



TÍTULO

SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA CASA DE CAMPO EN COLMENAR (MÁLAGA, ESPAÑA)

AUTOR

Pablo Jesús Trujillo Serrano

Tutora Investigación
Curso

ISBN

©

©

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2010

M^a Carmen Alonso García

**POP Tecnología de los Sistemas de Energía Solar
Fotovoltaica (2008/2009)**

978-84-693-3768-4

Pablo Jesús Trujillo Serrano

Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 2.5 España.

Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
 - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
 - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
-
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
 - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
 - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*

Universidad Internacional de Andalucía



TRABAJO FIN DE MÁSTER

**SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA CASA DE
CAMPO EN COLMENAR, MÁLAGA**

**MÁSTER OFICIAL “TECNOLOGÍA DE LOS SISTEMAS DE
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”**

Málaga, 2009

Realizado por: Pablo Jesús Trujillo Serrano

Tutora: M^a Carmen Alonso García

[Esta página ha sido dejada intencionadamente en blanco]

ÍNDICE

	<u>Página</u>
1. Introducción	5
1.1. Objetivos del proyecto	5
1.2. Contenido de la memoria	6
1.2.1. Introducción	6
1.2.2. Los sistemas fotovoltaicos autónomos	6
1.2.3. Especificación de requisitos	6
1.2.4. Dimensionado	6
1.2.5. Planos	7
1.2.6. Planificación del proyecto	7
1.2.7. Presupuesto	7
1.2.8. Sistema fotovoltaico autónomo y sistema de combustión fósil	7
2. Los sistemas fotovoltaicos autónomos	8
2.1. Introducción	8
2.2. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos autónomos	10
2.3. Los sistemas fotovoltaicos autónomos domésticos	15
2.4. El módulo fotovoltaico	17
2.4.1. Silicio cristalino	18
2.4.2. Capa fina	20
2.4.3. Concentración	22
2.4.4. Comparativas de precios	24
2.5. El acumulador	26
2.6. El regulador	27
2.7. El inversor	28
2.8. Métodos de dimensionado	28
2.9. Normativa y legislación	29
3. Especificación de requisitos	31
3.1. Localización	31
3.2. Consumo	31
4. Dimensionado	33
4.1. Introducción	33
4.2. Datos de radiación	33
4.3. Diseño previo	37
4.4. Elección de componentes	42
4.4.1. Elección del módulo	42
4.4.2. Elección de la batería	43
4.4.3. Elección del regulador	43
4.4.4. Elección del inversor	46
4.5. Introducción de los componentes en la base de datos	48
4.6. Dimensionado	50
4.6.1. Simulación	50
4.6.2. Cableado	52

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

4.7.	Resultados de la simulación	55
4.8.	Seguridad y protecciones	57
4.8.1.	Medidas de protección del generador fotovoltaico	58
4.8.2.	Medidas de protección de las baterías	58
4.8.3.	Medidas de protección del inversor	59
4.8.4.	Conexión a tierra	60
4.9.	Caseta para equipos	61
4.10.	Estructura de fijación de módulos	62
5.	Planos	63
5.1.	Índice	63
5.2.	Situación y emplazamiento	63
5.3.	Esquema unifilar	65
5.2.1.	Parte DC	65
5.2.2.	Parte AC	66
5.4.	Estructura de módulos	66
5.5.	Caseta	67
5.6.	Distribución en planta de los componentes	69
6.	Planificación del proyecto	70
6.1.	Introducción	70
6.2.	Diagramas y análisis de red	70
7.	Presupuesto	72
7.1.	Introducción	72
7.2.	Precios de construcción	72
7.3.	Precios de instalación eléctrica	73
7.4.	Descomposición de precios en tareas	73
8.	Sistema fotovoltaico autónomo y sistema de combustión fósil	74
8.1.	Introducción	74
8.2.	Coste de operación de los sistemas de combustión fósil	74
9.	Bibliografía	76
	Índice de tablas	79
	Índice de figuras	80

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1-Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para una casa de campo situada en el término municipal de Colmenar, en la provincia de Málaga.

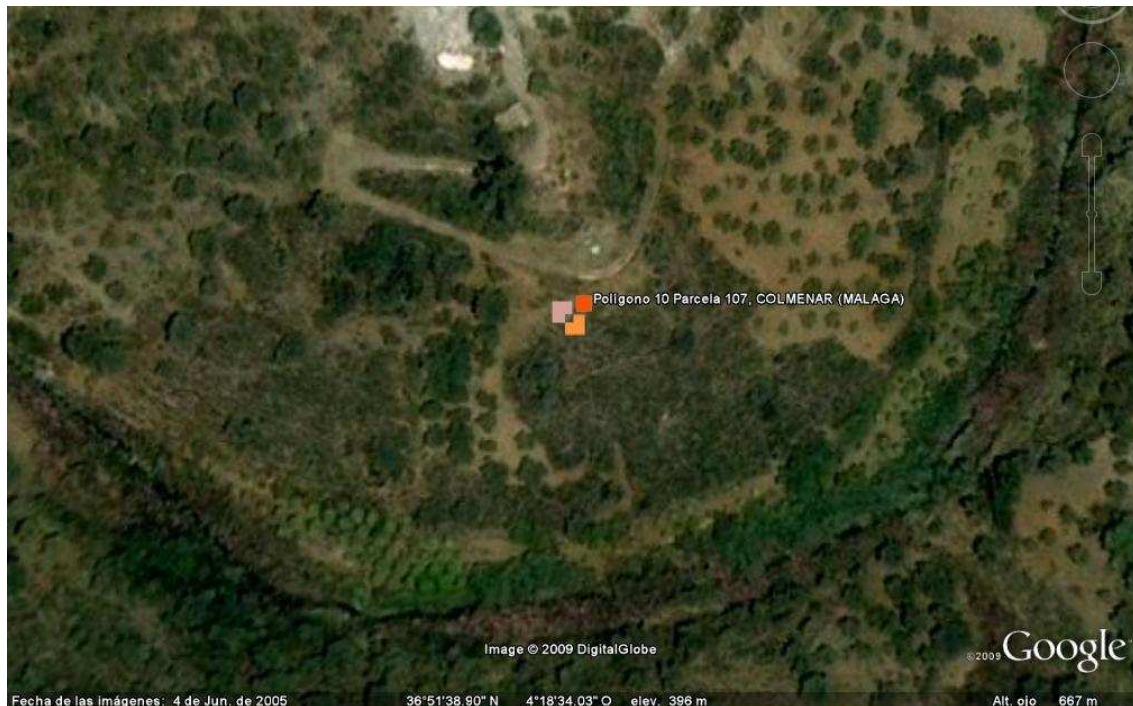


Fig 1.1 Aspecto y situación de la parcela donde se encuentra la casa a electrificar

Adicionalmente, al ser éste un proyecto académico, se hará un estudio sobre el estado actual, tanto de la tecnología de sistemas fotovoltaicos autónomos cómo de las técnicas de dimensionado de éstos. Para concluir, se realizará una comparación con un sistema que realice la misma función pero haciendo uso de combustibles fósiles, haciendo especial hincapié en el período de amortización del sistema fotovoltaico autónomo.

1.2-Contenido de la memoria

1. Introducción
2. Los sistemas fotovoltaicos autónomos
3. Especificación de requisitos
4. Dimensionado
5. Planos
6. Planificación del proyecto
7. Presupuesto
8. Sistema fotovoltaico autónomo y sistema de combustión fósil.

1.2.1-Introducción

En este capítulo se describen brevemente los objetivos de la memoria en el primer apartado y, a continuación, se hace una descripción de cada uno de los capítulos que forman la memoria.

1.2.2-Los sistemas fotovoltaicos autónomos

En este apartado se realiza un estudio sobre el estado actual de los sistemas fotovoltaicos autónomos tanto desde el punto de vista de las tecnologías utilizadas, tanto como de los métodos de dimensionado.

1.2.3-Especificación de requisitos

En este apartado se presentan los datos de consumo de la casa a alimentar mediante el sistema fotovoltaico.

1.2.4-Dimensionado

A partir de los datos de consumo especificados en el apartado anterior, se dimensionará el sistema para que pueda abastecer la casa de electricidad.

1.2.5-Planos

En este apartado se incluirán los planos de la instalación.

1.2.6-Planificación del proyecto

En este apartado se realizará la planificación de los trabajos de instalación.

1.2.7-Presupuesto

En este apartado se calcularán los costes tanto de equipos como de los trabajos de instalación.

1.2.8-Sistema fotovoltaico autónomo y sistema de combustión fósil

En este apartado se realizará una comparación con un sistema que realice la misma función pero haciendo uso de combustibles fósiles, haciendo especial hincapié en el período de amortización del coste del sistema fotovoltaico autónomo, teniendo en cuenta la inversión inicial de ambos sistemas y el gasto de combustible.

CAPÍTULO 2

LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS

2.1-Introducción

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red, no necesitan de baterías, ya que tienen la propia red, con otro tipo de centrales, como reserva para los momentos en los que ellos no generen electricidad, por lo tanto, son más baratos que los sistemas fotovoltaicos autónomos. Sin embargo, estos sistemas conectados a red tienen que competir con fuentes más baratas, el kWh cuesta un máximo de 15 céntimos (fuente 8 (Endesa)), por lo tanto, no tiene mucho sentido sin subvenciones. Sin embargo, los sistemas fotovoltaicos autónomos compiten con generadores de gasoil ó gasolina, con el alto precio que tienen estos combustibles en la actualidad y las molestias que pueden ocasionar en forma de ruidos, humos y malos olores. Los sistemas fotovoltaicos autónomos son especialmente apreciados en zonas aisladas, ya que llevar la red eléctrica a estos puntos cuesta varios miles de euros por km.

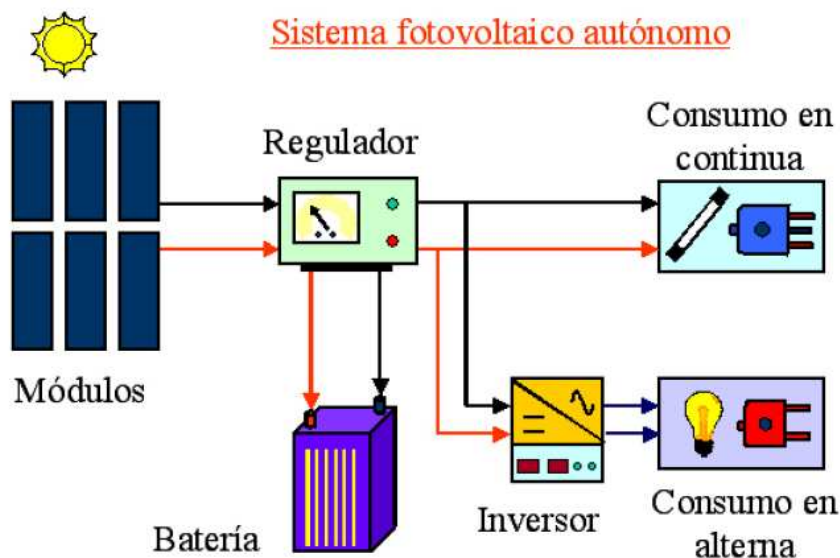


Figura 2.1. Esquema típico de un sistema fotovoltaico autónomo (fuente 9)

Además de aplicaciones como generar la electricidad necesaria para alimentar el consumo doméstico de una casa aislada ó un sistema de bombeo, los sistemas autónomos tienen otras aplicaciones como sistemas de telecomunicaciones (por ejemplo, teléfonos de emergencia en carreteras), sistemas de iluminación, estaciones

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

meteorológicas y, un largo etcétera. También son la fuente de energía de de satélites, algunos vehículos eléctricos, tanto coches como barcos.

Un punto a favor de estos sistemas es la fiabilidad y el bajo mantenimiento que es necesario. Para los paneles suele bastar con limpiar su cara frontal con cierta frecuencia. Las baterías son el punto más delicado de estos sistemas, incluso haciéndose necesaria su sustitución cuando su capacidad se reduzca notablemente.

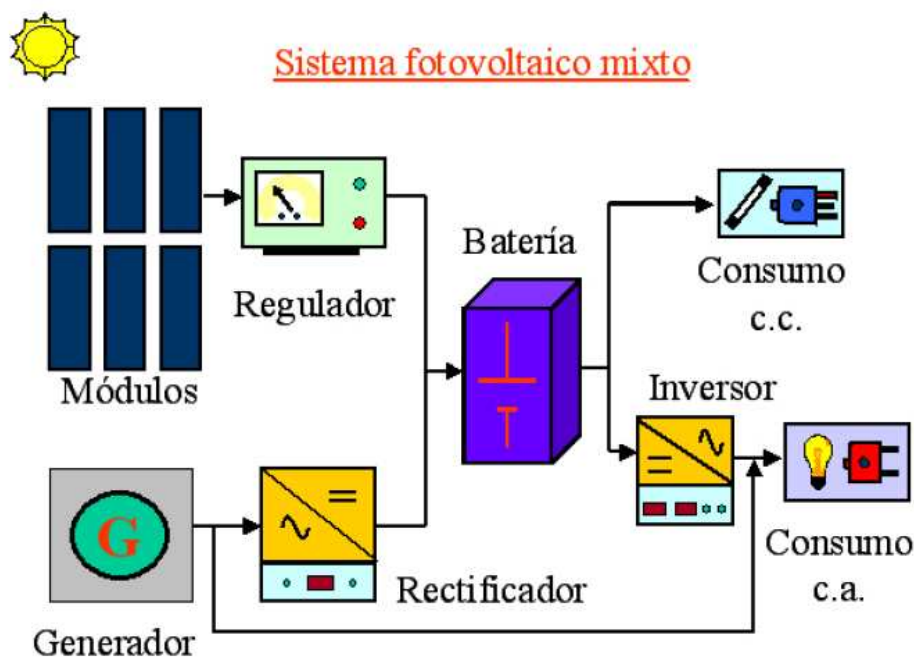


Figura 2.2. Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo híbrido (fuente 9)

Los sistemas fotovoltaicos autónomos pueden hacer uso de otro generador para complementarlo. En tal caso se habla de sistemas híbridos. Estos otros generadores pueden ser un sistema eólico ó un generador que use combustible fósil. Aunque podría usarse cualquier otro tipo de generador.

Centrándose en los sistemas domésticos, que son el objeto de este proyecto, se pueden dividir aún en más tipos, pero en este caso, se dividirán sólo en 2, si no se consideran los sistemas híbridos. Así pues, quedan los sistemas que a su salida entregan corriente continua y, los que entregan corriente alterna, gracias al uso de un inversor que realiza la conversión CC-CA. Los primeros son utilizados para pequeñas instalaciones, donde se cubre el consumo de pocas luminarias y quizás una radio ó un pequeño televisor, son los sistemas que se instalan en los países en vías de desarrollo. Sin

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

embargo, los segundos, permiten alimentar electrodomésticos con un consumo mayor como una lavadora.

2.2-Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos autónomos

Como ya se adelantó en la introducción de este capítulo son múltiples las aplicaciones de estos sistemas. En el libro “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”, se hace una clasificación, bastante acertada, de los posibles usos de los sistemas fotovoltaicos autónomos (ver figura siguiente).

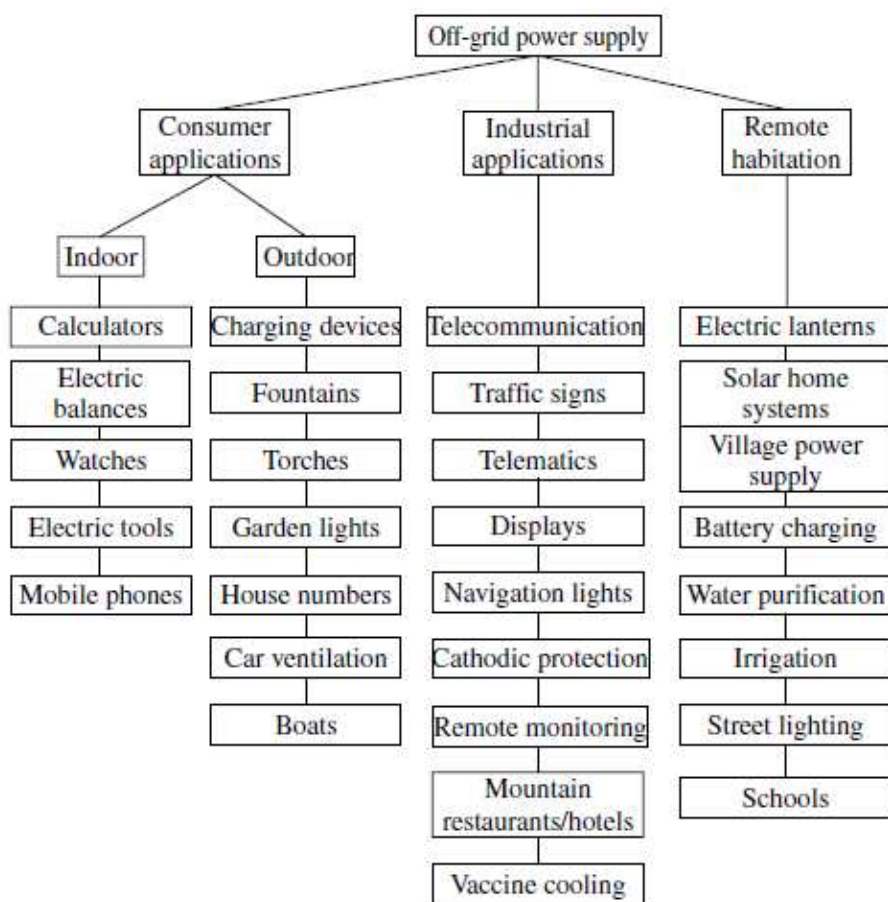


Fig 2.3. Clasificación de los usos de los sistemas fotovoltaicos autónomos (fuente 3)

Un uso que lleva mucho tiempo siendo factible comercialmente es el uso de la energía solar para alimentar pequeños aparatos electrónicos, como calculadoras. En la figura siguiente se pueden ver 2 ejemplos, a la izquierda una calculadora completamente autónoma, sólo necesita de energía solar para su funcionamiento y, a la derecha otra calculadora que tiene una batería de backup, para cuando la intensidad lumínica no sea suficiente para alimentar la calculadora.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”



Fig 2.4 Calculadora solar (autónoma)



Fig 2.5 Calculadora solar (híbrida)

Otros pequeños sistemas fotovoltaicos son los, recientemente aparecidos en el mercado, cargadores de móviles solares, que permiten recargar un poco la batería del móvil para seguir teniéndolo operativo ó cargarlo completamente. Esto es útil cuando se utiliza el teléfono móvil durante mucho tiempo lejos de fuentes de electricidad.



Fig 2.6 Cargador de teléfono móvil solar

Una aplicación más importante es la de los teléfonos de emergencia en carreteras. El sistema fotovoltaico autónomo alimenta un sistema telefónico por radiofrecuencia, que permite la instalación de este teléfono sin necesidad de infraestructura dedicada (fuente 16).

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”



Fig 2.7 Teléfono de emergencia “ETP-MT/R OPT SOLAR” (fuente 16)

La aplicación en vehículos, puede ser de 2 tipos, por un lado, para alimentar los aparatos electrónicos que se encuentren en su interior ó para alimentar el motor que mueve el vehículo. Como ejemplo de lo primero, está el experimento que realizó el departamento de electrónica de la universidad de Jaén (fuente 10), colocando un sistema fotovoltaico autónomo para alimentar una UVI móvil. La conclusión fue que sólo tenía que recargarse en diciembre, cuando la radiación es menor. Aumentó, de este modo su autonomía, faltando sólo 1,5 Ah en el mes de diciembre. Además, este sistema sólo supuso un 2,5% del coste total del vehículo.



Fig 2.8 UVI móvil con sistema fotovoltaico autónomo (fuente 10)

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

El otro tipo de vehículos que incorporan un sistema fotovoltaico autónomo lo hacen para alimentar el motor que mueve el propio vehículo. Desde hace muchos años se han venido haciendo carreras, con distancias de miles de kilómetros, para demostrar que estos vehículos tienen cierta autonomía. Por ejemplo, en “The Global Green Challenge” (fuente 11) los participantes recorren 3000 km. En esta competición se muestran otro tipo de vehículos ecológicos, por lo que se pueden comparar resultados de distintas tecnologías. Otra carrera, sólo para coches solares es “The American Solar Challenge” (fuente 12).



Fig 2.9 Coche de carreras solar

Lejos de las carreras también hay vehículos que se mueven con energía solar, cómo el coche de golf que se muestra en la siguiente figura.



Fig 2.10. Coche de golf solar

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Este coche tiene una autonomía de 90 kilómetros y, una velocidad máxima de 35 Km/h, a un precio de 3500\$ (fuente 13).

También existen barcos solares, que no contaminan el mar y permiten pasear sin los molestos ruidos de un motor de combustión. Estos barcos son ya una realidad para su uso recreativo (fuente 14) y, se está probando para transporte de viajeros y mercancías en distancias más largas, sobretodo en barcos híbridos (fuente 15). Para uso recreativo, se consigue, para el modelo “Solemar 60” una velocidad máxima de 6 nudos y, una autonomía de 150 horas con un generador fotovoltaico de 4,8 kW (ver siguiente figura). Sin embargo, el “Auriga Leader”, con un generador fotovoltaico de 40 kW, sólo genera el 0,3% de la energía necesaria para el motor y el 7% de la electricidad que necesita para iluminación y otros fines, ya que su peso es de más de 60000 toneladas.



Fig 2.11. Barco de paseo solar

La utilización de sistemas fotovoltaicos autónomos en el espacio, es muy anterior a todas estas aplicaciones que se han expuesto anteriormente, ya en 1958 el satélite “Vanguard I” fue lanzado al espacio, con 2 transmisores de radio, uno alimentado por una batería, que funcionó durante sólo 20 días y, el otro alimentado por el sistema fotovoltaico (48 células de silicio), que estuvo operativo hasta 1964, cuando se cree que la circuitería del transmisor falló (fuente 3). Desde entonces, la gran mayoría de los satélites y vehículos espaciales incorporan un sistema fotovoltaico autónomo. Estos sistemas tienen la ventaja respecto a los que se instalan en la tierra de que la radiación no depende de los ciclos día y noche.

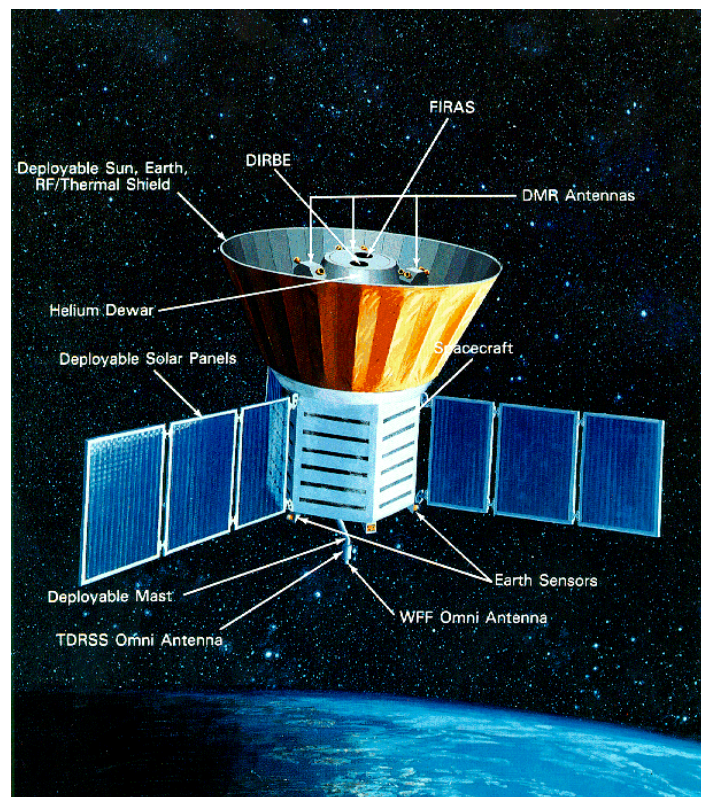


Fig 2.12. Ilustración de satélite con paneles solares

Pero no sólo los satélites utilizan la energía solar para obtener la energía necesaria para su consumo, vehículos exploradores también la utilizan (ver figura siguiente). Este, concretamente, es de la misión Opportunity de la NASA en Marte.



Fig 2.13. Vehículo explorador de la superficie de Marte (misión Opportunity)

2.3-Los sistemas fotovoltaicos autónomos domésticos

Como ya se adelantó en la introducción de este capítulo, se centrará en los sistemas domésticos, concretamente en los que necesitan un inversor, ya que los

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

aparatos que tienen que alimentar trabajan en alterna. Sin embargo, como paso previo, se hablará de los sistemas fotovoltaicos autónomos sin inversor, para corriente continua, que suelen ser sistemas más pequeños.



Fig 2.14 Sistema fotovoltaico autónomo para una cabaña

Estos sistemas están compuestos, principalmente, por el generador fotovoltaico (uno ó más paneles fotovoltaicos), el sistema de acumulación (una ó más baterías) y, un regulador, que sirve para controlar los procesos de carga y descarga del acumulador, para proteger a éste, al generador y a los dispositivos que alimente el sistema fotovoltaico.

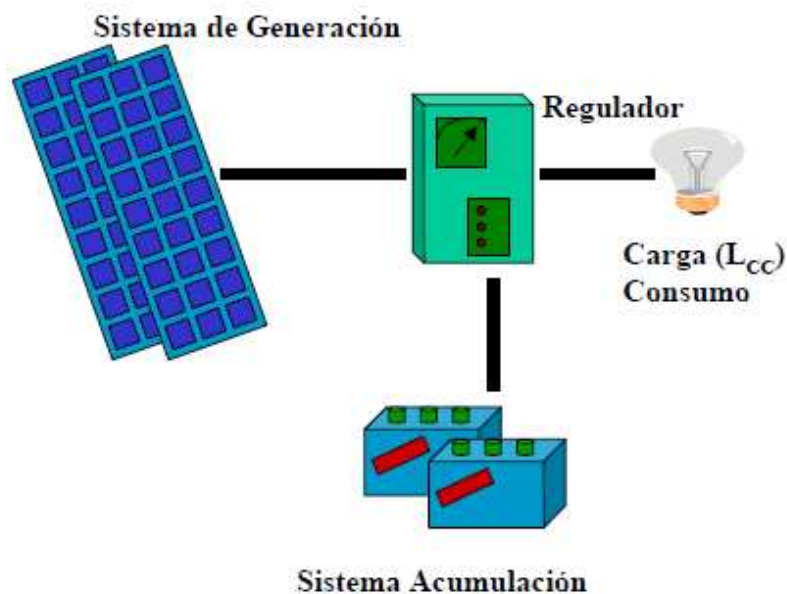


Fig 2.15 Sistema fotovoltaico autónomo para CC (fuente 18)

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

El relativamente bajo coste de estos sistemas, lo hace adecuado para usuarios con bajo poder adquisitivo. Sin embargo, los beneficios que aportan estos sistemas a dichos usuarios son muy valorados. Entre estos beneficios se incluyen, por ejemplo, poder alimentar bombillas, una radio ó incluso una pequeña televisión, ya sea en domicilios particulares, escuelas u hospitales. Pero, estos beneficios no se quedan aquí, estos sistemas pueden alimentar también neveras para conservar medicinas ó alimentos.

El otro tipo de sistema fotovoltaico autónomo que se presenta, alimenta dispositivos que funcionan con corriente alterna y, tiene un tamaño, normalmente, mucho mayor que el anterior, ya que tiene que abastecer un mayor número de dispositivos con un consumo también mucho mayor, como una lavadora (ver figura siguiente). Estos sistemas pueden tener una capacidad y fiabilidad tal, que se podrá llegar a tener el consumo de una vivienda normal conectada a la red eléctrica.

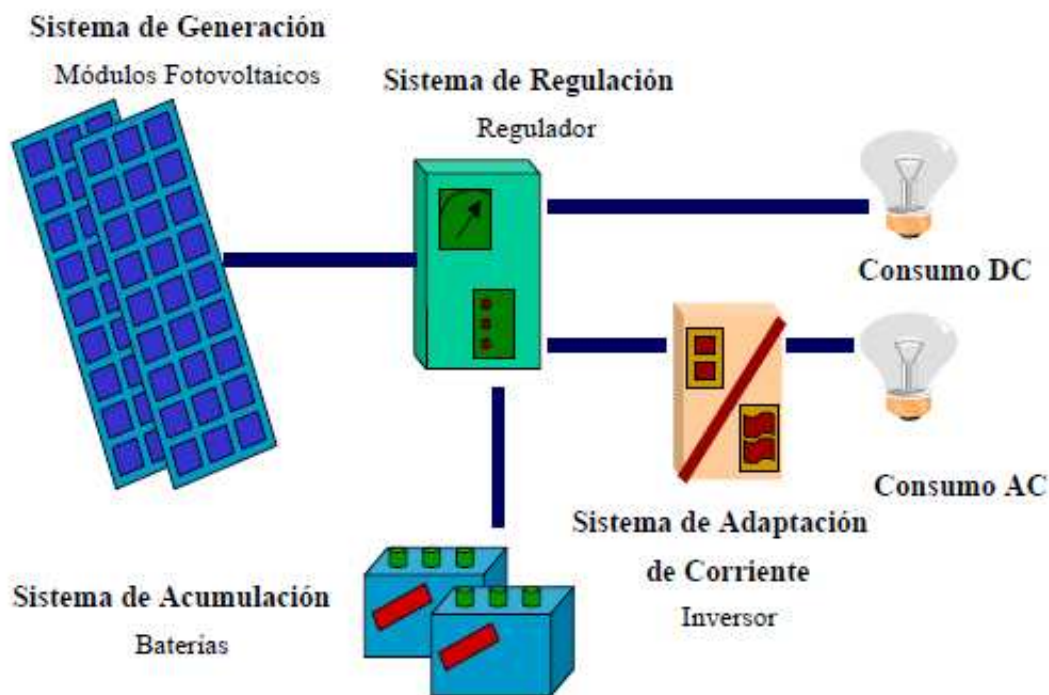


Fig 2.16. Sistema fotovoltaico autónomo para CA (fuente 18)

2.4-El módulo fotovoltaico

Existen diversas alternativas en el mercado que se pueden clasificar como sigue:

1. Silicio cristalino
 1. Monocristalino
 2. Policristalino

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

2. Capa fina
 1. Silicio amorfo (flexibles o rígidos).
 2. Silicio microcristalino (en tándem con amorfo).
 3. CdTe (Teluro y cadmio)
 4. CIS (Cobre Indio Galio)
 5. CIGS (Cobre Indio Galio Selenio).
3. Concentración

2.4.1-Silicio cristalino

Son los módulos clásicos, los que llevan utilizándose y, normalmente, funcionando sin problemas en infinidad de aplicaciones. Se clasifican en función de sus células en monocristalinos y policristalinos. Estos 2 tipos de células se obtienen a partir de lingotes de silicio purificado (grado solar). La diferencia se encuentra en el proceso posterior, de cristalización. Mientras que para obtener silicio monocristalino se utiliza el método Czochralski, mediante el cual se pueden obtener unos 30 kg por cada crecedor en 16 horas, el silicio policristalino se obtiene mediante un procedimiento de fusión en bloque, produce en cada colada entre 250 y 300 Kg. Ambos procesos requieren de un gran gasto de energía, pero por el que se obtiene el silicio policristalino resulta más barato (fuente 19).

En el libro “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering” (fuente 3) se presenta una tabla que, aunque no está actualizada, sirve para comparar los costes de fabricación de los módulos de silicio monocristalino y policristalino. En el año 1990, se observa como el coste de fabricación de una célula de silicio policristalino era un 30% inferior al de una célula de silicio monocristalino. Si bien, esta reducción de coste no se veía reflejada en el precio del watio pico, debido a la menor eficiencia de las células de silicio policristalino (ver siguiente tabla).

Item	SX	MC
Pure Si	38	38
Ingot formation	115	35
Sawing	77	77
Wafer cost	230	150
Cell fabrication	80	80
Total components	310	230
Yield	0.95	0.9
Cell cost	326	256
Module assembling	75	75
Lamination	75	75
Module cost (Euro m⁻²)	476	406
Efficiency	0.14	0.12
Module cost (Euro Wp⁻¹)	3.40	3.38

Tabla 2.1 Comparación de costes de módulos monocristalinos y policristalinos (fuente 3)

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

No se han encontrado, desglosado por procesos, datos más actuales. Sin embargo, parece interesante adelantar el precio actual del Wp de ambas tecnologías, obtenido del número de septiembre de 2009 de la revista PHOTON, concretamente de un estudio sobre la evolución los precios de los módulos de distintas tecnologías en el mercado alemán desde febrero a julio de 2009 (fuente 25). Como se puede ver en la siguiente tabla, el precio de ambas tecnologías sigue muy parejo después de 19 años, siendo el del panel monocristalino ligeramente inferior. Es interesante también el dato de que el precio del Wp es ahora ligeramente superior a la mitad del precio que había hace 19 años.

Tecnología	Precio (€/Wp)
Monocristalino	1,93
Policristalino	1,98

Tabla 2.2 €/Wp para módulos de células cristalinas (fuente 25)

Respecto al aspecto, a simple vista se pueden distinguir los módulos monocristalinos de los policristalinos (ver figura siguiente). Cómo se puede observar, los monocristalinos tienen sus células con un aspecto casi uniforme, mientras que en los policristalinos se pueden ver los distintos cristales.



Fig 2.17. Módulo monocristalino



Fig 2.18. Módulo policristalino

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Respecto a la eficiencia, se ha realizado una comparativa, con 2 módulos fabricados por BP solar, resultando el módulo monocristalino con 0,4% más de eficiencia.

Fabricante	Modelo	Tecnología	Potencia (W)	Área (m ²)	Rendimiento (%)
BP	BP 4175	Silicio monocristalino	175	1,25847	13,91%
BP	BP 3170	Silicio policristalino	170	1,25847	13,51%

Tabla 2.3. Comparación eficiencias monocristalino y policristalino (fuente 21)

2.4.2-Capa fina

Para reducir costes, se intenta reducir la cantidad de semiconductor utilizado, aprovechando sus propiedades.

Una célula plana, sólo con capa antirreflectiva, tiene su máxima absorción cuando su espesor es de 700µm pero, con un espesor de 300µm se llega a un valor sólo un 5% por debajo (Ver figura siguiente). Este fenómeno se utiliza en las células cristalinas mencionadas en el apartado anterior.

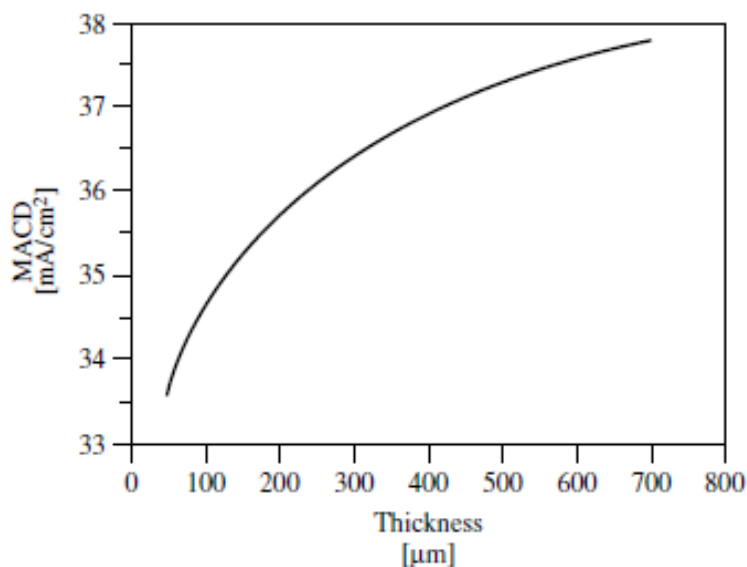


Fig 2.19 Máxima densidad de corriente alcanzable (Maximum achievable current density (MACD)) por una célula plana con capa antirreflectiva en función de su espesor (fuente 3)

La reducción del espesor de las células hace también reducirse la velocidad de recombinación dentro de la célula solar, lo que es una ventaja ya que el Voc de la célula y el FF mejoran (ver figura siguiente). Esta reducción es tal que, mientras una célula cristalina tradicional suele estar alrededor de las 400 µm, una célula de silicio amorfo es de 40 µm y, con el telurio de cadmio se llega a 4 µm.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

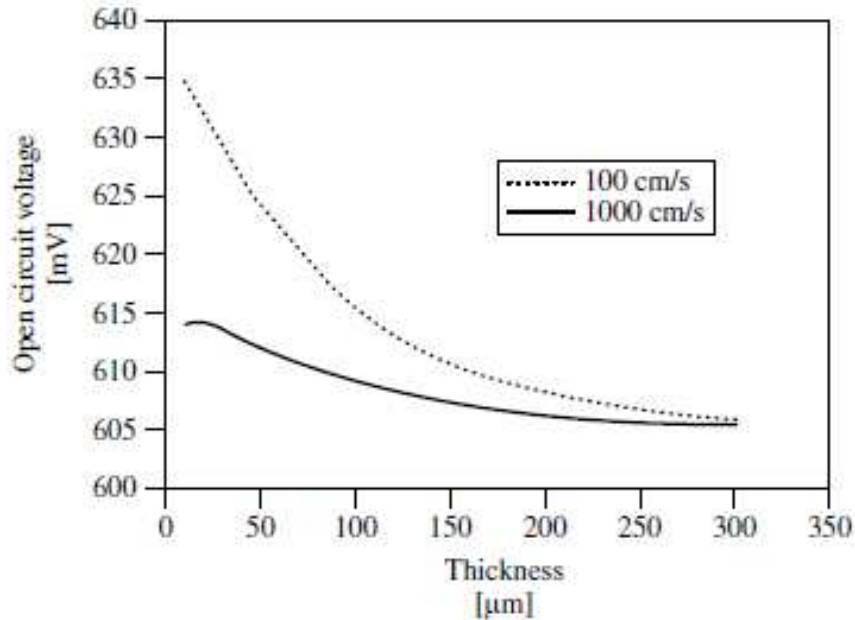


Fig 2.20 Voc Vs espesor de célula para 2 Corriente máxima generable por una célula plana con capa antirreflectiva, en función del espesor de la célula, para grandes y pequeñas velocidades de recombinación (fuente 3)

Pero, no todo es bueno al reducir el espesor, como ya se adelantó antes, la corriente fotogenerada es mucho menor que con espesores mayores, por lo tanto, es necesario diseñar la cara frontal de la célula de manera que sea capaz de “atrapar” la mayor cantidad de luz posible, funcionando así como si la célula tuviese un espesor mayor.

El principal problema que se ha encontrado al utilizar silicio amorfo para fabricar células de capa fina es la baja eficiencia de los módulos. Para mejorar esto se han desarrollado células con otros materiales semiconductores más eficientes. Todos se basan en el mismo proceso, depositar una capa fina de semiconductor sobre un soporte barato, pero al ser materiales distintos ó, en el caso del silicio microcristalino, otro estado del silicio, tienen distintas propiedades y se pueden comportar también de forma distinta.

Otro problema que se ha encontrado es el efecto denominado “Staebler–Wronski”, por el cual, la célula puede perder hasta un 30% de su eficiencia en las primeras 1000 h de exposición solar (para silicio amorfo). Se ha estudiado este efecto y, se han mejorado los procesos para reducir sus efectos lo máximo posible, sin embargo, sigue dando que pensar sobre la durabilidad de estos módulos.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”



Fig 2.21 Instalación de paneles de capa fina sobre tejado

Se ha realizado una comparativa de eficiencia de 3 de estas tecnologías. El silicio amorfo, como ya se comentó no tiene mucha eficiencia, un 5%. Sin embargo, las tecnologías CIS y TeCd, están sólo un 3%-4% por debajo de la eficiencia de los módulos cristalinos.

Fabricante	Modelo	Tecnología	Potencia (W)	Área (m2)	Rendimiento (%)
Unisolar	UNISOL PV - 40	Silicio amorfo	40	0,790575	5,06%
Avancis	Powermax 120	CIS	120	1,163456	10,31%
First solar	100270	Teluro de cadmio	72,5	0,72	10,07%

Tabla 2.4 Comparación eficiencias capa fina (fuentes 22, 23 y 24)

2.4.3-Concentración

En este caso, también se trata de reducir la cantidad de material semiconductor utilizado. Pero, en vez de reducir el espesor de las células, se reduce su tamaño, sustituyendo esa falta de material semiconductor por un sistema óptico que concentre la luz en una célula más pequeña (ver figura siguiente).

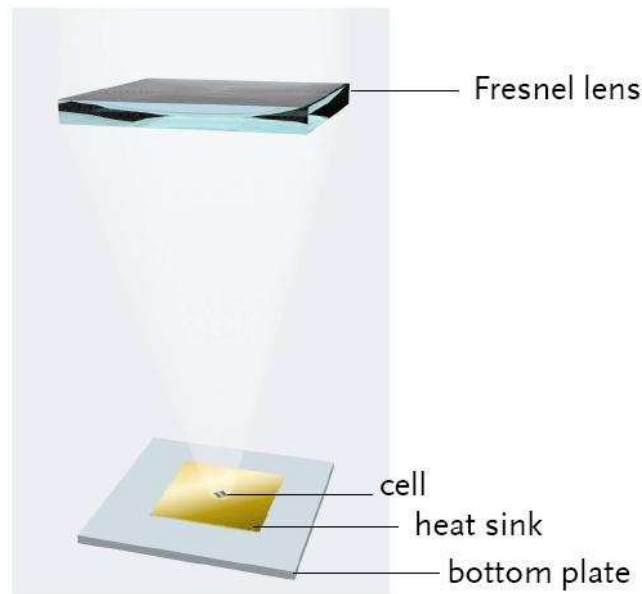
Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Fig 2.22 Tecnología del módulo FLATCON de la compañía Concentrix (fuente 20)

En función del nivel de concentración conseguido, la célula podrá ser hasta 1000 veces más pequeña que si no se utilizase un sistema óptico. De este modo, se pueden utilizar células más eficientes, por ejemplo, las que se utilizan en los satélites, con eficiencias cercanas al 40% que, al ensamblarse en un módulo pueden dar una eficiencia de módulo del 27% (módulo FLATCON de Concentrix, fuente 20).

El mayor problema de esta tecnología es que, al utilizar un sistema óptico, sólo aprovecha la componente directa de la radiación, por lo que requiere de un sistema de seguimiento, más o menos preciso, en función de la aceptación angular de dicho sistema. Debido a esto, su aplicación más común es en grandes centrales, ya que estos sistemas necesitan de cierto mantenimiento cualificado, ver figura siguiente.



Fig 2.23 Seguidores con módulos FLATCON de la compañía Concentrix (fuente 20)

2.4.4-Comparativas de precios

En el número de septiembre de 2009, la revista PHOTON, realiza un estudio de la evolución los precios de los módulos de distintas tecnologías en el mercado alemán desde febrero a julio de 2009 (fuente 25).

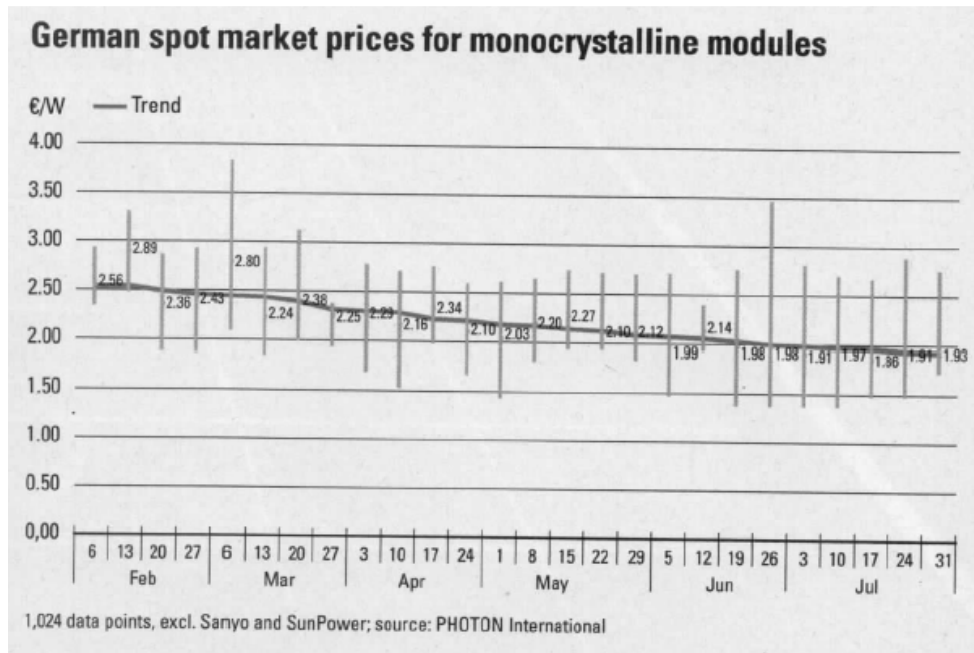


Fig 2.25 Evolución del precio €/Wp para módulos monocristalinos (fuente 25)

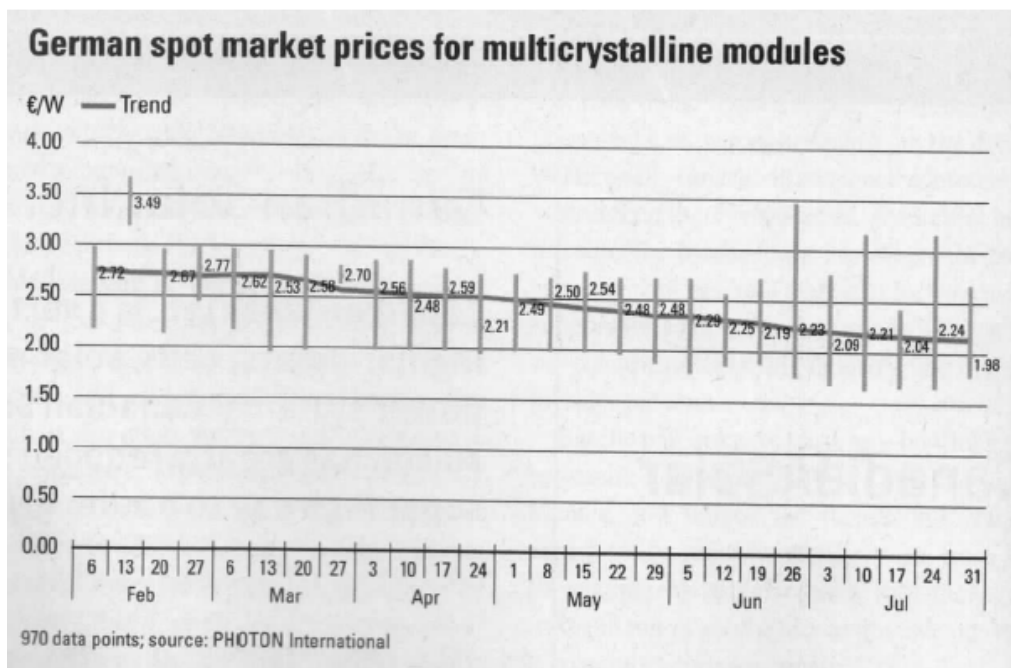


Fig 2.26 Evolución del precio €/Wp para módulos policristalinos (fuente 25)

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

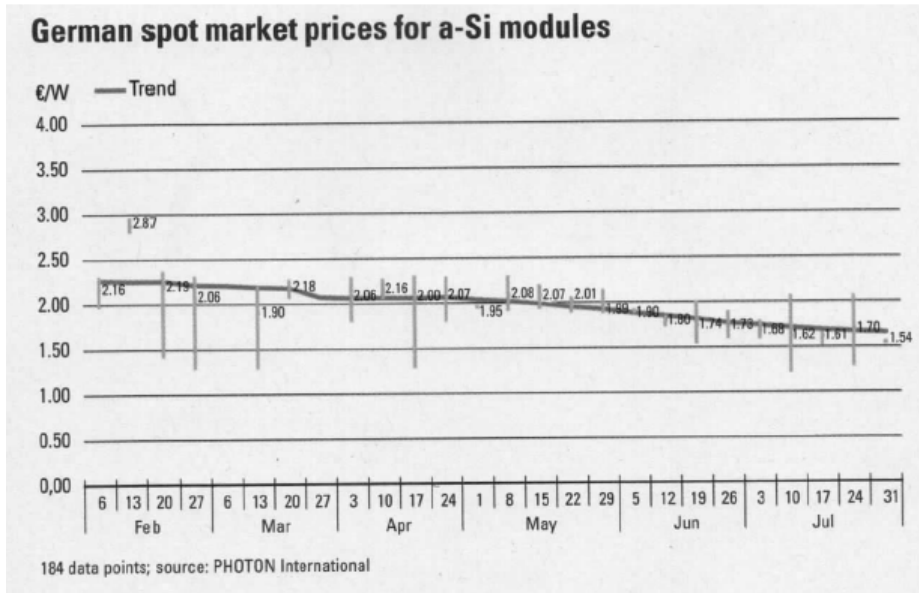


Fig 2.26. Evolución del precio €/Wp para módulos de silicio amorfo (fuente 25)

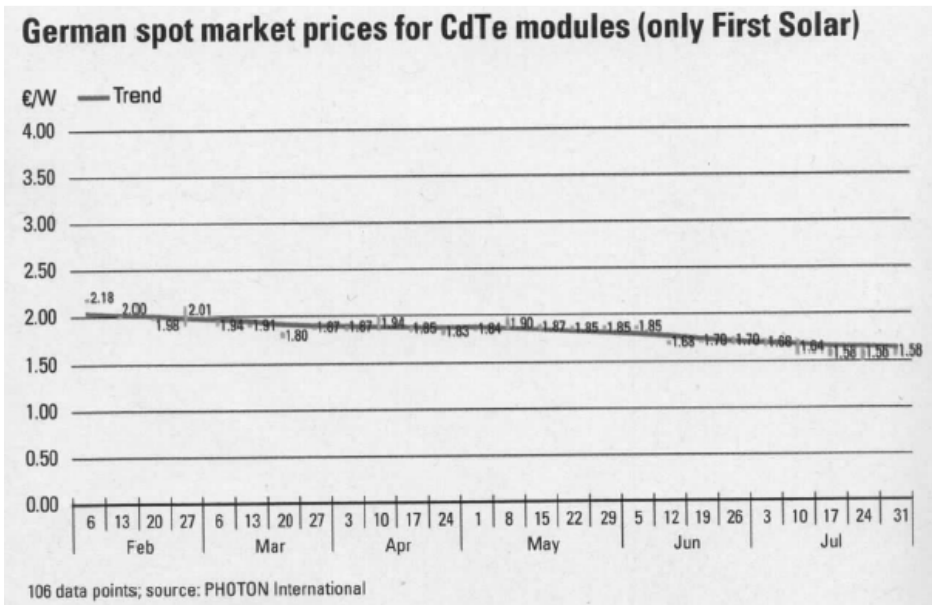


Fig 2.27 Evolución del precio €/Wp para módulos de TeCd (fuente 25)

Sintetizando los resultados, para el 31 de julio de 2009, resulta la siguiente tabla:

Tecnología	Precio (€/Wp)
Monocristalino	1,93
Policristalino	1,98
Silicio amorfo	1,54
Teluro de cadmio	1,58

Tabla 2.5 €/Wp para distintas tecnologías de módulo (fuente 25)

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Además, de una tendencia descendente de los precios, se observa que, con las tecnologías de capa fina cuesta en torno a unos 40 céntimos menos el Wp. De hecho, con estos precios, no se justifica la existencia de los módulos de silicio policristalino, ya que son más caros y menos eficientes que los de silicio monocristalino. Los que si se justifican, sobretodo, son los de telurio de cadmio, que no son los más baratos (el silicio amorfo es ligeramente más barato) pero están cerca y con el doble de eficiencia que estos.

2.5-El acumulador

Los acumuladores desempeñan tres funciones en los sistemas FV autónomos (fuente 26):

- Autonomía: satisfacen los requerimientos de consumo en cualquier momento incluidos periodos de nula (noche) o muy baja (días nublados) insolación.
- Suministro de picos de intensidad: cuando sean necesarias corrientes mayores de las que puede suministrar el generador FV, especialmente para arrancar motores y otros equipos con picos de arranque
- Estabilización del voltaje: evitando fluctuaciones dañinas para el correcto funcionamiento de los equipos de consumo.

Hay muchos tipos de baterías que podrían ser utilizadas en sistemas fotovoltaicos autónomos: Plomo ácido, nickel-cadmio, bromuro de zinc, cloruro de zinc, magnesio-litio, sodio-azufre, nickel-hidrógeno y baterías de flujo redox. Las más utilizadas son las de plomo ácido (fuente 1).

Una buena batería, para un sistema fotovoltaico autónomo, tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- Larga vida
- Muy poca autodescarga
- Soportar largos períodos en baja carga sin estropearse
- Alta eficiencia de carga (devolver prácticamente toda la energía que se le aplica.
- Bajo coste
- Bajo mantenimiento

Dentro de las baterías de plomo ácido existen varios tipos (fuente 26):

- De arranque: Usadas en los coches. Su defecto es que no tienen una alta eficiencia de carga.
- Baterías de tracción: Usadas en carretillas elevadoras. Su defecto es que necesitan un alto mantenimiento, rellenar constantemente de agua.
- Baterías estacionarias: Son las apropiadas para un sistema fotovoltaico autónomo.

Dentro de las baterías estacionarias también existen distintos desarrollos que mejoran ciertas características.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

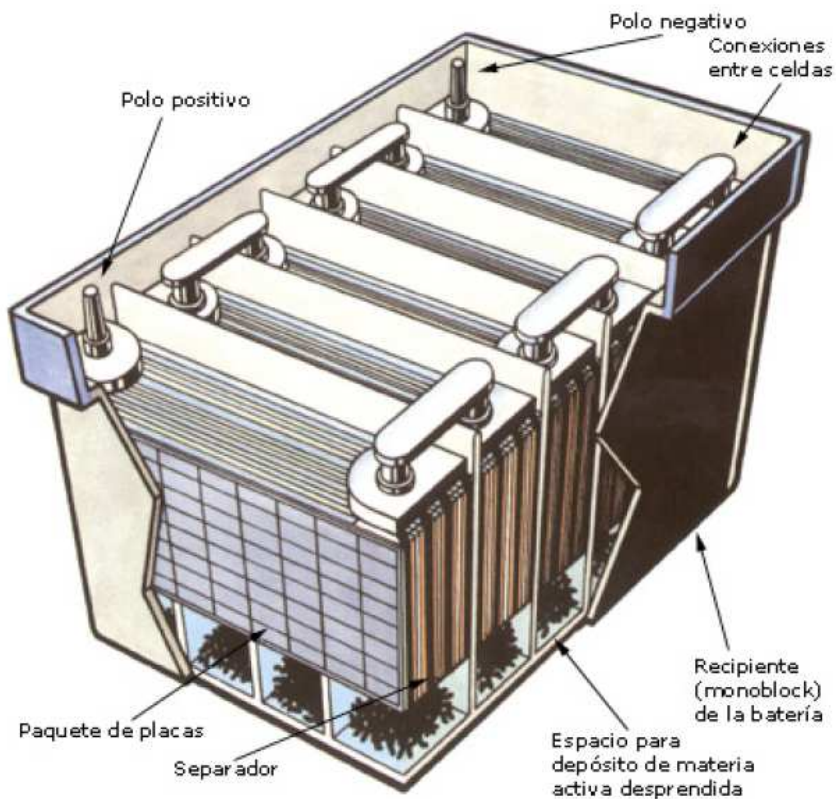


Fig 2.28 Despiece de una batería de plomo ácido (fuente 26)

2.6-El regulador

Es uno de los componentes más baratos dentro de un sistema fotovoltaico autónomo pero, de su elección, depende la fiabilidad a largo plazo del sistema y los costes de mantenimiento. Protegen la batería de descargas profundas y sobrecargas, asegurando que la batería es ciclada de manera que no se reduzca su capacidad durante su vida útil. El regulador a utilizar depende del tipo de batería, sin embargo, cómo ya se adelantó en el apartado anterior, casi todas las baterías utilizadas son de plomo ácido.



Fig 2.29 Regulador de carga Aeca (fuente 28)

2.7-El inversor

Su misión es convertir la corriente continua generada por los paneles ó almacenada en la batería en corriente alterna. Existen gran cantidad de tipos, pero a la hora del diseño de una instalación, lo importante es que tenga una buena eficiencia y se adapte a la potencia de nuestra instalación y el rango de tensiones. Los hay trifásicos y monofásicos (los que se utilizan en sistemas domésticos). En la actualidad, debido al desarrollo de los microprocesadores y de las comunicaciones móviles, se puede monitorizar de manera remota los parámetros de generación eléctrica de la instalación fotovoltaica.



Fig 2.30 Inversores de distintos tamaños de Ingecon (fuente 29)

2.8-Métodos de dimensionado

En los últimos años han proliferado gran cantidad de aplicaciones informáticas capaces de realizar los cálculos necesarios para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos. Estos programas realizan cálculos que permiten tener en cuenta muchas situaciones que, para un ingeniero proyectista, serían muy difíciles de considerar, ya que requieren de mucho tiempo.

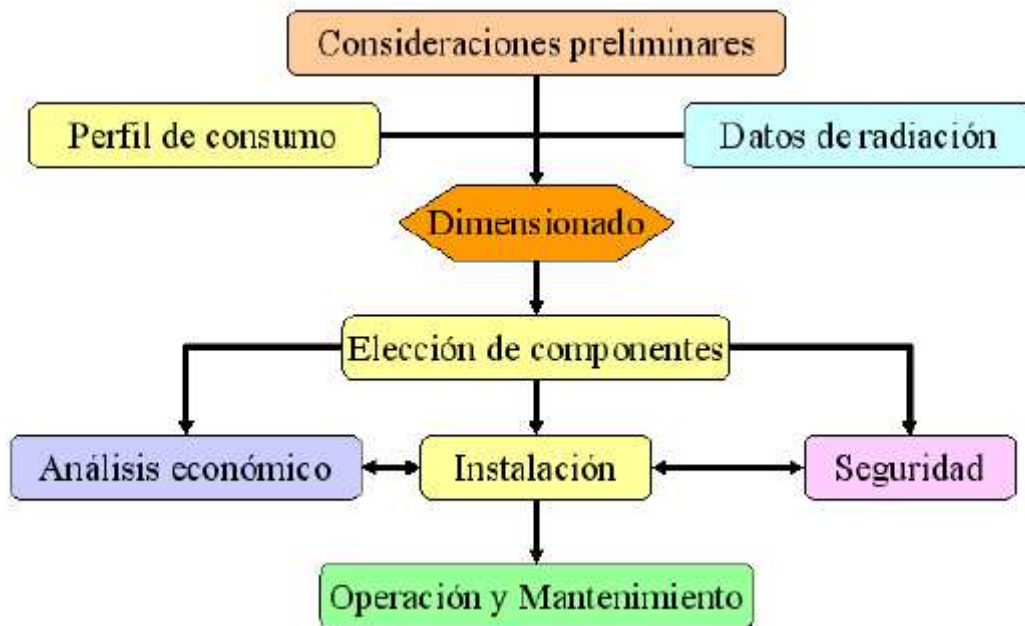


Fig 2.31 El diseño y el dimensionado de un sistema fotovoltaico (fuente 9)

Los métodos de dimensionado tienen en común un objetivo, diseñar el sistema con la mayor fiabilidad y el menor coste, modificando los valores de tamaño del generador fotovoltaico y del acumulador. Sin embargo, habrá aplicaciones en las que se busque más fiabilidad aunque se aumente el coste de la instalación, por ejemplo, sistemas de comunicaciones y, otras que requieran de menor fiabilidad, como algunas aplicaciones domésticas.

2.9-Normativa y legislación

Todo proyecto de instalación tiene una normativa y una legislación asociada y, los sistemas fotovoltaicos autónomos también. En principio, los proyectos tendrán que cumplir la legislación estatal y, de la comunidad autónoma en la que se vaya a instalar, en este caso, Andalucía.

Una serie de documentos, con carácter de ley, que se utilizarán para la redacción de este proyecto son, las instrucciones técnicas para instalaciones fotovoltaicas publicadas en el BOJA el 18 de mayo de 2007 (fuente 38). En estas instrucciones se especifican los requisitos mínimos que tiene que cumplir la instalación. En estos documentos se hace referencia a otras leyes ó a normas.

Unos documentos muy importantes, a los que hacen referencia estas instrucciones técnicas son las instrucciones técnicas de baja tensión (fuentes 44, 46 y 47).

Por otro lado, hay instrucciones técnicas y normativa, que pueden ayudar al ingeniero proyectista a realizar el proyecto, si son sólo normas ó, son de obligado cumplimiento si se mencionan en alguna ley.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Una norma interesante para la realización de este tipo de proyectos es la “UNE 157001” que tiene por título “Criterios generales para la elaboración de proyectos” (fuente 55), en la que se explica cómo debe realizarse un proyecto.

Por otro lado, una instrucción realizada de forma conjunta por el IDAE y el CIEMAT titulada “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red” (fuente 54), muestra con cierto detalle los pasos y las condiciones a seguir para la realización de un sistema fotovoltaico autónomo.

Toda esta documentación no es sólo especificaciones de requisitos, sino una gran ayuda para afrontar la realización del proyecto.

CAPÍTULO 3

ESPECIFICACIÓN DE REQUISITOS

3.1-Localización

El sistema se instalará en un tejado de 30 m² plano. No hay sombras, al encontrarse en la parte más alta de una montaña.

3.2-Consumo

Se ha realizado un estudio del consumo que tendrá que abastecer la instalación. Los equipos eléctricos que se encuentran en la vivienda son los siguientes, con sus respectivos consumos.

	Potencia (W)
8 Puntos de luz	20
Frigorífico	200
Televisión	120
Equipo música	50
Ordenador	115
Lavadora	600

Tabla 3.1 Potencia de los aparatos a alimentar

El perfil de consumo en julio, junio y agosto el consumo es ligeramente superior al resto del año y, queda reflejado en la siguiente tabla:

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

	Junio, julio y agosto	Junio, julio y agosto	Resto del año	Resto del año
	Horas/día	wh	Horas/día	wh
Punto de luz	8	160	8	160
Punto de luz	5	100	4	80
Punto de luz	6	120	4	80
Punto de luz	6	120	5	100
Punto de luz	5	100	5	100
Punto de luz	8	160	6	120
Punto de luz	4	80	3	60
Punto de luz	5	100	4	80
Frigorífico	7	1400	7	1400
Televisión	5	600	4	480
Equipo música	5	250	4	200
Ordenador	5	575	4	460
Lavadora	3	1800	3	1800

Tabla 3.2 Perfil de consumo del sistema

Este consumo se corresponde con los días en los que la vivienda está ocupada, que son 2 días a la semana (durante todo el año). El consumo medio diario queda como sigue:

	Junio, julio y agosto	Resto del año
Consumo diario medio mensual (KWh)	1,59	1,46

Tabla 3.3 Consumo medio diario

CAPÍTULO 4

DIMENSIONADO

4.1-Introducción

En el capítulo anterior se especificaron las condiciones preliminares y el perfil de consumo del sistema. Por lo tanto, según el esquema de la figura siguiente, sólo queda obtener los datos de radiación, antes de realizar el dimensionado.

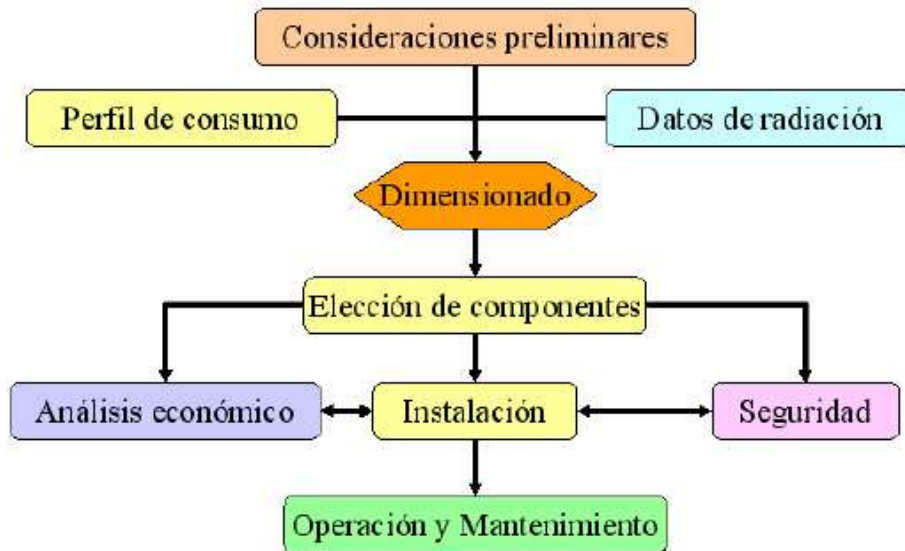


Fig 4.1 El diseño y el dimensionado de un sistema fotovoltaico (fuente 9)

Para el dimensionado se utilizará la herramienta informática PVSYST. La cual permite realizar cálculos avanzados de forma fácil. Liberando al ingeniero proyectista de mucho trabajo.

4.2-Datos de radiación

El programa PVSYST dispone, de los datos de radiación de un gran número de ciudades, sin embargo, Málaga no es una de ellas. La otra opción que permite es introducir desde alguna base de datos externa, ya sea de forma manual ó automática estos datos. La agencia andaluza de su energía en su página (fuente 7) ofrece datos de radiación para varios municipios andaluces. Éstos serán los datos que se utilizarán para este proyecto. Al no encontrar datos concretos de Colmenar y, al estar la parcela justo en el límite con el municipio de Málaga, se utilizarán los datos de éste.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”



Fig 4.2 Página principal base de datos de radiación “Agencia Andaluza de la Energía” (fuente 7)

La base de datos permite obtener, además de los datos de radiación global sobre superficie horizontal, la difusa, directa, radiación con un ángulo determinado... Se pueden dar los datos en valores horarios, diarios ó mensuales. Además entrega valores de temperatura, humedad... (ver figura siguiente).



Fig 4.3 Datos en base de datos de radiación “Agencia Andaluza de la Energía” (fuente 7)

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

El paso siguiente será introducir estos datos en la base de datos del programa, para ello, se elige la opción “Tools” donde se encuentran todas las opciones para ampliar la base de datos del programa.

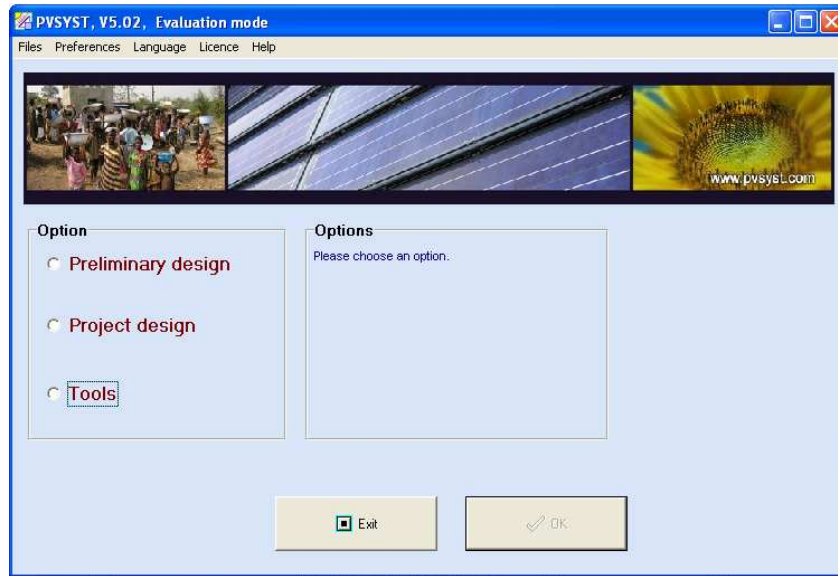


Fig 4.4 Página principal PVSYST

Dentro de este menú se elegirá la opción “Geographical sites” para incluir los datos de Málaga.

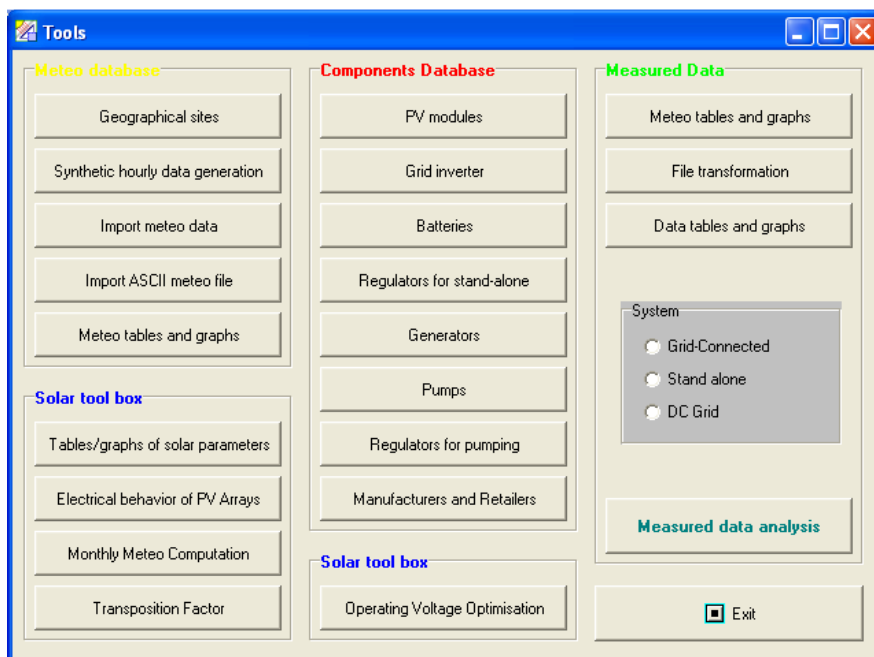


Fig 4.5 Página principal opción “Tools”

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Una vez dentro, se introducirán, por un lado, las coordenadas de Málaga.

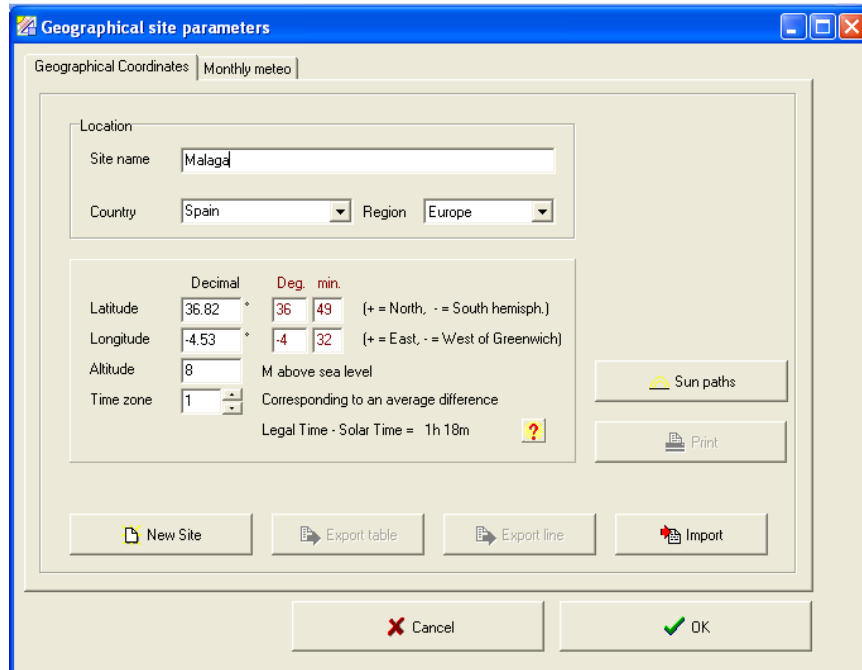


Fig 4.6. Introducción de las coordenadas

A continuación se introducirán los datos climatológicos. La primera opción es coger los datos proporcionados por la NASA de forma automática.

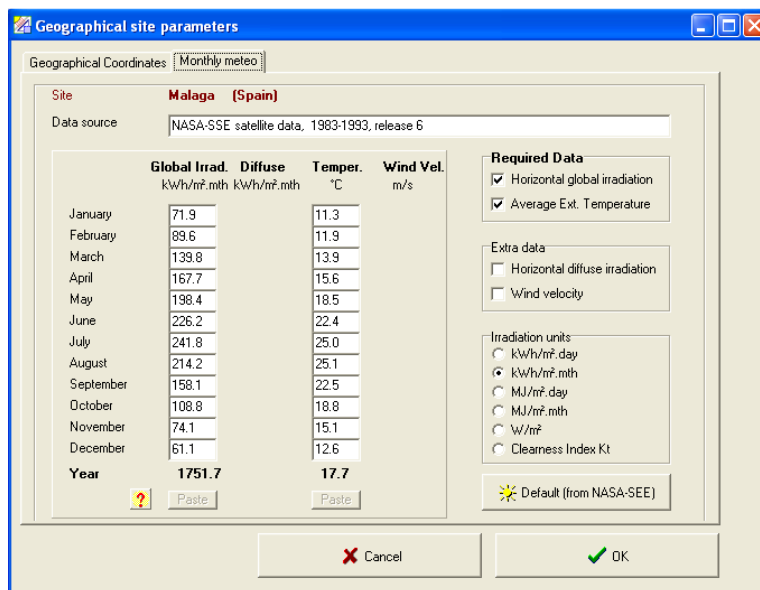


Fig 4.7 Datos meteorológicos de la NASA

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Sin embargo, se utilizarán los datos de la “Agencia Andaluza de la Energía” que, se parecen mucho a los de la NASA, pero son tomados con instrumentos en una estación meteorológica terrestre, no aproximados desde el satélite, por lo que se suponen más cercanos a la realidad.

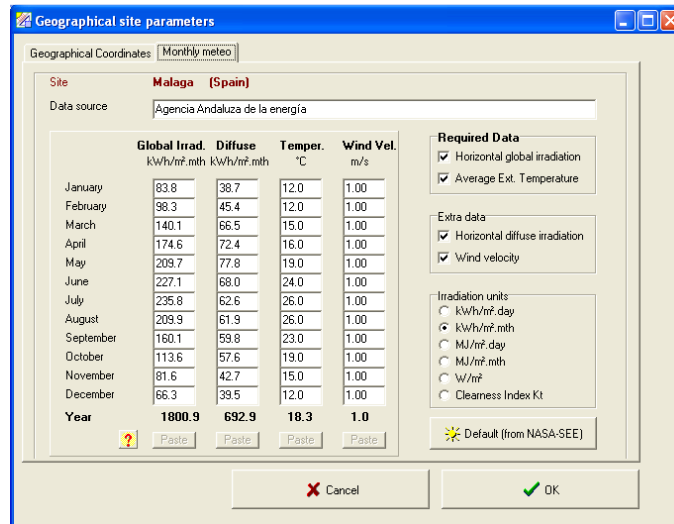


Fig 4.8 Datos meteorológicos de la Agencia Andaluza de la Energía

4.3-Diseño previo

Una vez hecho esto, se puede comenzar con el dimensionado, para ello, desde la pantalla principal y, para comenzar se elegirá “Preliminary design” y “Stand alone” para realizar el estudio previo para el sistema fotovoltaico autónomo objeto de este proyecto.



Fig 4.9 Pantalla principal. Diseño preliminar

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Una vez en diseño preliminar se pasa a elegir la localización, que en este caso será la que se ha introducido anteriormente, con sus datos meteorológicos correspondientes.

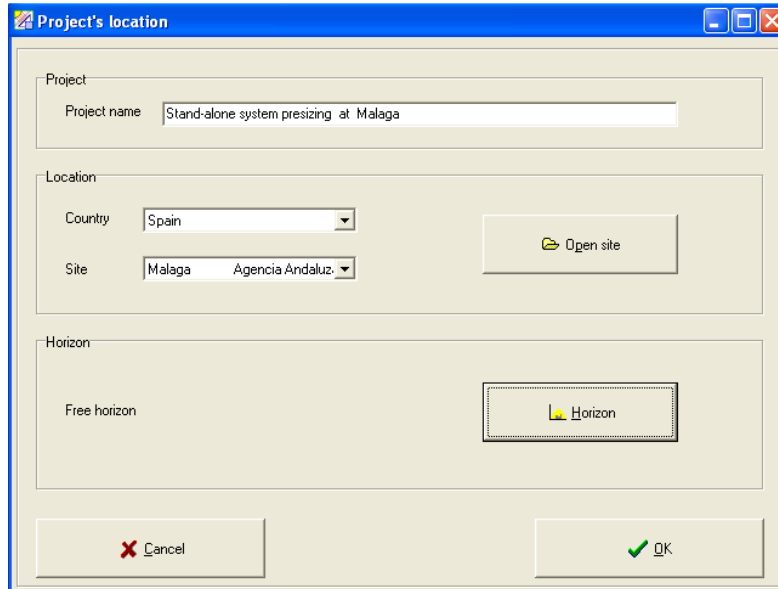


Fig 4.10 Elección de la localización del proyecto

El siguiente paso es elegir la inclinación del sistema, para ello se realizaron cálculos, utilizando los datos de radiación mensuales y los consumos del sistema. Este cálculo no lo realiza el programa, sólo presenta un dato que muestra el porcentaje de pérdida respecto al máximo de radiación, sin tener en cuenta consumos. Por lo tanto, se utiliza el método del mes peor para determinar la inclinación óptima.

Usando la aplicación de la Agencia Andaluza de la Energía, se obtienen los valores mensuales de radiación para las distintas inclinaciones (ver figura siguiente).

RADIACION MALAGA (kWh/m2/mes)										
	Gdm(0)	Gdm(10)	Gdm(20)	Gdm(30)	Gdm(40)	Gdm(50)	Gdm(60)	Gdm(70)	Gdm(80)	Gdm(90)
Enero	83,8	99,4	114,4	126,0	134,7	140,2	141,4	139,8	134,2	125,3
Febrero	98,3	112,5	124,6	134,0	140,2	142,5	141,6	137,1	128,8	117,7
Marzo	140,1	151,8	161,4	167,0	168,2	165,5	159,1	149,0	135,4	118,5
Abril	174,6	182,8	187,2	187,3	182,7	174,4	161,2	145,1	125,4	102,8
Mayo	209,7	213,3	211,9	205,2	194,8	179,7	160,5	137,7	113,4	87,9
Junio	227,1	227,8	223,4	212,9	198,0	179,4	157,0	130,9	104,3	78,1
Julio	235,8	237,5	233,9	225,2	210,8	191,9	168,9	142,0	114,1	85,2
Agosto	209,9	217,8	220,7	218,3	210,7	198,1	180,6	158,9	133,6	106,3
Septiembre	160,1	171,7	180,6	185,0	184,6	180,0	170,4	157,0	139,7	119,3
Octubre	113,6	126,2	136,8	144,0	147,7	148,6	145,0	138,6	128,7	115,7
Noviembre	81,6	94,7	106,1	115,1	121,5	124,8	125,1	122,2	116,6	107,9
Diciembre	66,3	77,4	87,4	95,4	101,7	104,7	105,6	104,1	100,0	93,3
Media	150,1	159,4	165,7	168,0	166,3	160,8	151,4	138,5	122,9	104,8

Tabla 4.1 Datos de radiación para mes y ángulo de inclinación

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Con los datos anteriores y el consumo especificado en el capítulo anterior, se obtiene la siguiente tabla.

RELACIÓN RADIACIÓN (kWh/m2/mes)/CONSUMO (KWh medio diario)										
INCLINACIÓN (GRADOS)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0
Enero	57,2852	67,9492	78,2031	86,1328	92,0801	95,8398	96,6602	95,5664	91,7383	85,6543
Febrero	67,1973	76,9043	85,1758	91,6016	95,8398	97,4121	96,7969	93,7207	88,0469	80,4590
Marzo	95,7715	103,7695	110,3320	114,1602	114,9805	113,1348	108,7598	101,8555	92,5586	81,0059
Abril	119,3555	124,9609	127,9688	128,0371	124,8926	119,2188	110,1953	99,1895	85,7227	70,2734
Mayo	143,3496	145,8105	144,8535	140,2734	133,1641	122,8418	109,7168	94,1309	77,5195	60,0879
Junio	142,8302	143,2704	140,5031	133,8994	124,5283	112,8302	98,7421	82,3270	65,5975	49,1195
Julio	148,3019	149,3711	147,1069	141,6352	132,5786	120,6918	106,2264	89,3082	71,7610	53,5849
Agosto	132,0126	136,9811	138,8050	137,2956	132,5157	124,5912	113,5849	99,9371	84,0252	66,8553
Septiembre	109,4434	117,3730	123,4570	126,4648	126,1914	123,0469	116,4844	107,3242	95,4980	81,5527
Octubre	77,6563	86,2695	93,5156	98,4375	100,9668	101,5820	99,1211	94,7461	87,9785	79,0918
Noviembre	55,7813	64,7363	72,5293	78,6816	83,0566	85,3125	85,5176	83,5352	79,7070	73,7598
Diciembre	45,3223	52,9102	59,7461	65,2148	69,5215	71,5723	72,1875	71,1621	68,3594	63,7793
Peor caso	45,3223	52,9102	59,7461	65,2148	69,5215	71,5723	72,1875	71,1621	65,5975	49,1195
Media	99,5256	105,8589	110,1830	111,8195	110,8597	107,3395	101,1661	92,7336	82,3760	70,4353

Tabla 4.2. Cálculo de la inclinación óptima

Resulta que el peor mes es diciembre y la inclinación óptima de los paneles es 60°.

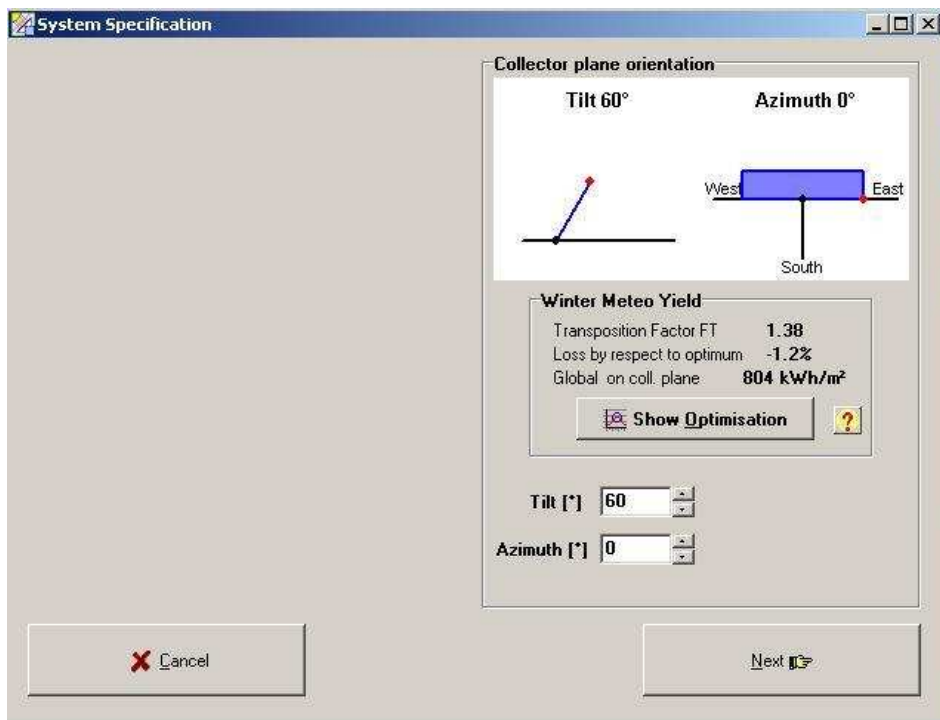


Fig 4.11 Especificación de la inclinación de los paneles

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

A continuación, se introducen los consumos del sistema. Será distinto en junio, julio y agosto al resto de meses, por lo que se define por meses.

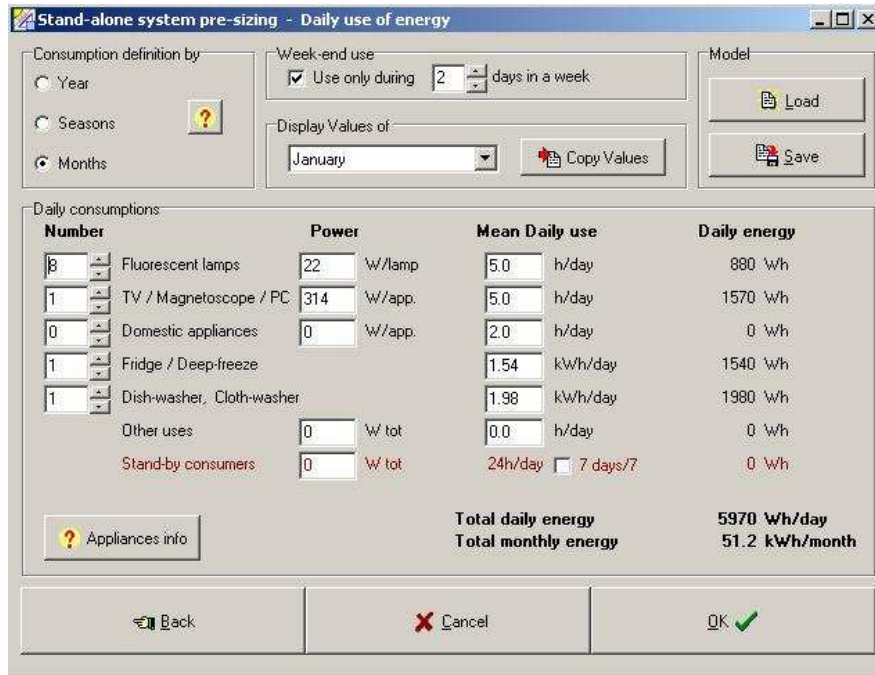


Fig 4.12 Perfil de consumo mensual (excepto junio, julio y agosto)

A continuación el consumo de junio, julio y agosto.

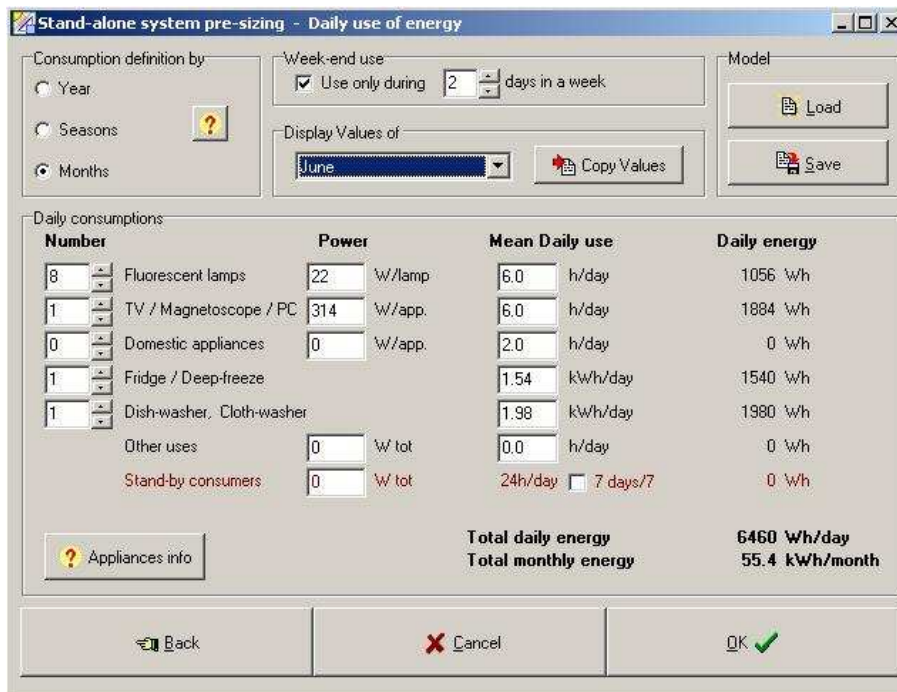


Fig 4.13 Perfil de consumo para junio, julio y agosto

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

El último paso de este diseño previo es definir la autonomía del sistema, que se fija en 5 días, según la norma técnica (fuente 38) la autonomía mínima será de 5 días. La probabilidad de pérdida de carga que, al ser un sistema doméstico, se establece en un 5% y, la tensión del sistema que se fija en 24 voltios (la típica de un gran número de paneles e inversores de baja potencia). PVSYST tiene un problema con la probabilidad de pérdida de carga y, es que se calcula de manera anual, por lo tanto, si un mes tiene una relación radiación/consumo menor, su probabilidad de pérdida de carga será mayor. Por lo tanto, se ha jugado con este parámetro hasta que la probabilidad de pérdida de carga sea inferior al 5% para todos los meses.

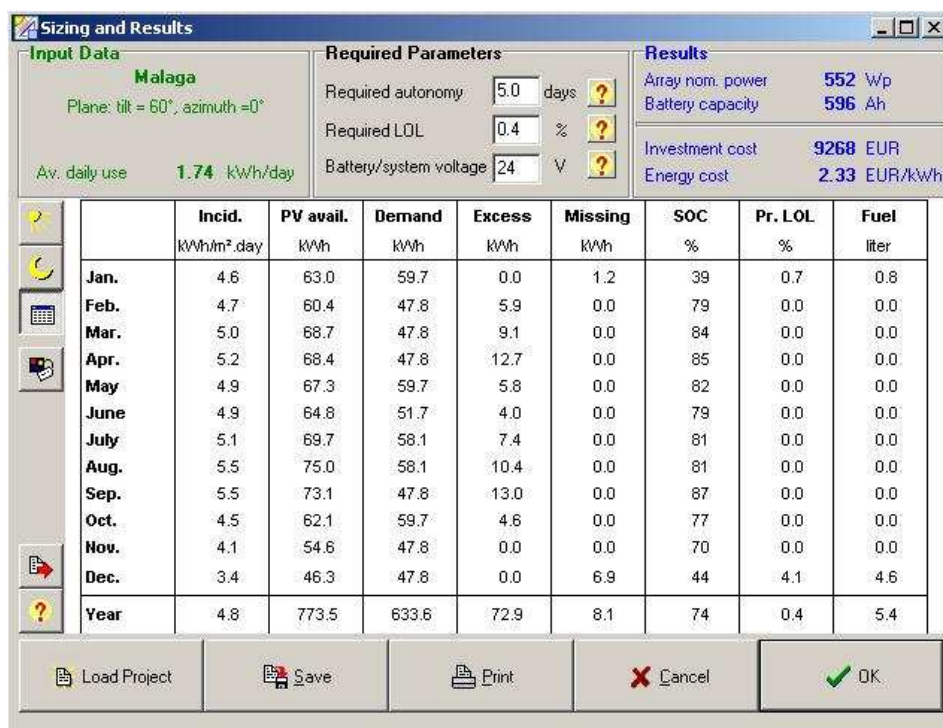


Fig 4.14 Resultado del diseño previo

Los resultados más importantes, por el momento, son la potencia de generador necesaria, que resulta ser de 552W y la capacidad del sistema de acumulación: 596 Ah. Para cumplir estos requisitos, se buscarán componentes dentro de los catálogos que se han conseguido, con precios. Buscando la máxima economía y fiabilidad del sistema. El programa presenta además, el coste aproximado que tendrá la instalación (9268 €).

Puede parecer una potencia de generador muy pequeña, para el consumo diario que se tiene, pero hay que tener en cuenta que la instalación sólo se utiliza 2 días a la semana. Este pequeño tamaño de generador se salva con un tamaño de acumulador grande, que satisface todo el consumo requerido (acumula en una semana lo que se va a gastar en 2 días) y, da una autonomía al sistema de 5 días.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

4.4-Elección de componentes

Se han conseguido varios catálogos de componentes de sistemas fotovoltaicos que incluyen precios, sin embargo, para el cálculo de costes, se ha utilizado, principalmente, el primer catálogo que se consiguió, del proveedor elegido es JHROerden (fuente 30).

4.4.1-Elección del módulo

En su catálogo se busca el módulo de tecnología cristalina, la que se considera más fiable, que tenga un coste €/Wp menor. El módulo elegido corresponde a la marca REC (fuente 31), concretamente el modelo REC215AE. Con este módulo se consigue un precio de 2,88 €/Wp.

ELECTRICAL DATA @ STC	REC205AE	REC210AE	REC215AE	REC220AE	REC225AE	REC230AE
Peak PowerWatts- P_{MAX} (Wp)	205	210	215	220	225	230
Power Output Tolerance- P_{MAX} (%)	±5	±5	±5	±5	±5	±5
Maximum Power Voltage- V_{MPP} (V)	27.2	27.6	28.0	28.4	28.8	29.1
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	7.6	7.6	7.7	7.8	7.8	7.9
Open Circuit Voltage- V_{OC} (V)	36.0	36.1	36.3	36.4	36.6	36.8
Short Circuit Current- I_{SC} (A)	8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.4
Module Efficiency (%)	12.4	12.7	13.0	13.3	13.6	13.9

Values at Standard Test Conditions STC (Air Mass AM1.5, Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25 °C)

TEMPERATURE RATINGS (230 W RATED MODULE)	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	49.5°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P_{MPP}	-0.45%/°C
Temperature Coefficient of V_{OC}	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of I_{SC}	0.074%/°C


CERTIFICATION	MECHANICAL DATA
 IEC 61215 AND IEC 61730 TÜV Safety Class II	Dimensions: 1665 x 991 x 43 mm Area: 1.65 m ² Weight: 22kg

Fig 4.15 Parte de la especificación del módulo elegido

Para conseguir los 552 Wp de generador que se calculó en el diseño preliminar se requieren 3 módulos, lo que hace un total de 645 Wp. Lo que supone un coste total de generador de 1857 €. Al ser la tensión elegida para el sistema de 24 V, por las razones que se comentaron antes, es la típica de un gran número de paneles fotovoltaicos comerciales y la de muchos inversores de baja potencia, especialmente diseñados para sistemas fotovoltaicos autónomos. Se colocan los 3 módulos en paralelo quedando, para el generador fotovoltaico los valores siguientes para la corriente de cortocircuito y la tensión de circuito abierto.

Isc del generador fotovoltaico (A)	24,9
Voc del generador fotovoltaico (V)	36,3

Tabla 4.3 Valores de Isc y Voc del generador fotovoltaico

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

4.3.2-Elección de la batería

Para el acumulador se intentará cubrir la capacidad con el menor número de baterías posible, ya que esto también supone menor coste. Cuanto mayor la batería, menor el coste del Ah. Se ha elegido una batería de la marca Midac, con una capacidad (C10) de 800 Ah y 12 voltios, por lo tanto, se tendrán que colocar 2 en serie. Lo que supone un coste de acumulador de 4320 €. Este acumulador es mayor al calculado en el diseño previo de 596 Ah ya que, al realizar la simulación final, la probabilidad de pérdida de carga con acumuladores de 600 Ah y 700 Ah es mayor y, se ha buscado una solución que se acerque más al objetivo del 5%.

Type	Nominal Voltage V	10 hr Capacity 1,80 Vpc 20 °C	100 hr Capacity 1,80 Vpc 20 °C	I.R. mOhm	Icc KA	Dimensions			Weight		Electrolyte		Terminals
		Ah	Ah			Lenght mm	Width mm	Overall Height mm	With Acid Kg	Empty Kg	Weight Kg	Volume Litres	Screwed M10 no
8 OPzS 800	2	800	1.100	0,33	6,2	210	191	721	63,9	47,4	16,5	13,3	4

Tabla 4.4 Especificaciones de la batería elegida



Fig 4.16 Imágenes de celdas del mismo tipo y marca que la batería elegida

4.3.3-Elección del regulador

El siguiente paso es elegir el regulador. Este es un paso muy importante, como ya se adelantó en el capítulo 2, ya que condicionará la fiabilidad del sistema. Se tendrán que tener en cuenta una serie de factores del generador y el acumulador, que se resumen a continuación en la siguiente tabla, el regulador será capaz de manejar el 130% de la máxima corriente que pueda circular por el generador fotovoltaico. Además será capaz de funcionar, sin ventilación forzada, para ello se presentan los datos extremos de temperatura para la ciudad de Málaga.

Isc del generador fotovoltaico (A)	24,9 (130%=32,37 A)
Voc del generador fotovoltaico (V)	36,3
Rango de temperaturas (fuente 32)	(-0,9 - 43,3)

Tabla 4.5 Factores a tener en cuenta para la elección del regulador

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Se han encontrado 2 opciones, cuyas especificaciones se presentan a continuación.

	235	245	440
Funcionamiento			
Tensión del sistema	12 V (24 V)		48 V
Consumo propio	14 mA		
Datos de entrada CC			
Tensión de circuito abierto del módulo solar	< 47 V		< 82 V
Corriente del módulo	35 A	45 A	40 A
Datos de salida CC			
Corriente de consumo	35 A	45 A	40 A
Tensión final de carga	13,7 V (27,4 V)		54,8 V
Tensión de carga reforzada	14,4 V (28,8 V)		57,6 V
Carga de compensación	14,7 V (29,4 V)		58,8 V
Tensión de reconexión (SOC / LVR)	> 50 % / 12,6 V (25,2 V)		> 50 % / 50,4 V
Protección contra descarga profunda (SOC / LVD)	< 30 % / 11,1 V (22,2 V)		< 30 % / 44,4 V
Condiciones de uso			
Temperatura ambiente	-10 °C ... +60 °C		
Equipamiento y diseño			
Terminal (cable fino / único)	16 mm ² / 25 mm ² - AWG 6 / 4		
Grado de protección	IP 32		
Dimensiones (X x Y x Z)	187 x 128 x 49 mm		
Peso	550 g		

Datos técnicos a 25 °C / 77 °F



Fig 4.17 Fotografía del regulador Steca Tarom 235 (fuente 28)

Tabla 4.6 Especificaciones del regulador Steca Tarom 235 (fuente 28)

Este regulador tiene un coste de 217 €.

	2401	4401
Funcionamiento		
Tensión del sistema	12 V (24 V)	48 V
Consumo propio	14 mA	
Datos de entrada CC		
Tensión de circuito abierto del módulo solar	< 47 V	< 82 V
Corriente del módulo	40 A	
Datos de salida CC		
Corriente de consumo	10 A	
Tensión final de carga	13,7 V (27,4 V)	54,8 V
Tensión de carga reforzada	14,4 V (28,8 V)	57,6 V
Carga de compensación	14,7 V (29,4 V)	58,8 V
Tensión de reconexión (LVR)	12,6 V (25,2 V)	50,4 V
Protección contra descarga profunda (LVD)	11,1 V (22,2 V)	44,4 V
Condiciones de uso		
Temperatura ambiente	-10 °C ... +60 °C	
Equipamiento y diseño		
Terminal (cable fino / único)	16 mm ² / 25 mm ² - AWG 6 / 4	
Grado de protección	IP 32	
Dimensiones (X x Y x Z)	187 x 128 x 49 mm	
Peso	550 g	

Datos técnicos a 25 °C / 77 °F



Fig 4.18 Fotografía del regulador Steca Solarix 2401 (fuente 28)

Tabla 4.7 Especificaciones del regulador Steca Solarix 2401 (fuente 28)

Este regulador tiene un coste de 183 €.

Analizando las características de ambos reguladores, aún cumpliendo ambos las necesidades básicas con holgura, el hecho de que el tarom tenga una corriente máxima más ajustada al 130% de la Isc del generador fotovoltaico y, pueda presentar el estado de carga (ver tabla siguiente), con un incremento de coste de sólo 30 euros, hace que se decida por éste para la instalación.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

solarix

Características del producto

Regulador híbrido
 Regulación de tensión
 Selección automática de tensión
 Regulación MAP
 Tecnología de carga escalonada
 Desconexión de carga en función de la tensión
 Reconexión automática del consumidor
 Compensación de temperatura
 Toma de tierra en uno o varios terminales positivos o sólo en uno de los terminales negativos
 Función de autocontrol
 Carga mensual de mantenimiento

Funciones de protección electrónica

Protección contra sobrecarga
 Protección contra descarga total
 Protección contra polaridad inversa de los módulos, la carga y la batería
 Protección contra polaridad inversa por medio de fusible interno
 Fusible electrónico automático
 Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
 Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
 Protección contra circuito abierto sin batería
 Protección contra corriente inversa por la noche
 Protección contra sobretemperatura y sobrecarga
 Desconexión por sobretensión en la batería

Indicaciones

Display LCD para textos para parámetros de funcionamiento, avisos de fallo, autocontrol

Manejo

Fácil manejo con menús
 Programación por medio de botones
 Conmutación manual de carga

Interfaces

Interfaz RJ45

Opciones

Sensor de temperatura externo
 Contacto de alarma

tarom

Características del producto

Regulador híbrido
 Determinación del estado de carga con Steca AtonIC (SOC)
 Selección automática de tensión
 Regulación MAP
 Tecnología de carga escalonada
 Desconexión de carga en función de SOC
 Reconexión automática del consumidor
 Compensación de temperatura
 Toma de tierra en uno o varios terminales positivos o sólo en uno de los terminales negativos
 Registrador de datos integrado
 Función de luz nocturna con Steca PA 15
 Función de autocontrol
 Carga mensual de mantenimiento
 Contador de energía integrado

Funciones de protección electrónica

Protección contra sobrecarga
 Protección contra descarga total
 Protección contra polaridad inversa de los módulos solares y de la carga
 Protección contra polaridad inversa por medio de fusible interno
 Fusible electrónico automático
 Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos solares
 Protección contra sobretensión en la entrada del módulo
 Protección contra circuito abierto sin batería
 Protección contra corriente inversa por la noche
 Protección contra sobretemperatura y sobrecarga
 Desconexión por sobretensión en la batería

Indicaciones

Display LCD para textos para parámetros de funcionamiento, avisos de fallo, autocontrol

Manejo

Fácil manejo con menús
 Programación por medio de botones
 Conmutación manual de carga

Interfaces

Interfaz RJ45

Opciones

Sensor de temperatura externo
 Contacto de alarma

Tabla 4.8 Características de los 2 reguladores (fuente 28)

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

4.3.4-Elección del inversor

El último elemento a elegir es el inversor. Para la elección del inversor se tiene que conocer, aparte de los factores ya presentados, el consumo máximo instantáneo que puede tener la instalación.

	Potencia (W)
8 Puntos de luz	20
Frigorífico	200
Televisión	120
Equipo música	50
Ordenador	115
Lavadora	600

Tabla 4.9 Consumos de la instalación

Esto hace un total de 1245 W. La potencia máxima de salida tiene que ser superior a ésta.

El rango de tensiones de entrada para el cual la eficiencia del inversor es máxima tiene que estar dentro del rango del sistema.

Soporte la máxima corriente generada por el sistema fotovoltaico.

Existen en el catálogo utilizado varias alternativas. La primera sería el modelo GMS1800/24 de Irepsol. Tiene una potencia nominal de 1800 W y una de pico de 3000 W. Este inversor estaría sobredimensionado para este sistema, lo que supone un gasto de energía innecesario, ya que a mayor potencia, mayor es el consumo del inversor. Además, su coste suele ser mayor.

Forma de onda de salida	Senoidal pura	
Voltaje nominal de entrada	12 V	24 V
Rango de tensión de entrada	10 - 16	20 - 32
tensión nominal de salida	230 ó 120 Vac	
Potencia nominal continua	1.800 W	
Potencia de pico	3.000 W pico	
Variación de tensión de salida	≤ 4%	
Frecuencia nominal	50 ó 60 Hz	
Variación de la frecuencia de salida	< 1 %	
Rendimiento con carga resistivas	86% < η < 96%	
Distorsión armónica (Carga resistiva)	≤ 3%	
Autoconsumo en búsqueda de carga	< 100 mA	
Rango operativo de temperatura ambiente	-10 a 50°C a carga nominal	

Tabla 4.10 Características eléctricas del inversor Irepsol GMS1800

Otra opción es el modelo Top Class 15/24 de la marca Solon. En este caso, la potencia que es capaz de entregar de forma continua es de 1200 W, que es ligeramente inferior al máximo de consumo de la instalación (1245) pero, es capaz de entregar 1500 W durante 30 minutos, por lo tanto, se considera suficiente, ya que no es muy probable que se utilicen todos los aparatos eléctricos simultáneamente durante un período de tiempo mayor.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Valores de entrada (CC)		13/12	15/24
Tensión nominal CC	$U_{CC\ IN}$	12 V	24 V
Rango de tensiones de entrada	U_{CC}	10.5 – 16.0 V _{CC}	21.0 – 32.0 V _{CC}
Corte por baja tensión (depende de la carga)	U_{CC}	10.5 – 9.0 V _{CC}	21.0 – 18.0 V _{CC}
Corriente nominal CC	$I_{CC\ IN}$	125 A	72 A
Corriente máxima	$I_{CC\ max}$	340 A	140 A

Valores de salida (CA)			
Corriente de salida nominal CA	$I_{CA\ OUT}$	5.7 A	6.5 A
Corriente de cortocircuito (máx. 0.5 s)	$I_{CA\ K}$	16 A	16 A
Potencia continua	P_{CA}	1.000 VA	1.200 VA
Potencia nominal (10 min a $T_A = 20^\circ\text{C}$)	P_{10}	1.400 VA	1.700 VA
Potencia nominal (30 min a $T_A = 20^\circ\text{C}$)	P_{30}	1.300 VA	1.500 VA
Tensión de salida nominal CA (ensayo en cortocircuito)	$U_{CA\ OUT}$	230 V _{CA} ± 2 %	230 V _{CA} ± 2 %
Frecuencia de salida (onda sinusoidal verdadera)	f_{CA}	50 Hz ± 0,5 %	50 Hz ± 0,5 %
Factor de potencia	CosPhi	0.3 – 1.0	0.3 – 1.0

Tabla 4.11 Características eléctricas del inversor Top Class 15/24 de la marca Solon

La última opción que se contempla es el inversor Allegro10/24 de la marca Solon, en este caso, la potencia continua que puede suministrar el inversor es de 1000 W, siendo la potencia máxima durante 30 minutos 1200 W, que sigue siendo inferior al máximo consumo de la instalación. La elección de este inversor sería arriesgada, desde el punto de vista de la fiabilidad del sistema, ya que al tener que funcionar máxima carga ó por encima de su máximo tendría un calentamiento excesivo que podría estropearlo.

Valores de entrada (CC)		08/12	10/24	10/48
Tensión nominal CC	$U_{CC\ IN}$	12 V	24 V	48 V
Rango de tensiones de entrada	U_{CC}	10.5 – 16.0 V _{CC}	21.0 – 32.0 V _{CC}	42.0 – 64.0 V _{CC}
Corte por baja tensión (depende de la carga)	U_{CC}	10.5 – 9.0 V _{CC}	21.0 – 18.0 V _{CC}	42.0 – 36.0 V _{CC}
Corriente nominal CC	$I_{CC\ IN}$	78 A	50 A	25 A
Corriente máxima	$I_{CC\ max}$	250 A	160 A	80 A

Valores de salida (CA)				
Corriente de salida nominal CA	$I_{CA\ OUT}$	3.5 A	4.2 A	4.2 A
Corriente de cortocircuito (máx. 0.5 s)	$I_{CA\ K}$	8 A	11 A	11 A
Potencia continua	P_{CA}	850 VA	1.000 VA	1.000 VA
Potencia nominal (10 min a $T_A = 20^\circ\text{C}$)	P_{10}	1.100 VA	1.300 VA	1.300 VA
Potencia nominal (30 min a $T_A = 20^\circ\text{C}$)	P_{30}	950 VA	1.200 VA	1.200 VA
Tensión de salida nominal CA (ensayo en cortocircuito)	$U_{CA\ OUT}$	230 V _{CA} ± 2 %	230 V _{CA} ± 2 %	230 V _{CA} ± 2 %
Frecuencia de salida (onda sinusoidal verdadera)	f_{CA}	50 Hz ± 0,5 %	50 Hz ± 0,5 %	50 Hz ± 0,5 %
Factor de potencia	CosPhi	0.3 – 1.0	0.3 – 1.0	0.3 – 1.0

Tabla 4.12 Características eléctricas del inversor Allegro10/24 de la marca Solon

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Los costes de los inversores presentados anteriormente son:

Marca y modelo	Precio (€)
Irepsol GMS1800	897
Solon Top Class 15/24	1142
Solon Allegro10/24	810

Tabla 4.13 Precios de los inversores preseleccionados

Existen en el mercado soluciones para sistemas fotovoltaicos autónomos que, en un mismo aparato integran el regulador y el inversor. Un ejemplo es la serie AJ de Steca, que ofrece varios modelos para distintas configuraciones del sistema.

	275-12	350-24	400-48	500-12	600-24	700-48	1000-12	1300-24	2100-12	2400-24
Funcionamiento										
Tensión del sistema	12 V	24 V	48 V	12 V	24 V	48 V	12 V	24 V	12 V	24 V
Potencia continuo	200 VA	300 VA	300 VA	400 VA	500 VA	500 VA	800 VA	1.000 VA	2.000 VA	2.000 VA
Potencia 30 min.	275 VA	350 VA	400 VA	500 VA	600 VA	700 VA	1.000 VA	1.300 VA	2.100 VA	2.400 VA
Potencia 5 sec.	450 VA	650 VA	1.000 VA	1.000 VA	1.200 VA	1.400 VA	2.200 VA	2.800 VA	5.000 VA	5.200 VA
Eficiencia máxima	93 %	94 %	94 %	93 %	94 %	94 %	93 %	94 %	92 %	94 %
Consumo propio standby / ON	0,3 W / 2,4 W	0,5 W / 3 W	1 W / 5 W	0,4 W / 4,5 W	0,6 W / 7,5 W	1,5 W / 12 W	0,7 W / 10 W	1,2 W / 13 W	0,7 W / 16 W	1,2 W / 16 W
Datos de entrada CC										
Tensión de la batería	10,5 V ... 16 V	21 V ... 32 V	42 V ... 64 V	10,5 V ... 16 V	21 V ... 32 V	42 V ... 64 V	10,5 V ... 16 V	21 V ... 32 V	10,5 V ... 16 V	21 V ... 32 V
Datos de salida CA										
Tensión de salida	230 V CA +0 / -10 % (onda senoidal pura)									
Frecuencia de salida	50 Hz +/-0,05 %									
Detección de consumidor (standby)	2 W					ajustable: 1 W ... 20 W				

Tabla 4.14 Características eléctricas de la serie AJ de Steca, inversor + regulador

Sin embargo, para utilizar la configuración habitual del sistema, se utilizarán regulador e inversor independientes. Concretamente, el inversor será el Solon Top Class 15/24 que, aún siendo la solución más cara, es la que ofrece mayor fiabilidad al sistema, con el consumo más ajustado.

Una vez elegidos estos componentes, se pasa a introducirlos en la base de datos del programa. Se realiza en “tools”, al igual que se introdujeron los datos meteorológicos de Málaga. El inversor no se introducirá ya que, para sistemas fotovoltaicos aislados, el programa no incluye la opción de incluir un inversor para su modelado, sin embargo, a partir de los datos proporcionados del sistema en continua se puede modelar el comportamiento en alterna conociendo la eficiencia del inversor utilizado, en este caso, 93%. Se tendrá en cuenta incrementando los datos de consumo un 10%, al introducirlos tanto en el diseño previo como en la simulación final.

4.5-Introducción de los componentes en la base de datos

Para ello se abrirá el menú “tools”, igual que para introducir los datos meteorológicos. Una vez en “tools”, en la parte de “components database” se selecciona “PVmodules”, para introducir los datos del módulo fotovoltaico seleccionado.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

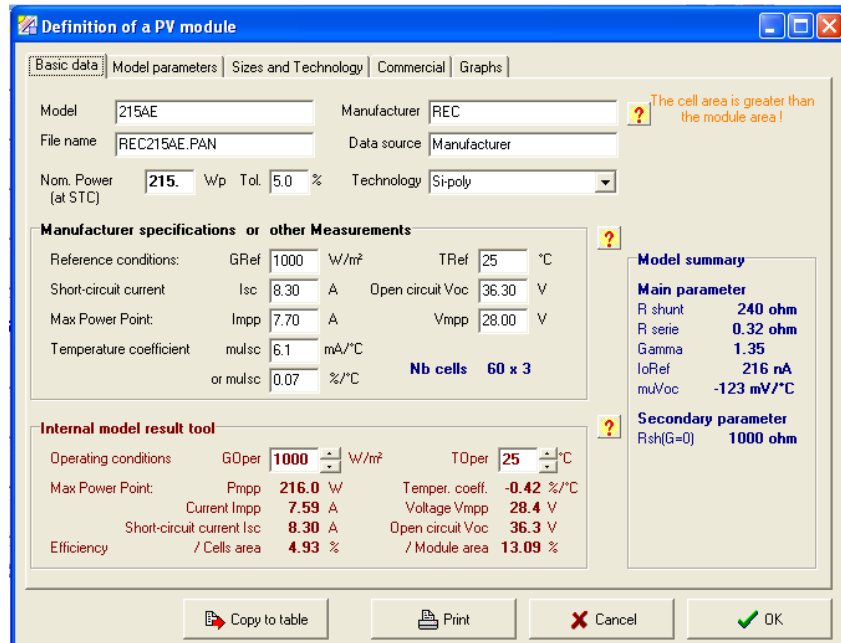


Fig 4.19 Especificación del módulo elegido en PVSYST

Una vez terminado el módulo, se pasa a introducir los datos técnicos de la batería seleccionada, para ello selecciona “Batteries”, dentro del menú “tools”.

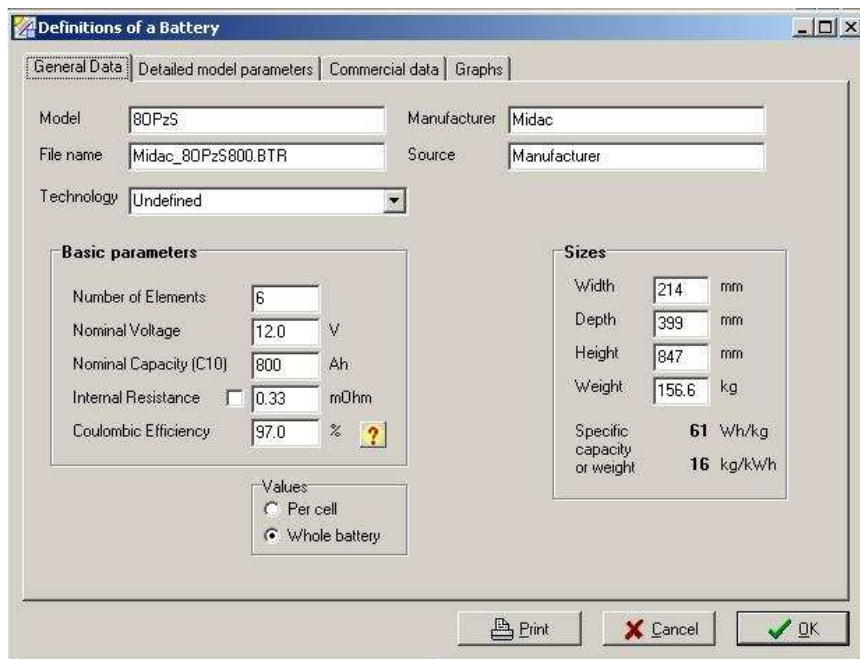


Fig 4.20 Especificación de la batería elegida en PVSYST

Para el regulador, se tomará uno por defecto, ya que no condiciona, en gran medida, el rendimiento del sistema. Ahora si ha llegado el momento de pasar al dimensionado.

4.6-Dimensionado

4.6.1-Simulación

Se empieza, igual que en el diseño previo, especificando el lugar del proyecto y su base de datos meteorológicos correspondientes. Una vez hecho esto, se pasa a definir el albedo, que se establece como 0,2, al ser éste el valor más típico.

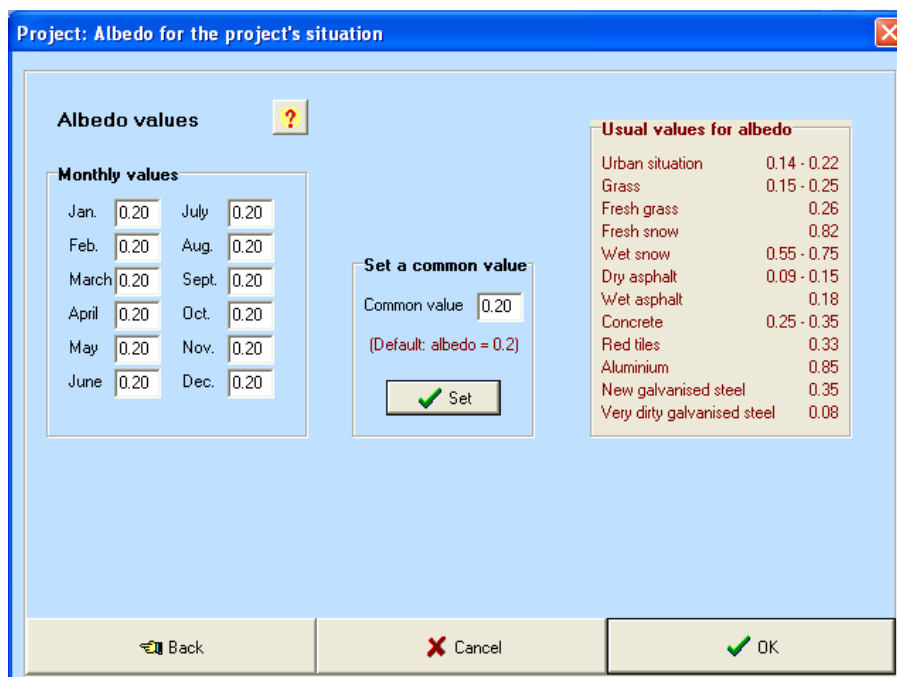


Fig 4.21 Albedo en PVSYS

A continuación se definirá la inclinación de los paneles, se ha elegido un sistema estático. Esta inclinación, que se calculó en el diseño previo es de 60°. El siguiente paso es definir el horizonte, realmente el tiempo que el sol está iluminando la superficie de los módulos y su inclinación, este punto no se va a modificar. A continuación se definen las sombras, pero en la especificación de requisitos se dejó claro que no habría ningún tipo de sombras, por lo tanto, tampoco se modifica este punto.

El siguiente paso es definir el sistema, se empieza por los consumos y, se cargan los mismos que se introdujeron para el diseño previo, además de la fiabilidad y los días de autonomía del sistema. Una vez hecho esto se especifican el módulo y la batería que se eligieron.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

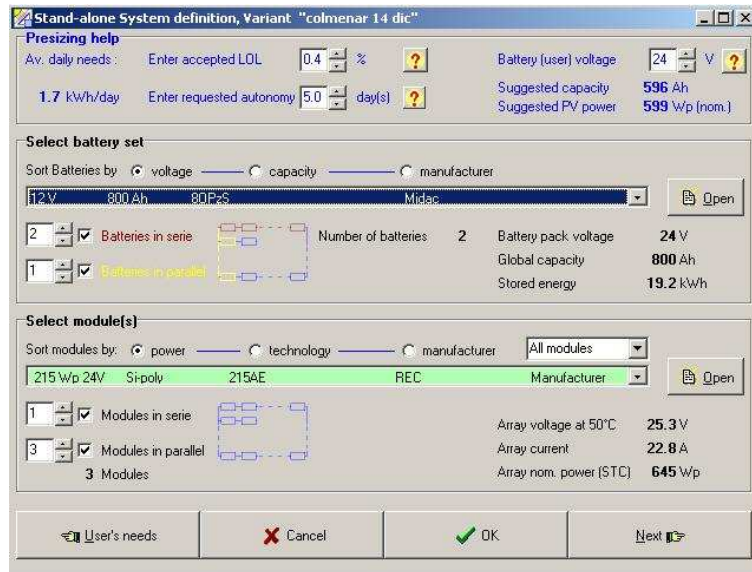


Fig 4.22 Especificación de batería y módulo

Se ha sobredimensionado un poco el acumulador y el generador para compensar los factores de pérdidas del sistema y utilizar, por un lado, el módulo que se eligió anteriormente, por ser más económico y, una batería del catálogo, también la más económica dentro de su capacidad. A continuación se especifica que el regulador será estándar y, la temperatura para las baterías será la ambiente, que se especificó con los datos meteorológicos.

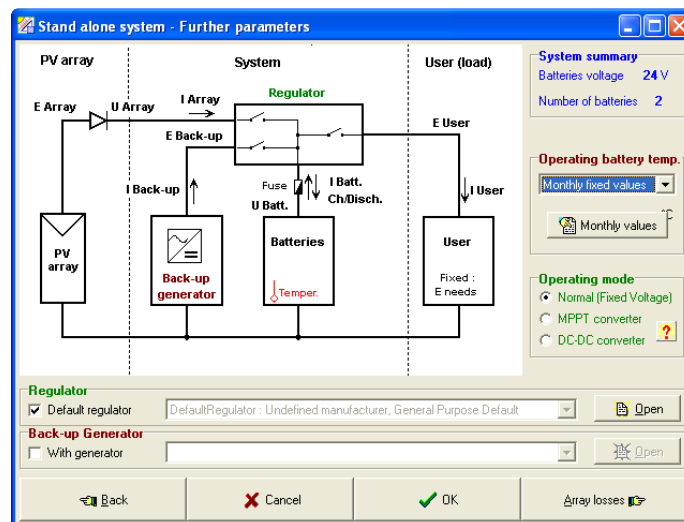


Fig 4.23 Especificación de regulador y temperatura de batería

Una vez se llega a este punto, no queda más remedio que calcular las pérdidas del sistema, para poder incluirlas en la simulación. Para ello, se hará el diseño del cableado.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

4.6.1-Cableado

La elección del cableado es un paso importante, aparte de cumplir los requisitos de caída de tensión (ver figura siguiente), tiene que ser fiable y, no deteriorarse su capa aislante ni por el efecto de los rayos UV, temperatura ó humedad. Para evitar esto último se utiliza cable solar, certificado para las siguientes normas.

- Retardador de llama según IEC 60332-1-2
- Libre de halógenos según EN 50267-2-2
- Resistente al ozono según 50396
- Resistente al UV según HD 605/A1
- Resistente a la corrosión según EN 60811-2-1

En función de la corriente máxima del sistema se tiene que utilizar una sección de cable mínima. La intensidad máxima viene dada por la $1,25 \times I_{sc}$ del generador que, siendo $I_{sc} = 24,9 \text{ A}$ y $1,25 \times I_{sc} = 31,1 \text{ A}$. Por lo tanto, la sección mínima del conductor debe ser igual ó superior a 4 mm^2 .

Conductores de Cobre		
Sección (mm ²)	Imáx (A)	Resistencia (mΩ/m)
1,5	17	15
2,5	24	8,8
4	32	5,5
6	41	3,7

Tabla 4.15 Cálculo de cableado por corriente máxima(fuente 9)

Una vez elegida esa sección mínima hay que seguir otro criterio para la elección definitiva de la sección de conductor a usar. Este criterio se basa en la caída de tensión máxima que se puede producir en cada una de las líneas. Este criterio viene claramente explicado en la siguiente figura.

Teniendo en cuenta la tensión del sistema, en el caso de conductores de cobre, la sección necesaria se calculará mediante la expresión:

$$S = \frac{2LI}{56(V_A - V_B)}$$

donde :

- S : Sección del conductor en mm²
- L : Longitud del conductor en metros
- I : Intensidad máxima que circula por el conductor en Amperios
- V_A - V_B : Caída máxima de Tensión en Voltios, en la línea.

La sección de los cables calculada debe ser tal que las caídas máximas de tensión entre ellos, comparadas con la tensión a la que estén trabajando, estén por debajo de los límites recomendados siguientes:

- Línea campo de paneles - acumulador 3 %
- Línea acumulador - inversor 1 %
- Línea principal 3 %
- Línea principal - Iluminación 3 %
- Línea principal - equipos 5 %
- Campo paneles - carga DC 5 %

Fig 4.24 Cálculo de cableado por caída de tensión (fuente 9)

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

-Línea campo de paneles – acumulador.

Tiene una longitud de 2 metros. El cable utilizado tiene una sección de 4 mm². La intensidad máxima viene dada por la 1,25xIsc del generador que es: 1,25xIsc = 31,1 A. Por lo tanto:

$$(Va - Vb) = 2 \times 2 \times \frac{31,1}{56 \times 4} = 0,56$$

La tensión del sistema es de 24 voltios, por lo tanto, 0,56V supone una caída de tensión del 2,3 %, que es inferior al 3% recomendado. De este resultado se puede llegar a la conclusión de que un ligero aumento en la longitud de esta línea haría dispararse las pérdidas, debido principalmente, a que se trabaja a 24 V. Por ejemplo, con una longitud de línea de 4 metros, la pérdida de tensión sería de 4,6%. Se podría minimizar este efecto aumentando la sección del cableado, para conseguir que esta caída de tensión se redujese, por debajo del límite recomendado.

-Línea acumulador-inversor

Por corriente máxima, la sección es la misma que en las otras 2 líneas, al ser igual dicha corriente. Esta línea tiene una longitud de 0,8 m. Lo que supone una caída de tensión de:

$$(Va - Vb) = 2 \times 0,8 \times \frac{31,1}{56 \times 4} = 0,28$$

Que en porcentaje supone una caída del 0,92%, inferior al 1% recomendado.

-Resto de líneas

Al convertirse la señal a alterna y, subirse su tensión a 220 V, las pérdidas son despreciables dentro de una vivienda de 30 m².

-Inclusión de pérdidas de cableado en PVSYST

Una vez calculadas las secciones y longitudes de las líneas, se debe incluir en la simulación, para que el programa incluya sus pérdidas en la simulación.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

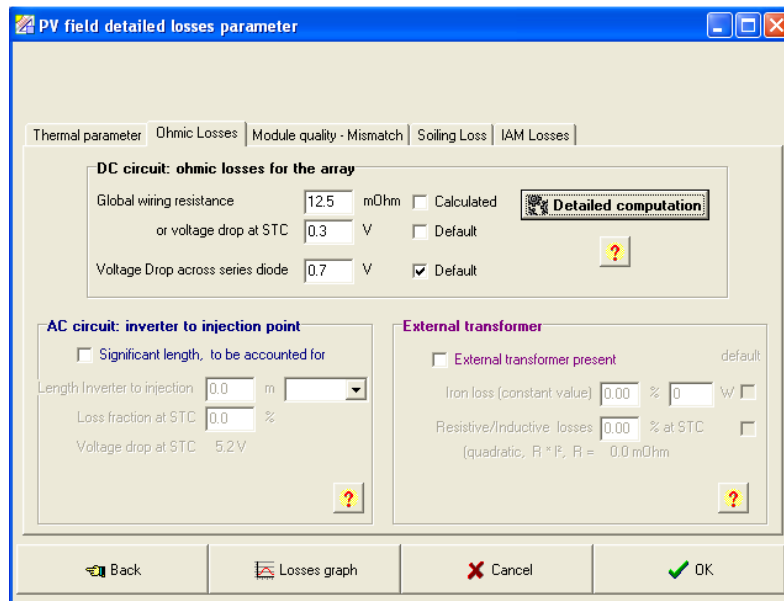


Fig 4.25 Inclusión de factores de pérdidas

Además, como se puede ver en la imagen anterior, se incluye una caída de 0,7 V que corresponde al diodo de bloqueo. En un sistema fotovoltaico autónomo, se incluye este diodo para proteger los módulos de las descargas de la batería, no circule corriente por ellos proveniente de la batería. Esto puede pasar cuando los módulos no estén generando electricidad.

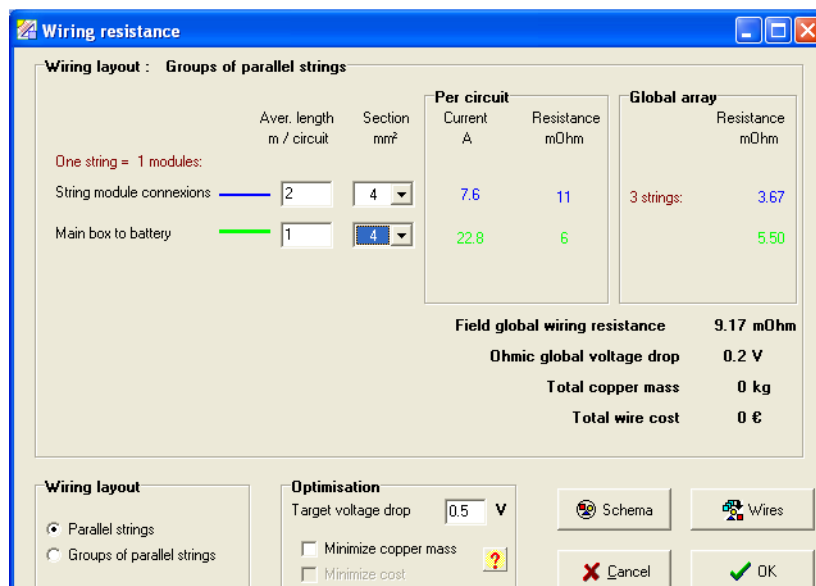


Fig 4.26 Inclusión de pérdidas por cableado

No se van a considerar más pérdidas, el resto de factores se dejan como los trae el programa por defecto. Por lo tanto, ya se puede pasar a la simulación.

4.7-Resultados de la simulación

La simulación va a generar datos del comportamiento del sistema, en función de los datos que se han introducido anteriormente. Estos datos van desde la presentación de los datos meteorológicos ó los de consumo, hasta balances energéticos, tensiones y corrientes de los distintos componentes.

Posiblemente, la gráfica más interesante es la que se muestra a continuación. En ella se muestra la energía que no es entregada a las cargas (franja azul), las pérdidas en el generador (franja morada), las pérdidas en la batería (franja verde) y la energía entregada a las cargas (franja roja). Se puede ver que el sistema está optimizado para hacer frente al consumo de los meses de junio, julio y agosto, que es el mayor y, sobretodo, para el mes de diciembre que es el que peor relación radiación/consumo tiene. El resto de meses hay energía de sobra que no se puede almacenar en las baterías, por lo tanto, el regulador tiene que disiparla, para no sobrecargar las baterías.

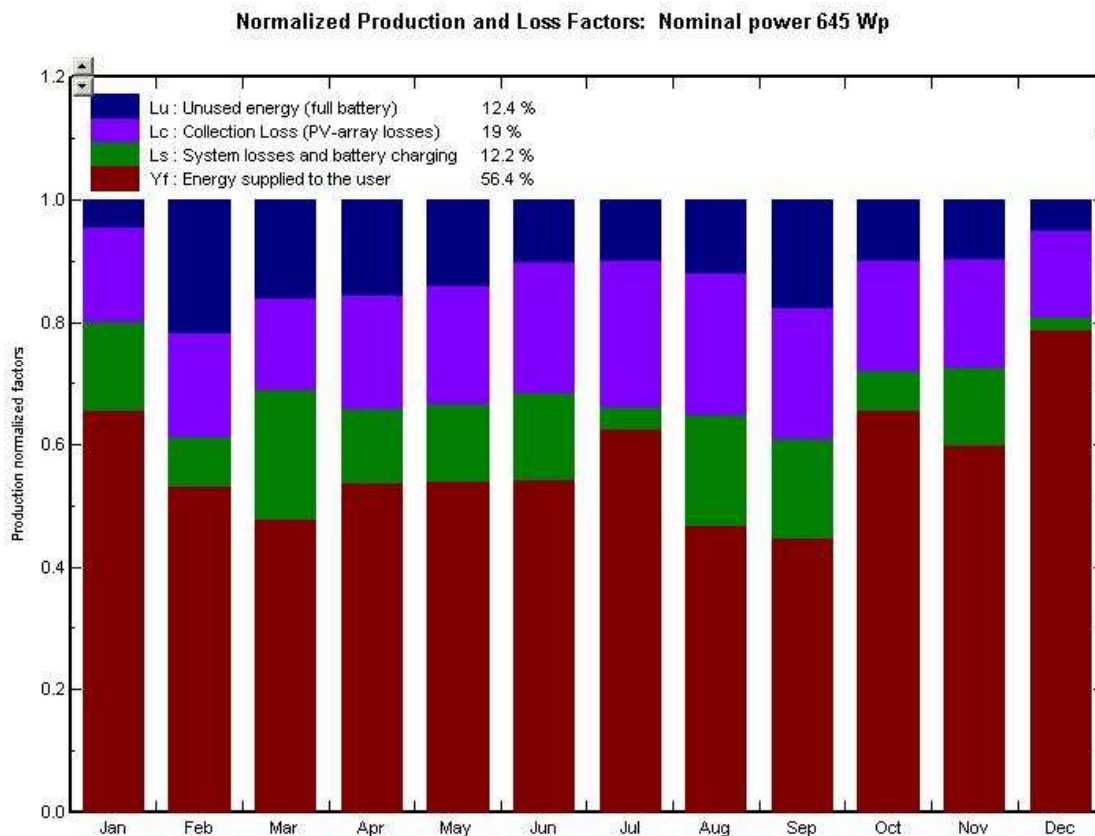


Fig 4.27 Factores de pérdidas del sistema

Una tabla muy interesante es la que se utilizó para el diseño previo y, muestra principalmente la probabilidad de pérdida de carga del sistema. Como se puede ver en la última columna, que corresponde a la probabilidad de pérdida de carga, sale mayor a la del diseño previo, pero en ningún caso se aleja demasiado del objetivo del 5%.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Energy Use

	EArray kWh	E Load kWh	E User kWh	SolFrac	T LOL Hour	Pr LOL %
January	72.70	59.70	59.71	1.000	9	1.21
February	55.10	47.76	47.76	1.000	39	5.80
March	68.71	47.76	47.76	1.000	25	3.36
April	65.77	53.73	53.73	1.000	43	5.97
May	66.29	53.73	53.74	1.000	36	4.84
June	65.22	51.68	51.69	1.000	17	2.36
July	68.34	64.60	64.61	1.000	27	3.63
August	71.61	51.68	51.69	1.000	32	4.30
September	65.01	47.76	47.76	1.000	47	6.53
October	65.57	59.70	59.71	1.000	26	3.49
November	57.96	47.76	47.77	1.000	21	2.92
December	55.21	53.73	53.74	1.000	3	0.40
Year	777.50	639.59	639.68	1.000	325	3.71

Tabla 4.16. Uso de energía, probabilidad de pérdida de carga (Pr LOL)

El “Performance ratio” es muy utilizado en sistemas fotovoltaicos conectados a red, para estudiar el rendimiento de estos. Sin embargo, en el caso de sistemas autónomos, no se trata de conseguir la producción máxima, sino de adecuar esta a un consumo determinado. Se presenta a continuación el PR de la instalación (barras rojas) y la relación entre energía solar disponible y consumo (SF).

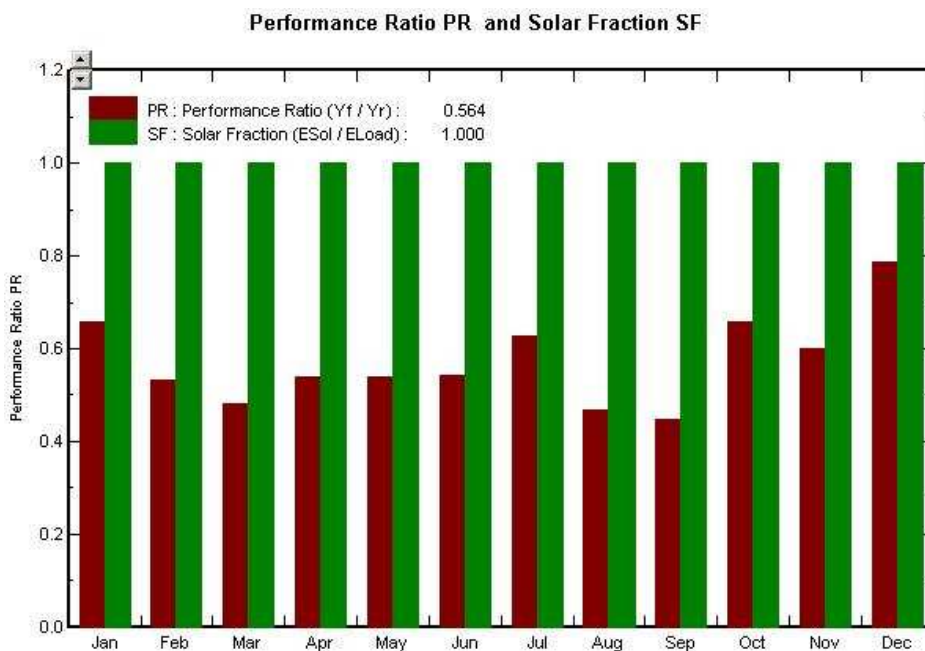


Fig 4.28 PR (Performance Ratio) y SF (Solar Fraction)

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Otra gráfica importante, presenta los distintos porcentajes de pérdidas del sistema. Analizándolo, se puede optimizar el sistema para que éstas sean mínimas.

Estas pérdidas vienen desglosadas en distintos apartados, que vienen clasificadas por pérdidas de radiación (por la inclinación y orientación de los paneles principalmente), pérdidas en el generador (mismatch de paneles, temperatura, impedancia de los cables...) y, por último las pérdidas en el sistema de acumulación.

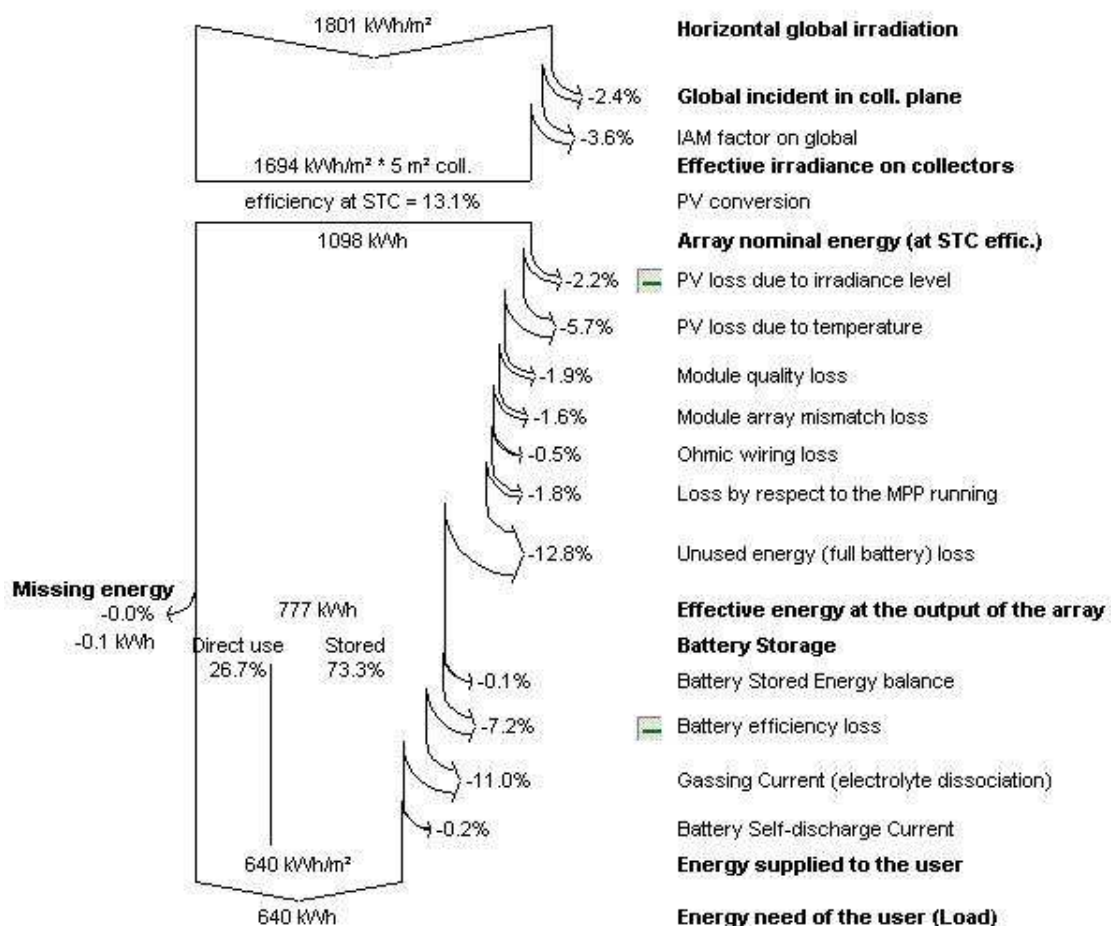


Fig 4.29 Diagrama de pérdidas del sistema

4.8-Seguridad y protecciones

Se debe proteger tanto a los equipos como a las personas que van a hacer uso de la instalación ó realizar su mantenimiento. Se toma como referencia la norma técnica publicada por la Junta de Andalucía (fuente 38).

4.8.1-Medidas de protección del generador fotovoltaico

Al ser la tensión máxima alcanzable por el generador FV inferior a 75 V, no hace falta ninguna medida de protección especial, sólo poner a tierra los marcos de los módulos.

4.8.2-Medidas de protección de las baterías

Se tiene que tener especial cuidado en la renovación del aire, al ser las baterías de plomo. Al no utilizarse ventilación forzada, la superficie de entrada vendrá dada por la siguiente expresión:

$$S \text{ (cm}_2\text{)} = 28 * Q_r / 1000$$

Fig 4.30 Superficie de entrada de aire (fuente 38)

Donde Q_r es el caudal de aire mínimo (en litros/hora) y se calcula en función de la intensidad de fin de carga y la tensión máxima de la batería mediante la siguiente expresión:

$$Q_r = 6 * V_f * I_f$$

Siendo:

Q_r Caudal de aire mínimo (litros/h).

V_f Tensión máxima de la batería (V).

I_f Intensidad de fin de carga de la batería (A).

Fig 4.31 Caudal de aire mínimo Superficie de entrada de aire (fuente 38)

$$I_f = 6,2 \text{ A (fuente 39)}$$

$$V_f = 24 \text{ V}$$

$$Q_r = 892,8 \text{ l/h}$$

$$S = 25 \text{ cm}^2$$

Dado este resultado, se instalará una rejilla de ventilación con una apertura de 56 cm² como mínimo.



Fig 4.32 Rejilla de ventilación elegida

Se ha elegido una rejilla lineal y fija para que no pueda ser manipulada y no se reduzca el caudal de aire. El modelo elegido es el GLP-1 con un tamaño de 25 cm de largo y 7,5 cm de alto, que hace una superficie de 187,5 cm², que es netamente superior a los 25 cm² calculados anteriormente, aún siendo la rejilla más pequeña del catálogo (con un precio de 12 €). Esto permite instalar un filtro, para evitar la entrada de polvo en la caseta, que podría perjudicar al correcto funcionamiento de los equipos.

Al ser la tensión de las baterías inferior a 75 V, se podrán instalar el regulador y el inversor en la misma sala que éstas.

4.8.3-Medidas de protección del inversor

A la salida del inversor se instalará un interruptor magnetotérmico y un diferencial por cada circuito.

Para el cálculo del magnetotérmico se tienen en cuenta la corriente nominal del inversor que es de 6,5 A y la máxima, que es 16 A. El magnetotérmico comercial más adecuado para este caso es el de 10 A (tiene un coste de 3,3 €), el de 6 A quedaría por debajo de la corriente nominal del inversor.



Fig 4.33 Magnetotérmico elegido

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Para los diferenciales hay que estudiar las características de las cargas, para ver el número de circuitos y el diferencial a utilizar en cada uno de ellos

	Potencia (W)
8 Puntos de luz	20
Frigorífico	200
Televisión	120
Equipo música	50
Ordenador	115
Lavadora	600

Tabla 4.17. Consumos

De estos consumos se obtienen los siguientes circuitos:

	Potencia (W)	Corriente (A)
Iluminación	160	0,727272727
Frigorífico	200	0,909090909
Pequeño electrodoméstico	285	1,295454545
Lavadora	600	2,727272727
Total	1245	5,659090909

Tabla 4.18 Circuitos

Se colocará un interruptor diferencial de 25 A y 30 mA de sensibilidad para cada circuito.

Se instalará una toma de tierra independiente para cada una de las masas, incluida la del inversor.

Se instalará otra toma de tierra en una de las fases del circuito de alterna, para que ésta actúe como neutro.

4.8.4-Conexión a tierra

La conexión a tierra es muy importante para la seguridad de la instalación. Se ha elegido la configuración de generador flotante, ya que es la que se presenta más segura para contactos directos.

Se calculará según las fuentes 44 y 46 (Instrucciones técnicas de baja tensión).

Se utilizarán picas con de acero de un diámetro mínimo de 14,2 mm recubiertas por una capa de cobre con un mínimo de 250 micras de espesor. El cable utilizado será de cobre y tendrá una sección mínima de 25 mm². Para evitar que cualquier perturbación eléctrica en los marcos de los módulos (posiblemente provocada por un

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

rayo) pueda afectar al circuito de alterna, se colocarán picas independientes separadas por una distancia prudencial. La pica se introducirá en el suelo un mínimo de 80 cm.

La pica elegida es una pica de toma de tierra de acero de 14,6 mm de diámetro con recubrimiento de cobre de 300 μm y de 1000 mm de largo. El cable de tierra, es de cobre con una sección de 25mm².

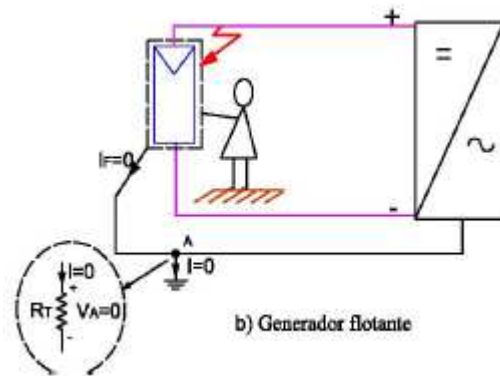


Fig 4.33 Configuración de conexión a tierra con generador flotante, en situación de contacto directo (fuente 43)

4.9-Caseta para equipos

Se ha decidido construir una pequeña caseta para alojar las baterías, el regulador y el inversor, ya que las baterías no se pueden colocar en ninguna habitación que sea habitada. Se tendrá que tener en cuenta la normativa (fuente 38), para que los equipos queden alojados conforme a ella.

Respecto a las baterías, se dejará un pasillo de 75 cm para poder realizar fácilmente su mantenimiento y sustitución. Irán colocadas en una estantería que no se corra con el ácido del electrolito y en una parte de la caseta a la que no lleguen directamente los rayos UV. Además se colocará la rejilla calculada en el apartado 4.7.2. para asegurar su ventilación.

El regulador estará a una distancia ligeramente superior a 0,5 m de las baterías, para evitar riesgos de explosión y a una altura máxima de 1,7 m.

El inversor no estará expuesto a la radiación UV, el polvo ó la humedad.

Se colocará una puerta con cerradura para evitar la entrada de personal no autorizado ó animales, para evitar riesgos innecesarios. No se pondrá ninguna ventana, para evitar que lleguen rayos UV a los equipos.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

La iluminación y, en general toda la instalación eléctrica, al haber baterías en la sala, se realizará como dicta la instrucción técnica ITC-BT-30 del código de baja tensión (fuente 47).

La caseta se construirá utilizando ladrillo, evitando así partes prefabricadas, que podrían aislar térmicamente los equipos de manera menos eficiente.

4.10-Estructura de fijación de módulos

Se han visto distintos tipos de estructuras de fijación para tejado plano. Las hay preparadas para una inclinación fija, adaptables a distintas inclinaciones y también, se ha encontrado una estructura que permite cambiar fácilmente la inclinación de los módulos. Se ha elegido ésta, ya que permite, en el caso de que el perfil de consumo cambie, hacer un estudio de la inclinación óptima del sistema y cambiar ésta rápidamente. También permite cambiar, en pasos de 10° , la inclinación todos los meses, optimizando así la energía generada por el sistema.

Además, el coste de la instalación no tiene gran variación ya que, mientras que una estructura de fijación convencional, adaptable a 60° , con una longitud de 1,5 m, cuesta 45,41 euros, mientras que la estructura adaptable, desde 10° hasta 60° , cuesta 105,38 (con las mismas características). Supone más del doble de coste, pero considerando el global del proyecto es un coste ínfimo.



Fig 4.34 Estructura VarioTop de Schletter, adaptable desde 10° a 60° (fuente 48)

CAPÍTULO 5

PLANOS

5.1-Índice

	<u>Página</u>
5.2. Situación y emplazamiento	64
5.3. Esquema unifilar	66
5.2.1. Parte DC	66
5.2.2. Parte AC	67
5.4. Estructura de módulos	67
5.5. Caseta	68
5.6. Distribución en planta de los componentes	70

5.2-Situación y emplazamiento

Colmenar es un pueblo, con una población ligeramente superior a 3500 habitantes, situado en la comarca de la Axarquía, en la provincia de Málaga que basa su economía en la agricultura, la ganadería y, una floreciente industria de embutidos.



Fig 5.1 Situación de Colmenar (fuente 52)

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

La vivienda se encuentra situada en Polígono 10 Parcela 107, Los Juanicos, Colmenar (Málaga). La parcela tiene una extensión de 9874 m² y, está calificada como suelo rústico, por lo tanto, sólo se puede construir una nave de aperos, de 30 m². La situación del terreno, alejado de la red eléctrica, abre la posibilidad de instalar un sistema fotovoltaico autónomo para abastecer el consumo eléctrico. Vea la siguiente figura donde se puede observar, indicada por un símbolo tricolor, la posición de la parcela.

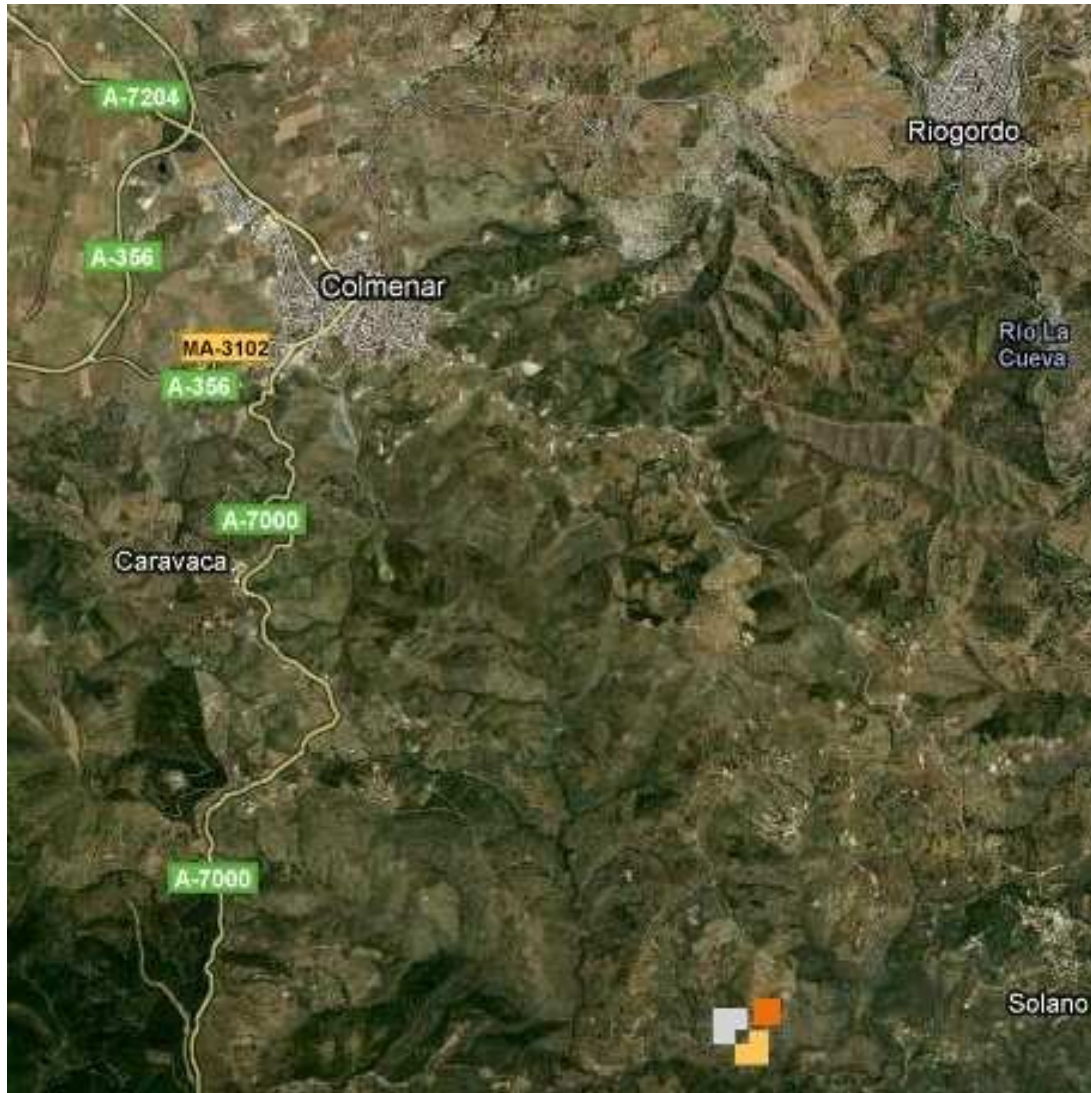


Fig 5.2 Situación de la parcela respecto a Colmenar (fuente 52)

La vivienda se encuentra situada la parte más alta de un monte, a unos 400 metros sobre el nivel del mar. Su situación privilegiada, le evita ser objeto de sombras indeseadas, que mermarían el rendimiento del generador fotovoltaico. La parcela, se encuentra dentro del término municipal de Colmenar, pero justo en el límite con el de Málaga (ver línea azul en la figura siguiente). La casa se encuentra situada en la zona marcada con una “d”.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

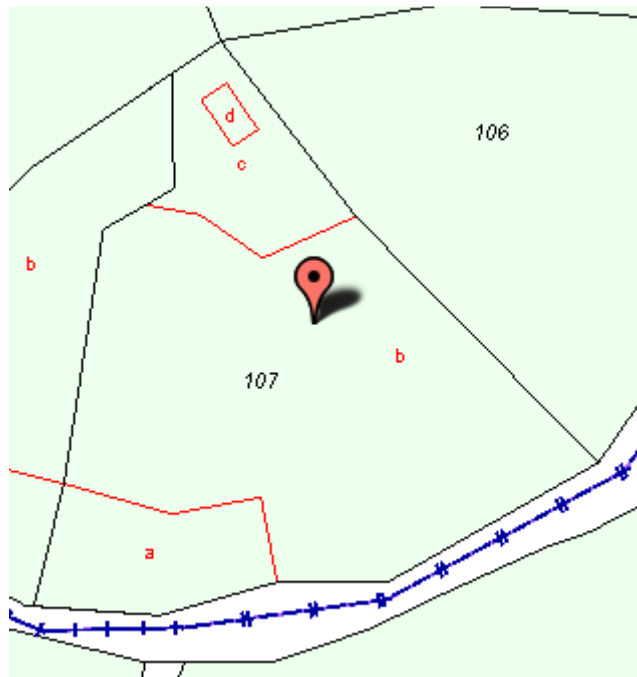


Fig 5.3 Situación de la casa dentro de la parcela (fuente 53)

5.3-Esquema unifilar

A continuación se presentan los esquemas eléctricos de la instalación.

5.3.1 Parte DC

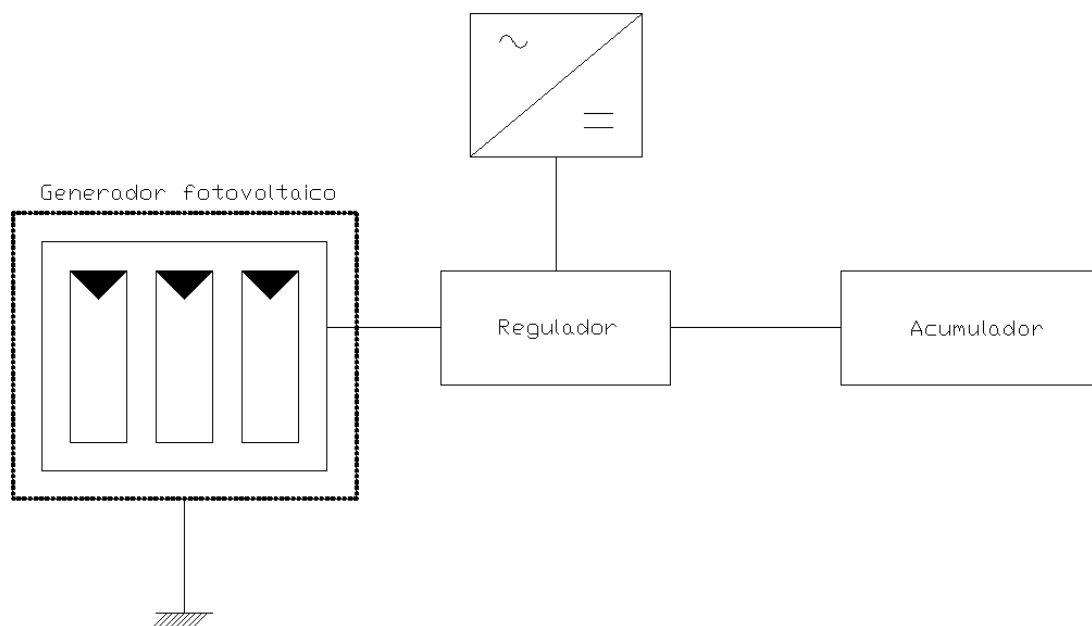


Fig 5.4 Esquema unifilar parte DC

Hay que notar en este esquema que los módulos sólo están conectados a tierra por sus perfiles.

5.3.2 Parte AC

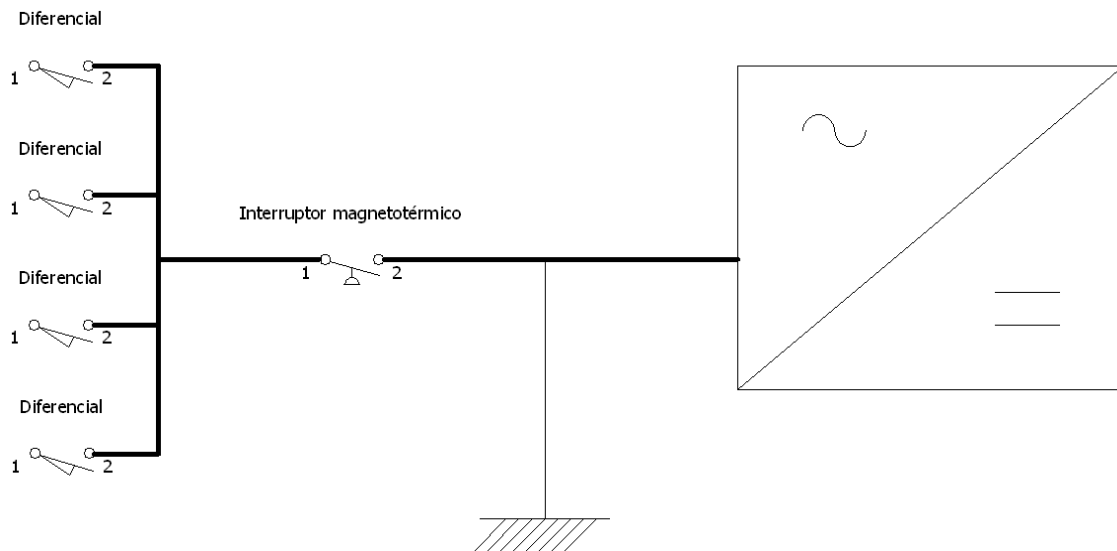


Fig 5.5 Esquema unifilar parte AC

5.4-Estructura de módulos



VarioTop – ángulo 60 grados

Fig 5.6 Aspecto de la estructura elegida

La inclinación es la presentada en la figura anterior (60 grados). Se presenta a continuación la planta de la estructura, con las cotas en centímetros. Son 2 estructuras que alojan 3 módulos.

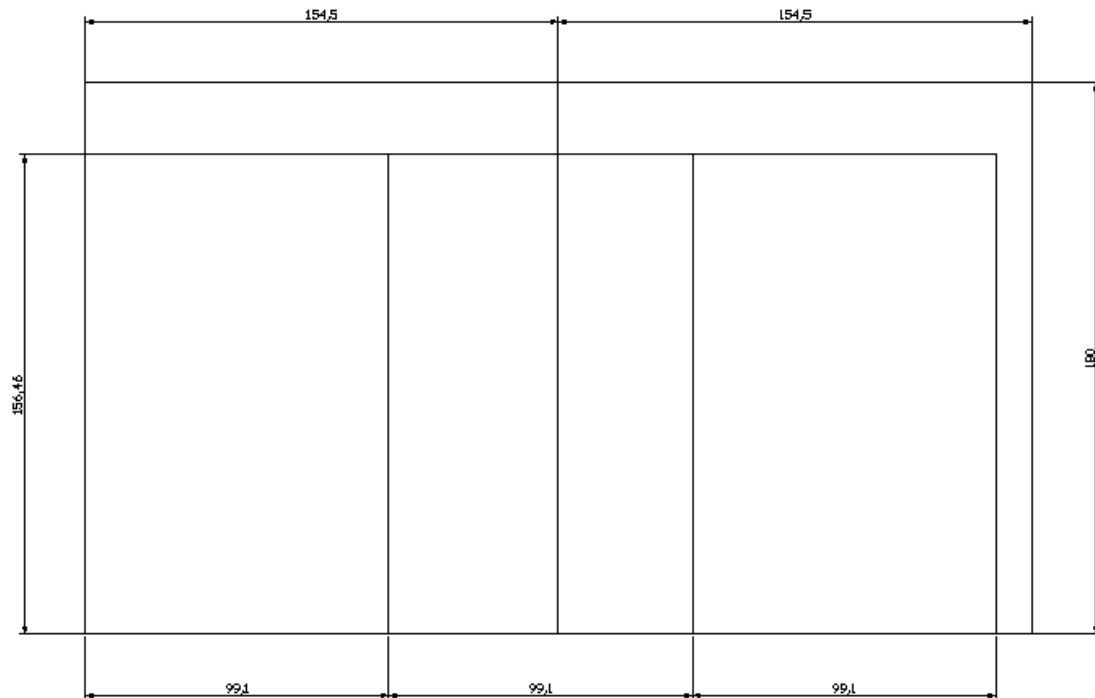


Fig 5.7 Planta de la estructura de módulos con los 3 módulos

5.5-Caseta

Las cotas se encuentran en centímetros. Los elementos a instalar en la caseta son una puerta y una rejilla de ventilación. Se muestra la planta antes de colocar el tejado, para que se observe el espacio interior.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

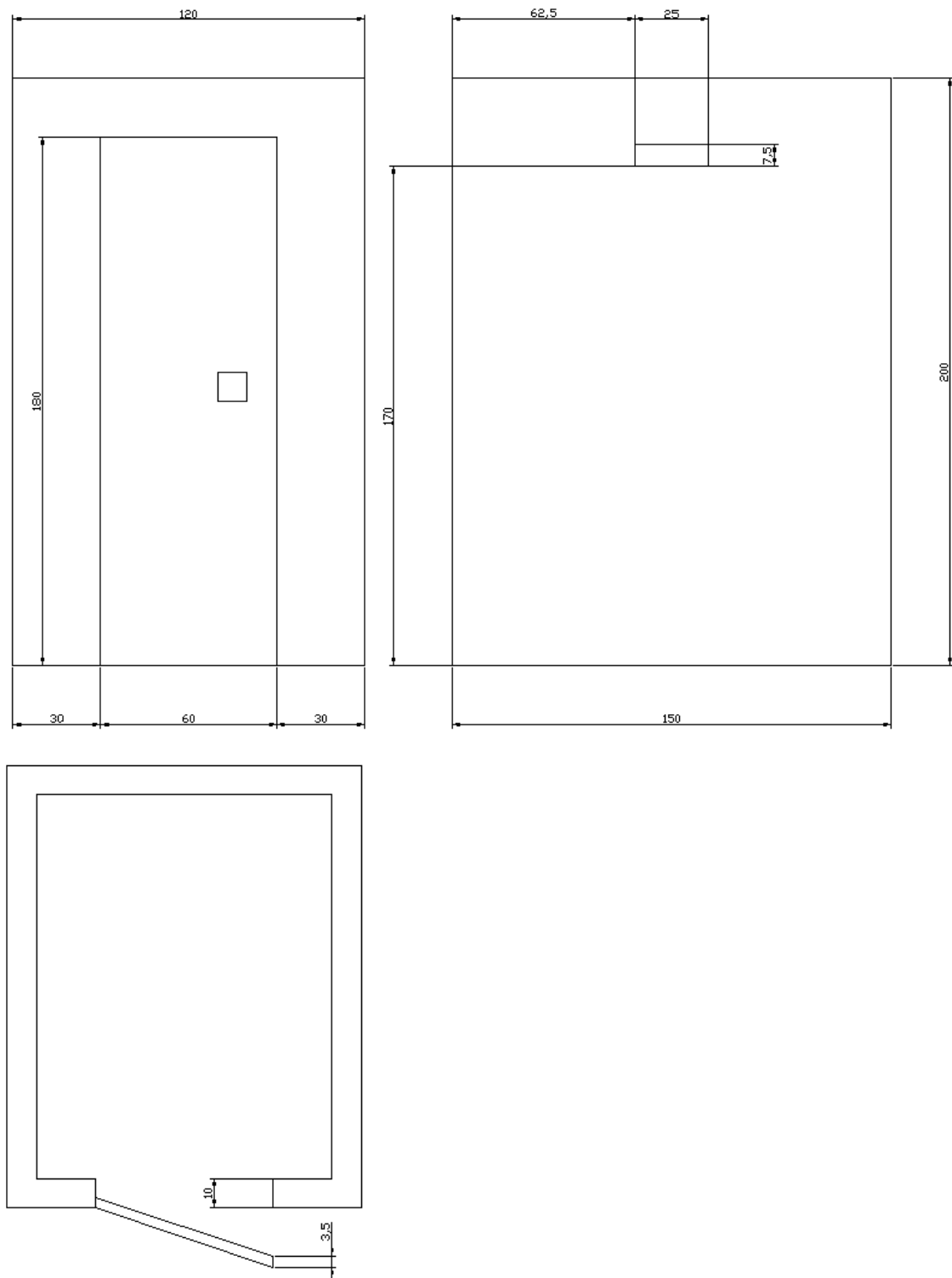


Fig 5.8 Vistas de la caseta

5.6-Distribución en planta de los componentes

El dato más importante a tener en cuenta es que la estructura de paneles se colocará contigua a la caseta para minimizar la longitud del cable de continua.

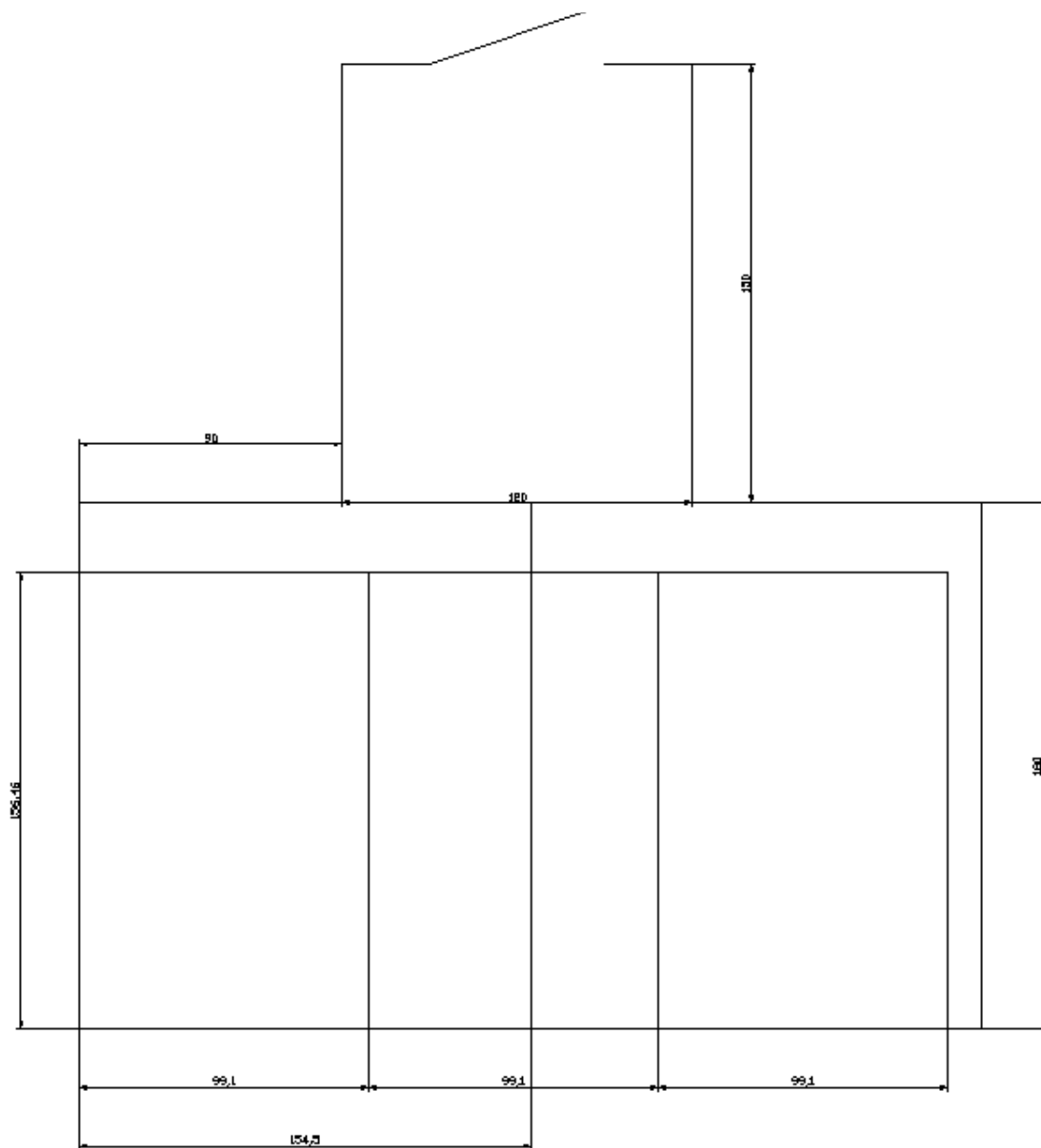


Fig 5.9 Distribución en planta de los componentes

CAPÍTULO 6

PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

6.1-Introducción

Se ha descompuesto la instalación en las siguientes tareas. Además, se han temporizado, redondeando las cifras obtenidas en el presupuesto a partir de los datos de la base de datos de precios de construcción Bedec (fuente 45).

Código	Tarea	Personal	Tiempo (horas)
A	Paredes caseta	Albañil 1ª y peón	9
B	Tejado caseta	Montador 1ª y peón	1
C	Puerta caseta	Albañil 1ª y peón	1
D	Estructura paneles	Montador 1ª y peón	1
E	Toma de tierra	Electricista 1ª y ayudante	4
F	Montaje paneles	Electricista 1ª y ayudante	5
G	Instalación baterías, regulador e inversor	Electricista 1ª y ayudante	3
H	Instalación protección AC	Electricista 1ª y ayudante	2
Total			26,00

Tabla 6.1 Duración de tareas

6.2-Diagramas y análisis de red

Se mostrará a continuación el diagrama de red de la instalación. Para su realización se ha tenido en cuenta que existen 3 grupos diferenciados de trabajadores, que no pueden realizar 2 tareas a la vez y, que existen tareas de unos y otros grupos, que necesitan de la finalización de otras para poder ser empezadas. Por ejemplo, es lógico que no se pueda colocar el tejado de la caseta si no se han construido previamente las paredes. Tampoco se podrán instalar los paneles si no se ha colocado su estructura. Sin embargo, se podrán colocar la puerta y el tejado de la caseta simultáneamente, ya que se realizan por trabajadores distintos y no interfieren las tareas de unos con las de otros.

En la figura siguiente se ha marcado el camino crítico del proyecto mediante cuadros rojos con línea gruesa. Este camino crítico determina las tareas que, si se prolongan en el tiempo más de lo planificado, prolongarán a su vez la duración de la ejecución del proyecto.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

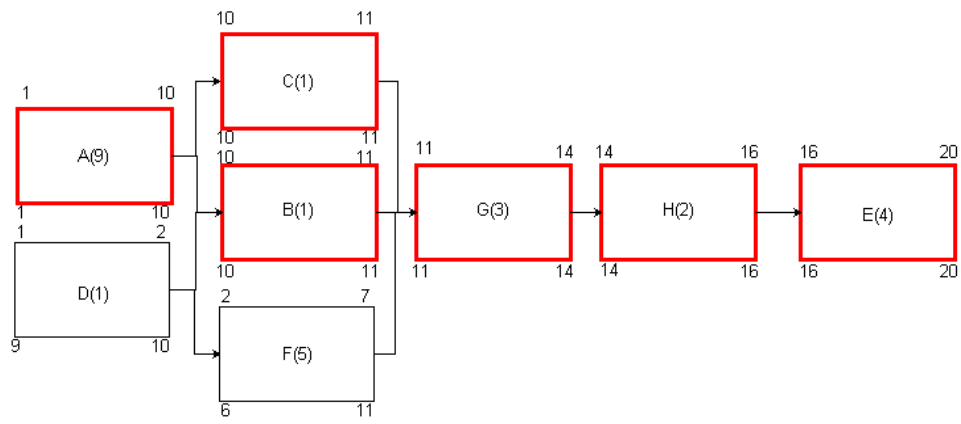


Fig 6.1 Diagrama de red del proyecto

CAPÍTULO 7

PRESUPUESTO

7.1-Introducción

Se han buscado precios en distintos proveedores de energía solar y electricidad. Para los precios de mano de obra y materiales de construcción se ha utilizado la base de datos Bedec (fuente 45).

7.2-Precios de construcción

En este apartado se presentan los precios de la construcción de la caseta que aloja los equipos y, la instalación de la estructura para los módulos. Para empezar se presentan los precios de la materia prima.

Tarea	Material (unidad)	Precio unitario (€)	Cantidad	Precio total (€)
Paredes caseta 1,5x1,2x2 m	Agua (m3)	1,10	0,16	0,18
Paredes caseta 1,5x1,2x2 m	Mortero (t)	39,31	0,70	27,60
Paredes caseta 1,5x1,2x2 m	Ladrillo perforado	0,35	446,47	156,27
Paredes caseta 1,5x1,2x2 m	Mezclador para mortero (h)	1,70	2,16	3,67
Tejado caseta 1,5x1,2 m	Placa de fibrocemento	5,16	2,09	10,77
Tejado caseta 1,5x1,2 m	Ganchos y juntas	5,16	3,06	15,79
Puerta caseta	Rejilla de ventilación	12,00	1,00	12,00
Puerta caseta	Manta filtrante para rejilla portafiltros 300x100	0,64	1,00	0,64
Puerta caseta	Hoja de puerta para exteriores 1,8x0,6x0,035	128,40	1,00	128,40
Puerta caseta	Premarco puerta	22,84	1,00	22,84
Puerta caseta	Agua (m3)	1,10	0,02	0,02
Puerta caseta	Mortero (t)	39,31	0,07	2,56
Puerta caseta	Mezclador para mortero (h)	1,70	0,20	0,34
Estructura paneles	Estructura paneles Schletter VarioTop	105,38	2,00	210,76
Total				591,83

Tabla 7.1. Precio de materiales de construcción

Los precios de la mano de obra se presentan a continuación.

Tarea	Personal	Precio hora (€)	Horas	Precio total (€)
Paredes caseta 1,5x1,2x2 m	Albañil 1ª y peón	33,35	8,64	288,14
Tejado caseta 1,5x1,2 m	Montador 1ª y peón	33,93	0,31	10,63
Puerta	Albañil 1ª y peón	33,35	0,50	16,68
Estructura paneles	Montador 1ª y peón	33,93	1,00	33,93
Total				349,38

Tabla 7.2 Precio de mano de obra de construcción

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

7.3-Precios de instalación eléctrica

En este apartado se presentan los precios de la instalación eléctrica. Para empezar se presentan los precios de la materia prima.

Tarea	Material (unidad)	Precio unitario (€)	Cantidad	Precio total (€)
Toma de tierra	Conductor de cobre desnudo de 25 mm ²	1,17	15	17,55
Toma de tierra	Pica de tierra de acero y recubrimiento de cobre	8,87	2	17,74
Montaje paneles	Panel silicio policristalino REC215AE	619	3	1857,00
Montaje paneles	Conector macho MC3	3	3	9,00
Montaje paneles	Conector hembra MC3	3,43	3	10,29
Montaje paneles	Pinza aluminio para módulos con marco	2,1	12	25,2
Montaje paneles	Cable solar ÖLFLEX SOLAR XLR	0,99	12	11,88
Instalación baterías, regulador e inversor	Batería MIDAC 8OPZS800	2160	2	4320,00
Instalación baterías, regulador e inversor	Cable solar ÖLFLEX SOLAR XLR	0,99	4	3,96
Instalación baterías, regulador e inversor	Inversor Solon Top Class 15/24	1142	1	1142,00
Instalación baterías, regulador e inversor	Regulador Steca Tarom 235	217	1	217,00
Instalación protección AC	Caja para cuadro eléctrico AC	25,41	1	25,41
Instalación protección AC	Magnetotérmico	3,3	1	3,30
Instalación protección AC	Interruptor diferencial sensibilidad 30 mA	56,33	4	225,32
Total				7885,65

Tabla 7.3 Precio de materiales de instalación eléctrica

Los precios de la mano de obra se presentan a continuación.

Tarea	Personal	Precio hora (€)	Horas	Precio total (€)
Toma de tierra	Electricista 1ª y ayudante	34,64	3,4	117,78
Montaje paneles	Electricista 1ª y ayudante	34,64	4,5	155,88
Instalación baterías, regulador e inversor	Electricista 1ª y ayudante	34,64	3	103,92
Instalación protección AC	Electricista 1ª y ayudante	34,64	1,7	58,89
Total				436,46

Tabla 7.4 Precio de mano de obra de instalación eléctrica

7.4-Descomposición de precios en tareas

A continuación, se presentan los precios de las distintas tareas y el precio total del proyecto.

Tarea	Personal	Tiempo (horas)	Precio (€)
Paredes caseta	Albañil 1ª y peón	8,64	475,85
Tejado caseta	Montador 1ª y peón	0,31	37,19
Puerta caseta	Albañil 1ª y peón	0,50	183,47
Estructura paneles	Montador 1ª y peón	1,00	244,69
Toma de tierra	Electricista 1ª y ayudante	3,4	152,97
Montaje paneles	Electricista 1ª y ayudante	4,5	2069,15
Instalación baterías, regulador e inversor	Electricista 1ª y ayudante	3	7885,65
Instalación protección AC	Electricista 1ª y ayudante	1,7	312,92
Total		23,05	11361,89

Tabla 7.5 Precio cada una de las tareas y total del proyecto

CAPÍTULO 8

SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO Y SISTEMA DE COMBUSTIÓN FÓSIL

8.1-Introducción

En este capítulo se realizará una comparación del sistema fotovoltaico autónomo objeto de este proyecto, con distintos generadores que utilizan algún tipo de combustible fósil para su funcionamiento (gasoil ó gasolina). Estos generadores también se suelen denominar grupos electrógenos.

8.2-Coste de operación de los sistemas de combustión fósil

Estos generadores no se suelen utilizar para cargar baterías, por lo tanto, para calcular su consumo, se considerará que están conectados continuamente los días que hay consumo. Se considera un precio por litro de gasolina de 1,073 € y para el gasoil de 0,974 € (fuente 49).

Para calcular los días que está en funcionamiento el generador, se tiene en cuenta que, hay consumo 2 días a la semana, lo que hace un total de 106 días al año trabajando las 24 horas. Durante 25 años, que es la vida útil que se le supone a una instalación fotovoltaica, hacen un total de 2650 días.

Se han utilizado 2 distribuidores (fuentes 50 y 51) para elaborar una tabla comparativa de potencias y costes. No se ha incluido ningún generador diesel, ya que sólo se han encontrado generadores de potencias superiores a los 5 kW, potencias muy lejanas a los 1,2 kW necesarios para el consumo de este proyecto.

Marca	Modelo	Combustible	Potencia nominal (W)	Consumo (l/h)	Precio (€)	Coste 25 años (€)
Genergy	GG20i	Gasolina	2000	1,27	545,50	4164,44
Genergy	Lanzarote	Gasolina	2000	1,00	650,74	3494,19
Ayerbe	4000 AVR	Gasolina	3200	1,70	1184,94	6018,81
Ayerbe	ay2000ins h	Gasolina	1550	0,80	1080,54	3355,30
Atg	G2000i	Gasolina	1700	0,95	385,12	3086,40

Fig 8.1. Comparación de generadores a gasolina

Todos estos generadores presentan un coste total a 25 años muy inferior al coste del sistema fotovoltaico autónomo que se ha dimensionado, que es de cerca de 11500 €.

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

No se han tenido en cuenta los mantenimientos de ninguno de los 2 sistemas. Los grupos electrógenos necesitan cambios de bujías, aceite, juntas y filtros. Mientras tanto, el sistema fotovoltaico autónomo necesita que se limpien los módulos frecuentemente, se reponga en electrolito de la batería ó se sustituya cuando su eficiencia de carga sea demasiado baja (posiblemente cada 8 años, en función del uso y el mantenimiento que tenga).

Tampoco se han tenido en cuenta las protecciones del circuito AC para el grupo electrógeno ni que debe estar protegido contra la intemperie. Tampoco la toma de tierra. Si se incluyen estos costes, suponiendo que las necesidades sean iguales a las del sistema fotovoltaico autónomo, suponen un incremento de 1160 €. Aún así sigue saliendo más barato, ya que el grupo electrógeno más caro supera ligeramente los 6000 €, lo que supondría un coste total de 7200 €, que sigue siendo inferior al coste del sistema fotovoltaico.

De esta manera, no se puede justificar, económicamente, sin subvenciones, la instalación de un sistema fotovoltaico autónomo. Sin embargo, el hecho de tener que comprar y transportar gasolina, de tener un sistema que es ruidoso y emite gases molestos y contaminantes puede inclinar la balanza hacia el sistema fotovoltaico.

CAPÍTULO 9

BIBLIOGRAFÍA

1. “Applied Photovoltaics”, Stuart R. Wenham, Martin A. Green y Muriel E. Watt, Centre for Photovoltaic Devices and Systems.
2. “Solar Cells, operating principles, technology and system applications”, Martin A. Green, Prentice-Hall 1982
3. “Handbook of Photovoltaic Science and Engineering”, Antonio Luque y Steven Hegedus, Wiley 2003
4. “Photovoltaic Solar Energy Generation”, A. Goetzberger y V.U. Hoffmann, Springer 2005
5. “Renewable and Efficient Electric Power Systems”, Gilbert M. Masters, Wiley 2004
6. “Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: aplicación a la electrificación rural”, Pablo Díaz Villar, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2003
7. Datos de radiación solar www.agenciaandaluzadelaenergia.es
8. Tarifas eléctricas Endesa
http://www.endesaonline.es/ES/Hogares/teguia/asesoramientotarifas/tarifas_electricas/tarifas/index.asp
9. “Ingeniería de los sistemas autónomos. Introducción al diseño y dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos”, Mariano Sidrach de Cardona Ortín, Máster oficial en tecnología de los sistemas de energía fotovoltaica, Universidad internacional de Andalucía 2008/09
10. “Aplicación de la energía solar fotovoltaica en vehículos de emergencia sanitaria. Proyecto five”, Grupo IDEA. Dpto. Electrónica. Universidad de Jaén
11. Carrera de vehículos solares <http://globalgreenchallenge.com.au>
12. Carrera de vehículos solares <http://americansolarchallenge.org>
13. Vehículos solares <http://www.sunvee.com>
14. Barcos solares <http://www.seacleaner.com/>
15. Noticia barco solar <http://www.redesignssa.com/mnoticias.aspx?id=28>
16. Tienda de teléfonos, teléfono de emergencia solar
<http://www.phonemerchants.com/tavasoemtoen.html>
17. Cargador de móvil solar <http://www.paramountzone.com/solar-mobile-phone-charger.htm#>
18. “Dimensionado de sistemas fotovoltaicos Autónomos”, Jorge Aguilera, Leocadio Hontoria, GRUPO IDEA. DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA. ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDAD DE JAÉN, Curso de Energía Solar fotovoltaica, CIEMAT
19. “Fabricación de módulos de silicio cristalino”, Jorge Aguilera Tejero, Máster oficial en tecnología de los sistemas de energía fotovoltaica, Universidad internacional de Andalucía 2008/09

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

20. Fabricante de paneles fotovoltaicos <http://www.concentrix-solar.de>
21. Fabricante de paneles fotovoltaicos <http://www.bp.com/>
22. Fabricante de paneles fotovoltaicos <http://www.grupounisolar.com/>
23. Fabricante de paneles fotovoltaicos <http://www.avancis.de>
24. Fabricante de paneles fotovoltaicos <http://www.firstsolar.com/>
25. Jochen Siemer, 9-2009, Photon International, Mixed messages, 98-102
26. “Ingeniería de los sistemas autónomos. La acumulación en los sistemas autónomos”, Nieves Vela Barrionuevo, Máster oficial en tecnología de los sistemas de energía fotovoltaica, Universidad internacional de Andalucía 2008/09
27. “Ingeniería de los sistemas autónomos. Acondicionamiento de potencia”, Luis M^a Arribas de Paz, Máster oficial en tecnología de los sistemas de energía fotovoltaica, Universidad internacional de Andalucía 2008/09
28. Fabricante de reguladores <http://www.stecasolar.com/>
29. Fabricante de inversores <http://www.ingeteam.com/>
30. Distribuidor de productos de energía solar www.jhroerden.com
31. Fabricante de paneles fotovoltaicos <http://www.recgroup.com/>
32. Agencia estatal de meteorología <http://www.aemet.es/>
33. Distribuidor energía solar <http://www.technosun.com/>
34. Distribuidor energía solar <http://www.cablematsolar.com/>
35. Distribuidor energía solar <http://www.teknosolar.com/>
36. Distribuidor de material eléctrico <http://www.voltimum.es/>
37. Distribuidor de material eléctrico <http://generador-electrico.com/>
38. “Instrucciones técnicas complementarias FV-01 a FV-11” Boja nº 98, Sevilla, 18 de Mayo de 2007.
39. Fabricante de baterías <http://www.midacbatteries.com/>
40. Distribuidor de material eléctrico www.direct-electro.es/
41. Distribuidor de material eléctrico <http://es.rs-online.com>
42. Distribuidor de material eléctrico <http://www.schneiderelectric.es>
43. “Otros aspectos de la ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. Seguridad y protecciones”, Pedro Gómez Vidal, Máster oficial en tecnología de los sistemas de energía fotovoltaica, Universidad internacional de Andalucía 2008/09
44. “Instrucción técnica complementaria para baja tensión: ITC-BT-26. Instalaciones interiores en viviendas. Prescripciones de instalación”
45. Base de datos de precios de arquitectura, ingeniería y construcción. <http://www.construmatica.com>
46. “Instrucción técnica complementaria para baja tensión: ITC-BT-18. Instalaciones interiores en viviendas. Prescripciones de instalación”
47. “Instrucción técnica complementaria para baja tensión: ITC-BT-30. Instalaciones en locales de características especiales”
48. Fabricante de estructuras para módulos fotovoltaicos <http://www.schletter.de/es/>
49. Precio de carburantes <http://geoportal.mityc.es/hidrocarburos/eess/>
50. Distribuidor de grupos electrógenos <http://www.genergy.es/>
51. Distribuidor de grupos electrógenos <http://generador-electrico.com/>
52. Mapas <http://maps.google.es/maps>
53. Dirección general del catastro <http://www.catastro.meh.es/>

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

54. Instalaciones de energía solar fotovoltaica “Pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas de red”, IDAE, febrero 2009
55. UNE 157001 “Criterios generales para la elaboración de proyectos”, AENOR, Febrero 2002

ÍNDICE DE TABLAS

	<u>Página</u>
2.1. Comparación de costes de módulos monocristalinos y policristalinos (fuente 3)	18
2.2. €/Wp para módulos de células cristalinas (fuente 25)	19
2.3. Comparación eficiencias monocristalino y policristalino (fuente 21)	20
2.4. Comparación eficiencias capa fina (fuentes 22, 23 y 24)	22
2.5. €/Wp para distintas tecnologías de módulo (fuente 25)	25
3.1. Potencia de los aparatos a alimentar	31
3.2. Perfil de consumo del sistema	32
3.3. Consumo medio diario	32
4.1. Datos de radiación para mes y ángulo de inclinación	38
4.2. Cálculo de la inclinación óptima	39
4.3. Valores de Isc y Voc del generador fotovoltaico	42
4.4. Especificaciones de la batería elegida	43
4.5. Factores a tener en cuenta para la elección del regulador	43
4.6. Especificaciones del regulador Steca Tarom 235 (fuente 28)	44
4.7. Especificaciones del regulador Steca Solarix 2401 (fuente 28)	44
4.8. Características de los 2 reguladores (fuente 28)	45
4.9. Consumos de la instalación	46
4.10. Características eléctricas del inversor IrepsoL GMS1800	46
4.11. Características eléctricas del inversor Top Class 15/24 de la marca Solon	47
4.12. Características eléctricas del inversor Allegro10/24 de la marca Solon	47
4.13. Precios de los inversores preseleccionados	48
4.14. Características eléctricas de la serie AJ de Steca, inversor + regulador	48
4.15. Cálculo de cableado por corriente máxima(fuente 9)	52
4.16. Uso de energía, probabilidad de pérdida de carga (Pr LOL)	56
4.17. Consumos	60
4.18. Circuitos	60
6.1. Duración de tareas	70
7.1. Precio de materiales de construcción	72
7.2. Precio de mano de obra de construcción	72
7.3. Precio de materiales de instalación eléctrica	73
7.4. Precio de mano de obra de instalación eléctrica	73
7.5. Precio cada una de las tareas y total del proyecto	73
8.1. Comparación de generadores a gasolina	74

ÍNDICE DE FIGURAS

	<u>Página</u>
1.1. Aspecto y situación de la parcela donde se encuentra la casa a electrificar	5
2.1. Esquema típico de un sistema fotovoltaico autónomo (fuente 9)	8
2.2. Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo híbrido (fuente 9)	9
2.3. Clasificación de los usos de los sistemas fotovoltaicos autónomos (fuente 3)	10
2.4. Calculadora solar (autónoma)	11
2.5. Calculadora solar (híbrida)	11
2.6. Cargador de teléfono móvil solar	11
2.7. Teléfono de emergencia “ETP-MT/R OPT SOLAR” (fuente 16)	12
2.8. UVI móvil con sistema fotovoltaico autónomo (fuente 10)	12
2.9. Coche de carreras solar	13
2.10. Coche de golf solar	13
2.11. Barco de paseo solar	14
2.12. Ilustración de satélite con paneles solares	15
2.13. Vehículo explorador de la superficie de Marte (misión Opportunity)	15
2.14. Sistema fotovoltaico autónomo para una cabaña	16
2.15. Sistema fotovoltaico autónomo para CC (fuente 18)	16
2.16. Sistema fotovoltaico autónomo para CA (fuente 18)	17
2.17. Módulo monocristalino	19
2.18. Módulo policristalino	19
2.19. Máxima densidad de corriente alcanzable (Maximum achievable current density (MACD)) por una célula plana con capa antirreflectiva en función de su espesor (fuente 3)	20
2.20. Voc Vs espesor de célula para 2 Corriente máxima generable por una célula plana con capa antirreflectiva, en función del espesor de la célula, para grandes y pequeñas velocidades de recombinación (fuente 3)	21
2.21. Instalación de paneles de capa fina sobre tejado	22
2.22. Tecnología del módulo FLATCON de la compañía Concentrix (fuente 20)	23
2.23. Seguidores con módulos FLATCON de la compañía Concentrix (fuente 20)	23
2.24. Evolución del precio €/Wp para módulos monocristalinos (fuente 25)	24
2.25. Evolución del precio €/Wp para módulos policristalinos (fuente 25)	24
2.26. Evolución del precio €/Wp para módulos de silicio amorfo (fuente 25)	25
2.27. Evolución del precio €/Wp para módulos de TeCd (fuente 25)	25
2.28. Despiece de una batería de plomo ácido (fuente 26)	27
2.29. Regulador de carga Steca (fuente 28)	27
2.30. Inversores de distintos tamaños de Ingecon (fuente 29)	28
2.31. El diseño y el dimensionado de un sistema fotovoltaico (fuente 9)	29
4.1. El diseño y el dimensionado de un sistema fotovoltaico (fuente 9)	33
4.2. Página principal base de datos de radiación “Agencia Andaluza de la	34

Trabajo fin de máster “Sistema fotovoltaico autónomo para casa de campo en Colmenar, Málaga”

Energía” (fuente 7)	
4.3. Datos en base de datos de radiación “Agencia Andaluza de la Energía” (fuente 7)	34
4.4. Página principal PVSYST	35
4.5. Página principal opción “Tools”	35
4.6. Introducción de las coordenadas	36
4.7. Datos meteorológicos de la NASA	36
4.8. Datos meteorológicos de la Agencia Andaluza de la Energía	37
4.9. Pantalla principal. Diseño preliminar	37
4.10. Elección de la localización del proyecto	38
4.11. Especificación de la inclinación de los paneles	39
4.12. Perfil de consumo mensual (excepto junio, julio y agosto)	40
4.13. Perfil de consumo para junio, julio y agosto	40
4.14. Resultado del diseño previo	41
4.15. Parte de la especificación del módulo elegido	42
4.16. Imágenes de celdas del mismo tipo y marca que la batería elegida	43
4.17. Fotografía del regulador Steca Tarom 235 (fuente 28)	44
4.18. Fotografía del regulador Steca Solarix 2401 (fuente 28)	44
4.19. Especificación del módulo elegido en PVSYST	49
4.20. Especificación de la batería elegida en PVSYST	49
4.21. Albedo en PVSYST	50
4.22. Especificación de batería y módulo	51
4.23. Especificación de regulador y temperatura de batería	51
4.24. Cálculo de cableado por caída de tensión (fuente 9)	52
4.25. Inclusión de factores de pérdidas	54
4.26. Inclusión de pérdidas por cableado	54
4.27. Factores de pérdidas del sistema	55
4.28. PR (Performance Ratio) y SF (Solar Fraction)	56
4.29. Diagrama de pérdidas del sistema	57
4.30. Superficie de entrada de aire (fuente 38)	58
4.31. Caudal de aire mínimo Superficie de entrada de aire (fuente 38)	58
4.32. Rejilla de ventilación elegida	59
4.33. Magnetotérmico elegido	59
4.34. Configuración de conexión a tierra con generador flotante, en situación de contacto directo (fuente 43)	61
4.35. Estructura VarioTop de Schletter, adaptable desde 10° a 60° (fuente 48)	62
5.1. Situación de Colmenar (fuente 52)	63
5.2. Situación de la parcela respecto a Colmenar (fuente 52)	64
5.3. Situación de la casa dentro de la parcela (fuente 53)	65
5.4. Esquema unifilar parte DC	65
5.5. Esquema unifilar parte AC	66
5.6. Aspecto de la estructura elegida	66
5.7. Planta de la estructura de módulos con los 3 módulos	67
5.8. Vistas de la caseta	68
5.9. Distribución en planta de los componentes	69

6.1. Diagrama de red del proyecto

71

[Esta página ha sido dejada intencionadamente en blanco]