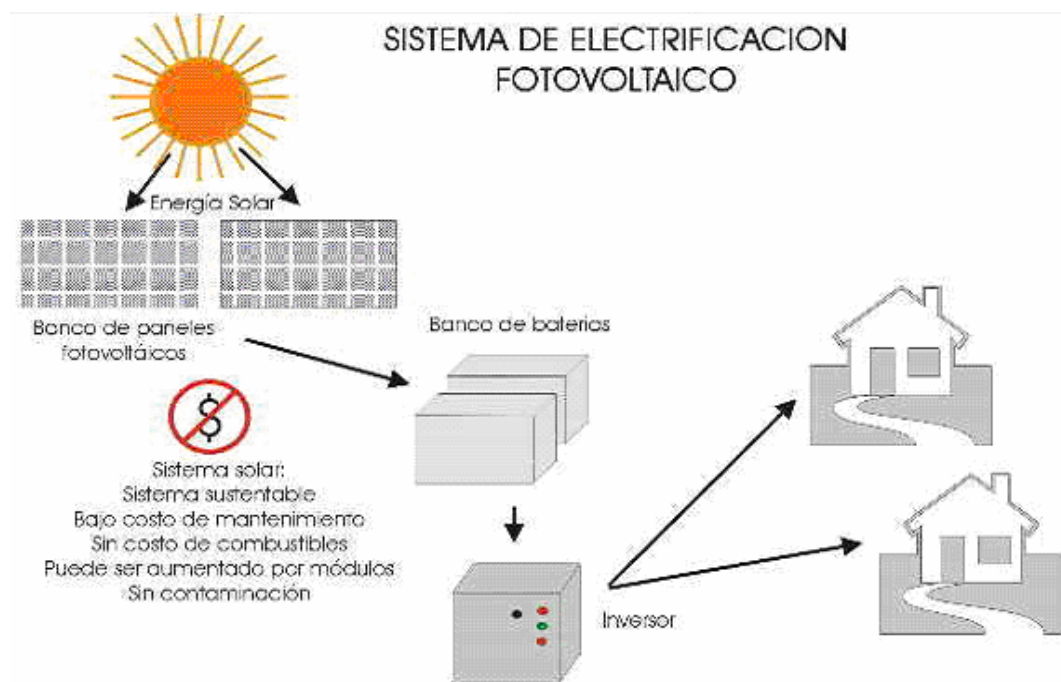




## 1. FUNDAMENTOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

El esquema de proceso de un sistema fotovoltaico es el siguiente:



En primer lugar la radiación solar incide sobre los módulos fotovoltaicos formados por un material semiconductor de silicio cristalino que posee efecto fotoeléctrico, es decir, transforma (con un rendimiento aproximado del 19%), la energía solar en energía eléctrica continua de 12, 24, 36 V.

Posteriormente esa energía es acumulada en baterías para disponer de ella en cualquier momento en el que se necesite.

Entre los módulos fotovoltaicos y las baterías es necesario incluir un regulador de carga de modo que cuando las baterías estén cargadas (por medida de su tensión) el regulador cierre el aporte de energía desde los paneles solares a la batería, para impedir la sobrecarga de las baterías y por consiguiente el acortamiento de su vida útil. De igual forma el regulador cierra el aporte de energía de las baterías al consumo cuando las baterías alcanzan su nivel de descarga (por medida de su tensión), para impedir la sobre descarga de las baterías y por consiguiente el acortamiento de su vida útil.

Finalmente, la energía acumulada por la batería (en corriente continua) puede utilizarse como tal en luminarias y equipos CC ó transformar, mediante un inversor, la corriente continua en corriente alterna mediante el empleo de un inversor, que transforma los 12,24,36V CC en 230V 50Hz en forma de onda senoidal pura.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

El proyecto trata sobre el abastecimiento eléctrico de una vivienda rural, por medio de una instalación solar fotovoltaica aislada.

Está situada en el pueblo de Guiguillano, situado en el Valle de Mañeru. Su altitud topográfica es de 555m sobre el nivel del mar y presenta una buena insolación solar, sin sombras de importancia, y con frecuentes días soleados continuos en periodo estival.

La casa se utiliza para uso frecuente. Se dispone de suministro eléctrico.

## 3. DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

En primer lugar estimaremos los consumos eléctricos diarios de los equipos eléctricos que vayan a operar de continuo en la instalación.

Consumo energético estimado				
Elemento	Unidades	Potencia (W)	Horas (h)	Energía (W.h)
Punto de luz	10	15	4	600
Televisión (Samsung)	1	85	3	255
Frigorífico (Lynx)	1		24	300*
Lavadora (Lynx)	1	350	1	350
Ordenador (HP)	1	345	2	690
Microondas	1	1000	0,5	500
Consumo energético teórico: Et (w.h)				<b>2395</b>

\* Consumo medio proporcionado por el fabricante (temperatura exterior 20 C- interior 5°).

A partir del consumo energético teórico Et (w.h), deberemos calcular el consumo energético real E (W.h), necesario para hacer frente a los múltiples

factores de pérdidas que van a existir en la instalación fotovoltaica, del siguiente modo:

$$E = E_t / R$$

**R** = parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, definido como:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \cdot (1 - K_a \cdot N / P_d)$$

Los factores de la ecuación son los siguientes:

- **K<sub>b</sub>**: Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador:
  - 0,05 en sistemas que no demanden descargas intensas.
  - 0,1 en sistemas con descarga profundas.
- **K<sub>c</sub>**: Coeficiente de perdidas en el inversor:
  - 0,05 para inversores senoidales puros, trabajando en régimen óptimo.
  - 0,1 en otras condiciones de trabajo, lejos del óptimo.
- **K<sub>v</sub>**: Coeficientes de pérdidas varias:
  - Agrupar otras pérdidas como (rendimiento de red, efecto joule, etc.).
  - 0,05 – 0,15 como valores de referencia.
- **K<sub>a</sub>**: Coeficiente de autodescarga diario:
  - 0,002 para baterías autodescarga Ni-Cd
  - 0,005 para baterías estacionarias de Pbácido
  - 0,012 para baterías de alta autodescarga (arranque automóviles)
- **N**: Número de días de autonomía de la instalación:
  - Serán los días que la instalación debe operar bajo una irradiación mínima (días nublados continuos), en los cuales se va a consumir más energía de la que el sistema fotovoltaico va a ser capaz de generar.
  - 4-10 días valores de referencia.
- **P<sub>d</sub>**: Profundidad de descarga diaria de la batería:

Esta profundidad de descarga no excederá el 80% (referida a la capacidad nominal del acumulador), ya que la eficiencia de este decrece en gran medida con ciclos de carga-descarga muy profundos.

En la realización de este proyecto se han considerado los siguientes valores de los coeficientes de pérdidas:

$$K_b = 0,1 / K_c = 0,05 / K_v = 0,1 / K_a = 0,005 / N = 4 / P_d = 0,7$$

Según la ecuación el rendimiento de la instalación fotovoltaica **R**, es el siguiente:

$$R = (1 - 0,1 - 0,05 - 0,1) \cdot (1 - 0,005 \cdot 4 / 0,7) = 0,728$$

Y a partir de la ecuación R, el consumo energético real E (w•h) es:

$$E = E_t / R$$

$$E = 2395 / 0,728 = 3289 \text{ W}\cdot\text{h}$$

Una vez definida la utilidad energética real E (w•h), se puede obtener fácilmente la capacidad del banco de baterías C (A•h) necesario del siguiente modo:

$$C = E \cdot N / V \cdot P_d = 3289 \cdot 4 / 24 \cdot 0,7 = \underline{\underline{783\text{Ah}}}$$

Donde V es la tensión nominal del acumulador 24V.

A partir de la capacidad calculada, seleccionaremos el equipo comercial más próximo en prestaciones, dentro de la categoría de baterías plomo-ácido. En nuestro caso el banco de baterías seleccionado será Hawker TYS-6 6OPzS (915Ah – C120, 2V/24V) [http://tutiendaenergetica.es/product.php?id\\_product=202](http://tutiendaenergetica.es/product.php?id_product=202)

Una vez definida la batería vamos a pasar a calcular los paneles solares necesarios para la instalación. Para ello debemos conocer, a partir de valores estadísticos históricos de la zona, el valor de irradiación solar diaria media en superficie inclinada H (Kwh./m<sup>2</sup>•día) del lugar. Para ello deberemos se hará uso de base de datos de irradiación solar mundial online <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php> y de las coordenadas geográficas del lugar (latitud 42°43'03.87"N / longitud 1°52'40.15"O).

Los resultados mensuales medios se recogen en la siguiente tabla, donde se ha considerado que los paneles se disponen en orientación Sur con una inclinación aproximada de 35° (una de las vertientes del tejado cumple con esas especificaciones).

Irradiación solar diaria media, H (Kwh./m<sup>2</sup>.día)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	MED
H	2.25	3.33	4.70	4.93	5.47	5.92	6.07	5.89	5.49	4.13	2.89	2.26	<b>4.47</b>

Ahora es necesario introducir un concepto muy importante, las horas de sol pico HPS (h), definido como las horas de luz solar por día equivalente, pero definidas en base a una irradiancia I (Kw.(m<sup>2</sup>) constante de 1 Kw./m<sup>2</sup>, a la cual está siempre medida la potencia de los paneles solares. La irradiancia H (Kwh./m<sup>2</sup>) es igual al producto de la irradiancia de referencia I (1kw/m<sup>2</sup>) por las horas de pico solar HPS (h). Luego entonces los valores numéricos de la irradiación y horas de pico solar son iguales.

$$H \text{ (kWh/m}^2\text{)} = I \text{ (1kW/m}^2\text{)} \cdot \text{HPS (h)}$$

Entonces, según la ecuación, los valores numéricos son igualmente válidos para las horas de pico solar.

Horas de pico solar, HPS (h)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	MED
HPS	2.25	3.33	4.70	4.93	5.47	5.92	6.07	5.89	5.49	4.13	2.89	2.26	<b>4.47</b>

Los paneles solares producen energía eléctrica durante todo el día equivalente a sólo las horas de pico solar operando a su máxima potencia. Esa máxima potencia es el principal parámetro que define un panel solar y es uno de los principales parámetros de diseño que el proyectista debe definir.

En nuestro caso optaremos por la mejor calidad; se elegirán paneles fotovoltaicos Wanxiang 180w de potencia máxima (pico) y 35,65 V. [http://tutiendaenergetica.es/product.php?id\\_product=61](http://tutiendaenergetica.es/product.php?id_product=61)

El número de paneles solares NP necesarios se calcula del siguiente modo:

$$NP = E/0,9.W_p.HSP$$

Donde Wp (w) es la potencia pico de cada panel solar (180 w).

Como se puede observar en la tabla, los valores de las horas de sol pico varían cada mes, como la casa se ocupa durante todo el año,

calcularemos el número de módulos necesarios para el mes de diciembre ya que es el mes más desfavorable.

$$NP = 3289/0,9.180.2.26 = 3289/366.12 = 8.98 \sim \mathbf{9 \text{ Módulos.}}$$

Se considerará, a efectos de diseño, un número de **9 Módulos**.

Como comprobación del funcionamiento adecuado de los paneles propuestos, calcularemos el factor de utilización o cobertura solar del mes i (Fi) de la instalación. Este factor es la relación entre la energía fotovoltaica disponible y la consumida.

$$Fi = \text{Energía disponible} / \text{Energía consumida}$$

$$\text{Energía disponible} = NP \cdot 0,9 \cdot Wp \cdot HSP$$

Factor de cobertura solar, Fi

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	MED
F	0.99	1.47	2.08	2.18	2.42	2.62	2.69	2.61	2.43	1.83	1.28	1	<b>1.96</b>

Luego podemos comprobar que cumplimos plenamente con la demanda energética necesaria durante todo el año, logrando un factor de cobertura medio anual cercano al 200%.

Los paneles se situarán en el tejado de la vivienda, la superficie ocupada por estos será de 11,48m<sup>2</sup>. Se orientarán al Sur, (a lo sumo se permitirían tolerancias de 20° hacia el este ó el oeste) y con una inclinación lo más cercana posible a 35° (el óptimo para la latitud estudiada). La vertiente del tejado donde se instalaran los módulos cumple con los anteriores requisitos, por lo que se situaran sobre este.

Una vez definido el generador fotovoltaico, deberemos calcular el regulador de carga necesario, para ello simplemente multiplicaremos la intensidad de cortocircuito de cada panel, por el número de paneles en paralelo necesarios. Ese productor será la máxima intensidad nominal a la que trabajará el regulador, Imáx (A):

$$Imáx = 5,60 \cdot 9 = 50.4 \text{ A}$$

Emplearemos un regulador OUTBACK 60 A:  
[http://tutiendaenergetica.es/product.php?id\\_product=224](http://tutiendaenergetica.es/product.php?id_product=224)

Por último seleccionaremos el inversor necesario. Para ello estimamos la potencia máxima instantánea que la instalación va a

demandar en este caso analizando la tabla, vemos que esta puede llegar a ser de unos 2500W.

El equipo seleccionado es el STUDER XTM 2400-24, el cual permite según catálogo, potencia continua de 2000W, picos de 6000W durante un máximo de 5 segundos ó de 2400 durante 30 minutos.