



Figura. Steca Power Tarom 4110



7.2.3. Subsistema de adaptación del suministro

La misión del subsistema de adaptación consiste en hacer compatibles entre sí las características eléctricas (tensión, intensidad, frecuencia...) de los diferentes subsistemas que componen la instalación fotovoltaica, incluidos los receptores.

El inversor será el dispositivo que transformará la corriente continua (CC) suministrada por los sistemas fotovoltaicos y demás fuentes de energías renovables o sus componentes de almacenamiento, en corriente alterna (CA), necesaria para alimentar la mayoría de los receptores domésticos.

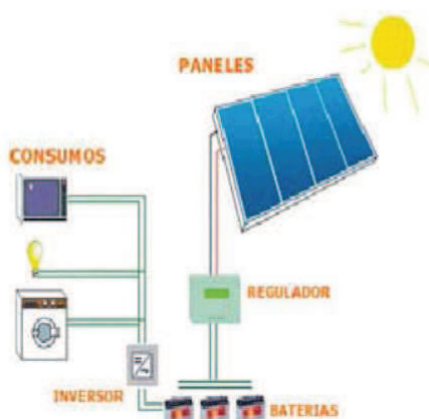


Figura. Situación del inversor en fotovoltaica aislada

El tipo de inversor a utilizar será el electrónico (estáticos), donde la transformación de CC a CA se realiza mediante componentes de estado sólido, alcanzándose rendimientos entre el 60 % y el 90 %. Estos inversores utilizan un único transformador de tamaño y potencia reducidos, resultando sistemas mucho más livianos que los inversores rotativos (funcionan mediante motores de CC que mueven un generador de tensión alterna).

La electricidad proveniente de las baterías pasa, en este tipo de inversores, por dos circuitos *troceadores*. El primero de estos circuitos transforma la elevada corriente de entrada (de muy baja tensión) en corriente alterna (también de muy baja tensión) de alta frecuencia (25 kHz). La conmutación a alta frecuencia permite el uso de un transformador pequeño. El transformador eleva el nivel de tensión de la CA saliente del primer circuito “chopper”, dejando inalterada la frecuencia. Seguidamente, la CA de tensión elevada y alta frecuencia es rectificada, pasando a ser de corriente continua a tensión elevada. Finalmente, esta CC pasa al segundo circuito *troceador* que la convierte en CA a 230 V y 50 Hz.



7.2.3.1. Inversor seleccionado

El inversor escogido es el “48/5000” de PHOENIX ya que se ajusta más a la potencia a tratar (redondeando al alza) en el suministro eléctrico, y cuyas características más importantes son:

Tensión nominal	48 Vdc
Tensión de salida	230 Vac
Frecuencia nominal	50 Hz
Potencia nominal	4500 W
Forma de onda	Senoidal
Eficiencia	95 %

Tabla. Características del inversor Phoenix 48/5000



Figura. Inversor Phoenix 48/5000

7.3. EL BUS DE CC

El bus de CC suele ser típico de sistemas de pequeña potencia (sistemas de potencia menor a 10 KW), estos sistemas suelen utilizar baterías de almacenamiento.

Los aerogeneradores de pequeña potencia generan normalmente corriente alterna AC, siendo necesario un equipo rectificador para los sistemas de CC que tras la acumulación será necesaria su conversión a AC para los consumos de la casa.

Una ventaja importante del bus de continua es que puede utilizarse como colector de distintas tecnologías (fotovoltaica, varios aerogeneradores, pilas de combustible ...) de forma sencilla, ya que utilizar una frecuencia nula (corriente continua) supone la imposición de un único parámetro: la tensión de trabajo.

El transporte de la energía eléctrica se realiza a través de los distintos subsistemas de la instalación fotovoltaica mediante líneas eléctricas. Los criterios a tener en cuenta a la hora de diseñar este subsistema son:



- ## 7.4. SISTEMA HÍBRIDO

Pág. 22 de 32



7.5. SISTEMA DE ACUMULACIÓN: LAS BATERIAS

Una batería es un dispositivo electroquímico que almacena energía eléctrica en forma de enlaces químicos. El bloque constructivo básico de una batería es la célula electroquímica. Las células están conectadas en configuraciones serie/paralelo apropiadas para proporcionar los niveles de voltaje, intensidad y capacidad de batería deseados.

Siendo también misión de la batería la de la estabilización del bus de CC, manteniendo el rango de tensión de trabajo del aerogenerador dentro de unos límites aceptables.

Los parámetros de interés de las baterías son los siguientes:

- Capacidad de almacenamiento: dada comúnmente en Ah a un determinado ritmo de descarga. La capacidad de almacenamiento varía dependiendo de la velocidad a la que se descarga, *régimen de carga/descarga*, que es la corriente aplicada a la batería para restablecer/extraer la capacidad disponible. Dando los fabricantes el almacenamiento para un tiempo de descarga dado, 5, 10 o 100 horas. Las baterías individuales que se usan en sistemas híbridos se disponen en capacidades que varían de 50 Ah a 12 V hasta miles de Ah a 2 V. No hay que olvidar que la capacidad útil de la batería está influenciada por la temperatura a la que opera (disminuyendo la capacidad con la temperatura un 5 % por cada 10 °C).
- Estado de carga: el parámetro para determinar el estado de carga es la tensión en circuito abierto. La tensión de circuito abierto varía con el estado de carga y también con las técnicas utilizadas durante la fabricación del elemento. Variaciones típicas pueden ser desde 2,2 V/elemento a plena carga a 1,9 V/elemento para total descarga.

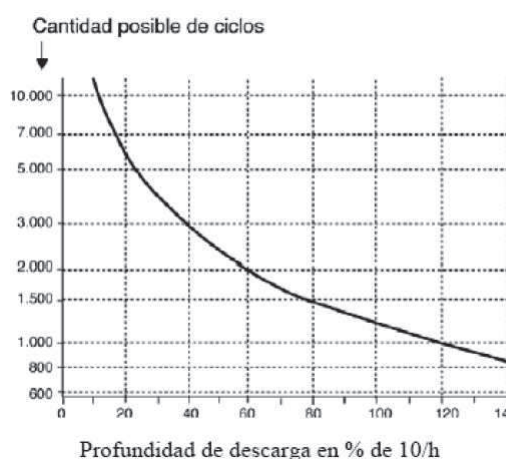


Figura. Influencia del régimen de descarga sobre la capacidad



- La carga: para la caracterización del proceso de carga de una batería hay que definir antes la *tensión de desconexión por sobrecarga*, como aquella a la que conviene interrumpir el proceso de carga antes de que entre en sobrecarga, la cual perjudica la salud de la batería (pudiéndose desprender hidrógeno en forma gaseosa, aumentando el riesgo de explosión).

La *carga de ecualización* se realizará para devolver a las vasos que forman una bancada la homogeneidad en su estado de carga debido que, con el uso, cada vaso evoluciona de distinta forma.

- La descarga: siendo los parámetros que ayudan a la caracterización de la descarga; la *profundidad de descarga* son los Ah extraídos de una batería plenamente cargada (no debe de ser mayor de un 70 % u 80 %); la *tensión de corte o de desconexión por descarga*, conforme avanza la descarga, ambos electrodos se recubren de sulfato de plomo, un aislante eléctrico, estos efectos incrementan la resistencia interna del elemento y causan una reducción del voltaje que es proporcional a la profundidad de descarga y al régimen de descarga, al llegar la batería a la tensión de corte, el sistema debe impedir que la batería se siga descargando.
- Eficiencia energética: la resistencia interna del elemento hace que la tensión de descarga sea menor que la tensión de carga para condiciones de operación equivalentes, además otras reacciones como la autodescarga y la electrólisis del agua consumen una porción de la energía entregada a la batería durante la carga. Estos factores motivan que las eficiencias energéticas sean menores que el 100 %.

Se requiere más energía para cargar una batería que la que se puede recuperar en la siguiente descarga. Siendo un valor típico de la eficiencia energética: 70-80 %.

La *estratificación del electrolito* se produce cuando la distinta densidad del agua y del ácido sulfúrico presentes en el electrolito, unido a la ausencia de movimiento de los vasos en las instalaciones, provoca que el ácido tienda a caer al fondo del vaso, mientras que el agua tiende a subir. Esta estratificación provoca que la reacción de carga/descarga no se produzca con la misma eficiencia en toda la superficie de los platos, lo que se traduce en un funcionamiento no adecuado y en una merma de la eficiencia.

7.5.1. Selección de las baterías

- Baterías de ciclado profundo o estacionaria frente a baterías de arranque: para aplicaciones remotas de energía, generalmente se recomienda las baterías de ciclado profundo. Están diseñadas para descargarse hasta un 20-50 % del estado de carga (profundidades de descarga entre el 80 y el 50 %). Las baterías de ciclado no profundo, como las baterías de los coches, generalmente no se recomiendan, aunque se usen en pequeños sistemas FV debido a la falta de cualquier otra alternativa.



- Baterías estacionarias frente a baterías de válvula regulada: las baterías estacionarias tienen sus placas sumergidas en un líquido electrolito y requieren un llenado periódico con agua destilada. Por el contrario en baterías de válvula regulada o sellada, el electrolito están en forma de pasta o contenido dentro de fibra de vidrio.

7.5.1.1. Baterías seleccionadas

La función de la batería será la de almacenar la energía aportada por los dos generadores (eólico y fotovoltaico) se tendrá en cuenta en el facto de selección las dimensiones, ya que dependiendo del consumo que se quiera dar en la casa, saldrá un dimensionado más o menos grande. Se seleccionan las baterías de la casa BAE SECURA, haciendo también uso de los tapones de AquaGen, que recombinan los gases que expulsan las baterías durante su periodo de carga.

BAE SECURA modelo 9 PVS 1350

Capacidad (100 h)	1300 Ah
Tensión nominal	2 V
Resistencia interna	0,33 mΩ
Corriente de cortocircuito	6,2 A
Peso	75,4 Kg
Ancho	215 mm
Fondo	235 mm
Alto	710 mm

Tabla. Características de las baterías BAE SECURA modelo 9 PVS 1350



Figura. BAE SECURA modelo 9 PVS 1350

7.6. APOORTE DE LA INSTALACIÓN EÓLICA Y FOTOVOLTAICA

Una vez obtenido los datos del viento y de radiación solar estableceremos el reparto de energía a producir por cada tecnología, dependiendo del consumo que se realice en la casa (el consumo estudiado ya se encuentra tabulado).

Energía eólica (E_{TE})	1500 W·h
Energía fotovoltaica (E_{TF})	4825,95 W·h
Energía total a satisfacer ($E_{CONSUMO}$)	6325,95 W·h

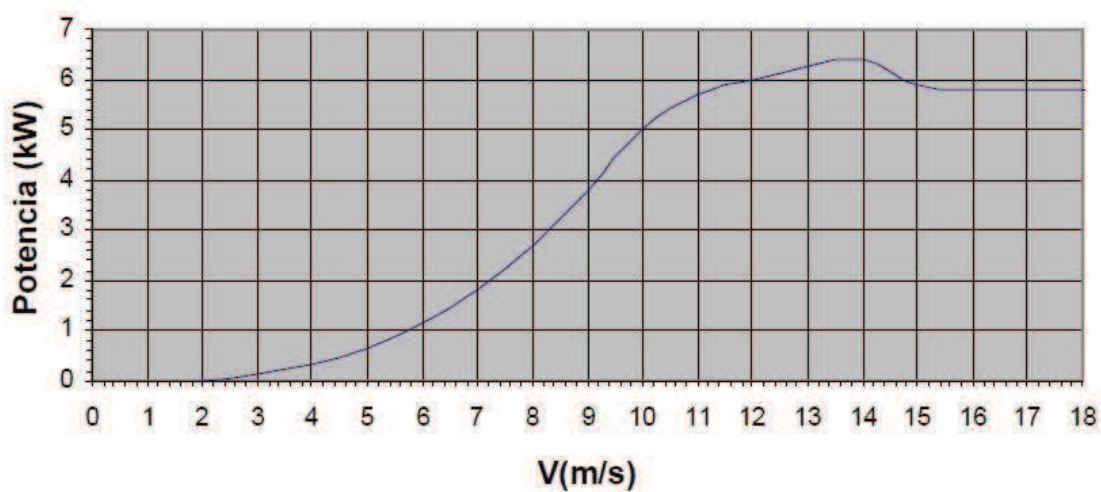


8. RESULTADOS FINALES

8.1. GENERADOR EÓLICO

El aerogenerador (mini aerogenerador) seleccionado es el Inclín 6000 de la casa Bornay, siendo su curva ya tabla de potencias las siguientes:

CURVA DE POTENCIA INCLIN-6000



P real (W)	Viento (m/s)
0	1
0	2
140	3
340	4
670	5
1160	6
1810	7
2710	8
3820	9
5000	10
5700	11
6000	12
6250	13
6400	14
5900	15
5800	16
5800	17
5800	18
0	19

Tabla. Tabla de potencias eólicas



La energía que podemos captar del viento es proporcional al cubo de su velocidad, esto es, cuando la velocidad del viento se duplica, la potencia que podemos producir con un aerogenerador se hasta ocho veces superior. Por ello, nos interesa instalar el aerogenerador en un lugar donde el viento sople con la mayor velocidad y constancia posibles.

El lugar idóneo para un aerogenerador es una zona libre de obstáculos y lo más alto posible respecto de los obstáculos si los hubiera.

Para ello nos servimos de la rosa de los vientos correspondiente a los datos climatológicos que aparece en el apartado 4.2. de ésta memoria diciendo la orientación sureste como inicial ya que será la dirección preferente de los vientos de la zona. Estará situado a 25 m de fachada de la vivienda. Se detalla su ubicación en planos adjuntos.

El aerogenerador dispone de un sistema de frenado automático por inclinación.

Se colocará el aerogenerador sobre una torre independiente y a cierta distancia de la vivienda para evitar que esta pueda provocar turbulencias. El anclaje de la torre se realizará según el tipo de torre que se vaya a instalar, siempre sujeta al suelo en una cimentación de hormigón enterrado en su mayor parte. En todo momento se debe de comprobar que la torre quede totalmente vertical.



Figura. Ubicación ideal del aerogenerador

Para una mayor seguridad eléctrica es recomendable la instalación de una placa toma-tierra conectada a la base de la torre. Debemos asegurar que no existan objetos que puedan alcanzar el radio de las hélices, y que ninguna parte de la hélice pueda rozar con otra parte del molino. Entre la hélice y la torre de sujeción debe de haber una distancia mínima de 20 cm.

El regulador es el encargado de proteger las baterías de sobrecargas excesivas. Cualquier equipo de producción eléctrica que pueda sobrecargar excesivamente la batería, requiere un regulador de carga. Con su uso prolongamos la vida de la batería.

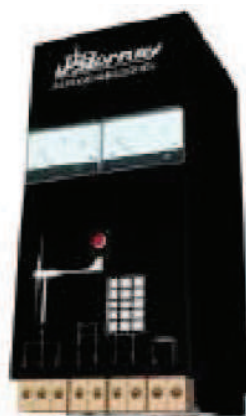


Figura. Regulador Inclín-6000

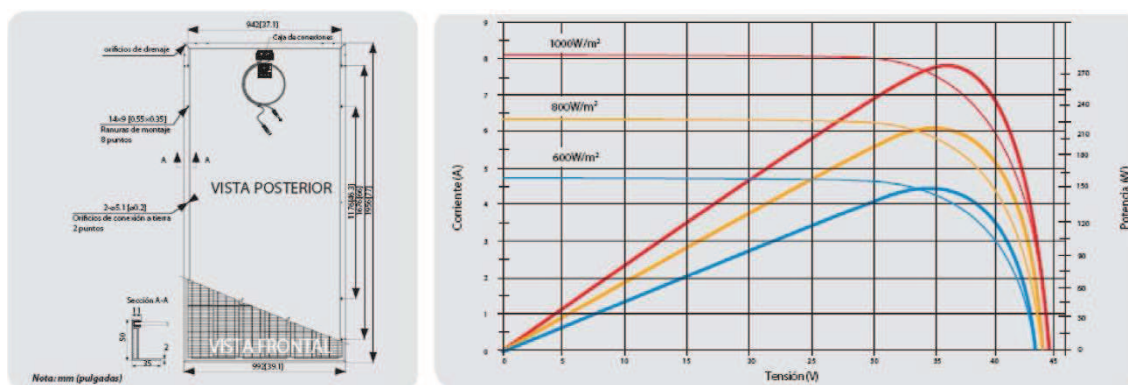
8.2. PANEL FOTOVOLTAICO

El módulo fotovoltaico seleccionado, indicado en el apartado 7.2.1.1. está diseñado para generar corriente eléctrica a partir de los rayos solares, incluso con bajos niveles de radiación. Sus niveles de tensión de salida están preparados para cargar una batería de 24V a través de sus 72 células de silicio policristalino.

Pueden conectarse en serie, permitiendo tensiones mayores como las habituales de 48 V o 120 V. Se instalarán un total de **12 paneles**, 6 ramas en paralelo de 2 módulos en serie. Teniendo un total de **3120 Wp instalados** con una tensión del sistema de 48 V.

El anclaje a los diferentes tipos de estructuras es similar al utilizado en casi todas las gamas de paneles fotovoltaicos existentes en el mercado.

Las 72 células de silicio policristalinas pueden trabajar en sistemas tanto aislados como de conexión a red. Este modelo dispone de 3 diodos “by-pass” Schottky (9 A, 45 ζ).





8.3. MÓDULOS DE GESTIÓN DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

8.3.1. Módulo regulador fotovoltaico

Se instalará el regulador Power Tarom 4110, de Steca de características detalladas en apartado 7.2.2.1. Se utiliza para alimentación eléctrica fotovoltaica (compatible con sistemas híbridos) de baterías en aplicaciones dentro de los sectores domésticos, comercial y pequeñas explotaciones.

El regulador solamente es apropiado para el control de módulos solares. La batería siempre puede cargarse mediante una fuente diferente, cuando se dispone de una función de carga apropiada.

Para una medición de la corriente por parte del regulador se deben de instalar “shunts” de alta intensidad que pueden incorporarse en las líneas de generadores auxiliares y de cargas, de forma que el regulador también pueda calcular las condiciones de carga (SOC) cuando la batería se carga desde otras fuentes (generador eólico, diesel, etc.), o cuando a la batería se conectan directamente cargas fuertes (rectificadores de alterna).

De esta forma, el shunt determina la corriente y comunica la correspondiente información digital al regulador.

La solución de pareja de “shunts” permite la medida diferenciada y la indicación de las corrientes de carga y de descarga. Para ello, todas las corrientes de carga, a excepción de las que atraviesan el regulador, deben circular por un “shunt”.



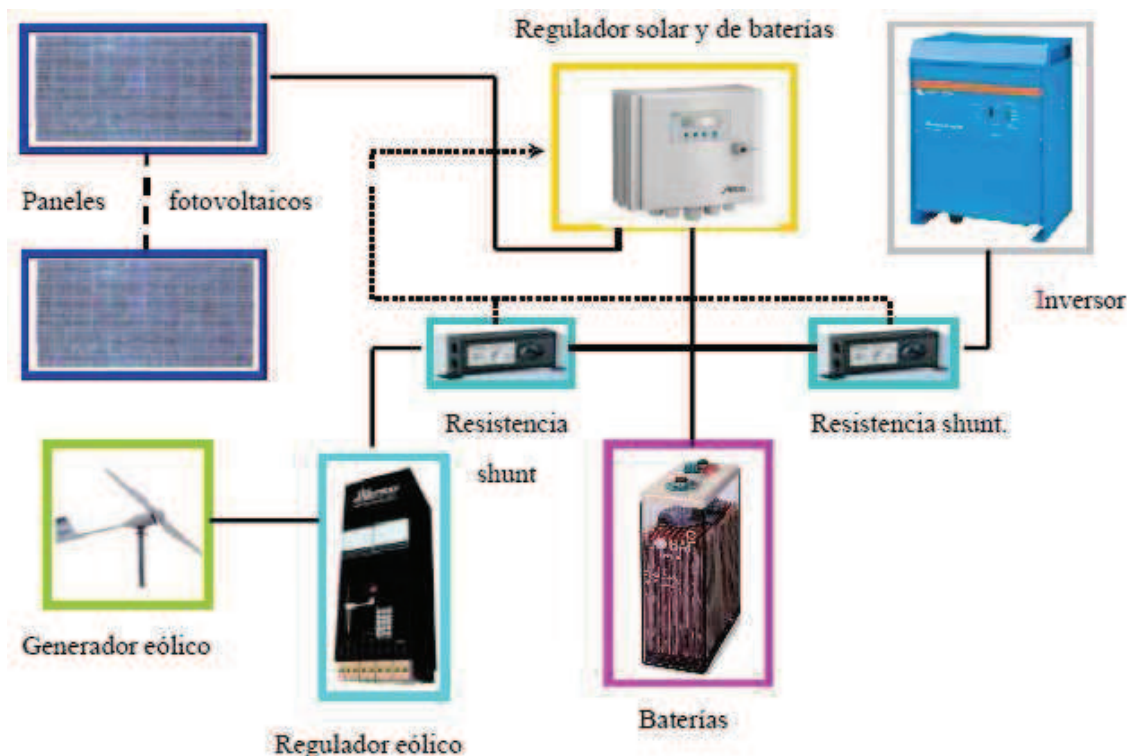
Figura. Resistencia Shunt

Todas las corrientes que circulan por los reguladores de carga son medidas por un cálculo exacto del estado de carga de la batería. Sin embargo, hay corriente que no son medidas por los reguladores de carga, ya que puede haber inversores



conectados directamente a la batería o generadores de apoyo que alimentan la batería directamente.

El “shunt” mide estas corrientes a través de su efecto “Hall” y transmite estos valores de forma digital al regulador.



El regulador del sistema proporciona la vigilancia de las condiciones de carga de la batería y controla el proceso, junto con la conexión y la desconexión de las cargas alimentadas (SOC “State of charge”). De esta forma se aprovecha en condiciones óptimas la batería, y se prolonga considerablemente su vida útil.

El regulador del sistema está concebido inicialmente para baterías de plomo con electrolito líquido, pero puede convertirse para acumuladores de electrolito solidificado (baterías de flujo o de gel). El regulador de sistema puede utilizarse con todos los tipos de módulos solares.

En el regulador puede ir conectado un “logger” externo de datos para registrar los parámetros más importantes del sistema que pueden ser transmitidos a un PC a través de una “interface”. Tanto la frecuencia de registro como la cantidad de parámetros pueden seleccionarse libremente para determinar el espacio de memoria. Además, el “logger” de datos dispone de dos entradas analógicas que



permiten el registro de parámetros no disponibles en el regulador (velocidad de viento, temperatura del módulo, solarímetro, etc.).



Figura. Logger

El registrador de datos Steca PA Tarom se conecta al regulador de carga Tarom. Este accesorio está disponible en diferentes versiones: como simple interfaz serie RS232 (PA Tarom 01) para registrar y sacar datos directamente a un PC u ordenador portátil o para registrar y transmitir remotamente a través del módem analógico (PA Tarom RM) o módem GSM (PA Tarom GSM) incorporado para la monitorización remota. (El programa para ordenador se incluye con el “logger”).

8.4. BATERÍAS

Se dispondrán **24 elementos en serie de 2 V**, BAE SECURA modelo 9 PVS 1350, de las características señaladas en el apartado 7.5.1.1., 8 teniendo una **tensión total del sistema de 48V** y una capacidad total de $C_{100} = 1300 \text{ A} \cdot \text{h}$. Los elementos de 2V vienen preparados para su uso inmediato. Las placas positivas y tubulares garantizan una larga vida de servicio de la batería, más de 12 años con un 20 % de descarga diaria. La reserva electrolítica y el sistema de recombinación con tapón “AquaGen” prolongan los intervalos de mantenimiento de 5 a 10 veces. Al ser recipientes transparentes se puede verificar visualmente las condiciones del elemento. Con menos del 2 % en antimonio el valor de auto descarga es inferior al 3 % mensual.

El sistema “AquaGen” recombina los gases de la batería a agua. El tapón de cierre con catalizador recombina el hidrógeno y el oxígeno (gas explosivo) a agua. Estos gases resultan de la descomposición electrolítica del agua durante la carga de la batería, especialmente en la fase de sobrecarga, a partir de un voltaje del elemento de aproximadamente 2 V a 4 V. El volumen resultante del gas explosivo es proporcional a la corriente. Sin embargo se requieren diferentes tapones recombinadores para diferentes intensidades de corriente de gaseado.



PROYECTO FIN DE CARRERA
Titulación: Ingeniero Técnico industrial
Especialidad: Electricidad
Alumno: Francisco Javier Márquez Martín

ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA



En Sevilla, Junio de 2015

Francisco Javier Márquez Martín

Ingeniero Técnico Industrial

PROYECTO FIN DE CARRERA INSTALACIÓN HÍBRIDA FOTOVOLTAICA-EÓLICA PARA
VIVIENDA AISLADA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE MARCHENA (SEVILLA)