

MANUAL DE FORMACIÓN PARA INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PEQUEÑAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS



Contenido

1. Introducción	4
2. Revisión de las nociones de electrotecnia	5
2.1. Introducción y descripción general	5
2.1.1. CC/CA	5
2.2. Magnitudes y unidades	7
2.3. Principales fórmulas	8
2.4. Conexionado	10
2.5. Ejercicios propuestos	11
2.6. Ejercicios resueltos	12
3. La radiación solar	16
3.1 Definición	16
3.1.1 La orientación de la superficie	18
3.1.2 Posición del módulo	19
3.1.3 Movimiento del sol	19
3.1.4 Conclusiones parciales	20
3.2 Cálculo	20
3.2.1 Resumen del método	21
3.2.2 Método en detalle	21
3.2.3 Fracción directa y difusa de la radiación horizontal	22
3.2.4 El efecto de la inclinación	23
3.2.5 Ejemplo: Benín	23
3.3 En resumen	25
3.4 Referencias	25
4. Componentes de los sistemas solares fotovoltaicos	26
4.1. Descripción global	26
4.2. El Generador fotovoltaico	27
4.2.1. Bases de funcionamiento de los paneles fotovoltaicas [2]:	27
4.2.2. Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son [2]:	28
4.2.3 Parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico [4]:	29
4.2.4. Curva característica de un módulo fotovoltaico [4]:	30
4.2.5. Interconexión de paneles fotovoltaicos [4]:	31
4.3. La batería	31
4.3.1. Tipos de baterías	32
4.3.2. Funcionamiento de la batería	32
4.3.3. Parámetros de la batería	33
4.3.4. Efectos de la temperatura en el comportamiento de una batería	33
4.3.5. Conexionado de las baterías (serie/paralelo/mixta)	34
4.4. El regulador de carga	35
4.4.1. Parámetros que definen a un regulador	36
4.5. El inversor	37
4.5.1. Inversores DC/AC	37
4.5.1.1. Tipos de inversores DC/AC:	37
4.5.1.2. Características de funcionamiento más importantes	37
4.5.1.3. Notas	38
4.5.2. Convertidores DC/DC	38
4.6. Referencias	38

5 El dimensionado de una instalación fotovoltaica	39
5.1. Cálculo de radiación solar	39
5.1.1. Obtención datos de irradiación global horizontal (0°)	39
5.1.1.1. PVgis: [http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php]	39
5.1.1.2. NASA. http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/	40
5.1.2. Cálculo de la irradiación sobre el plano inclinado.	41
5.1.2.1. PVgis	41
5.1.2.2. Aplicación del factor K	42
5.2. Estimación de consumo	44
5.3. Dimensionamiento	46
5.3.1. Paneles	46
5.3.2. Batería	47
5.3.4. Regulador	47
5.3.5. Convertidor	48
5.4. Ejemplo y ejercicio Vivienda solar fotovoltaica con 12 V o 24 V de corriente continua (CC)	48
5.4.1. Plano de la casa	48
5.4.2. Cálculo de la carga	49
5.4.3. GDD: Grado Diario de Descarga	50
5.4.4. Cálculo del número de módulos fotovoltaicos	50
5.4.5. Cálculo de la capacidad de la batería	50
5.4.6. Cálculo del regulador	50
5.4.7. Sección de los conductores	51
5.4.8. Panel – regulador	51
5.4.9. Regulador – batería	51
5.4.10. Regulador – carga	52
5.4.11. Fotos	52
6. Montaje y mantenimiento	55
6.1. Descripción	55
6.2. Normas de seguridad	55
6.2.1. Aspectos generales	55
6.2.2. Baterías	55
6.2.3. Paneles	56
6.2.4. Regulador	56
6.3. Montaje de la instalación	56
6.3.1. Ubicación de la instalación	56
6.3.2. Adquisición de los equipos	58
6.3.3. Construcción de la estructura soporte	58
6.3.4. Colocación y conexión de paneles	60
6.3.5. Batería y regulador	61
6.3.6. Cableado	62
6.4. Mantenimiento	63
6.4.1. Prepare y organice su trabajo	64
6.4.2. Procedimiento de mantenimiento del panel solar	64
6.4.3. Procedimiento de manutención de la batería	65
6.4.4. Procedimiento de manutención del regulador	66
6.4.5. Procedimiento de mantenimiento de los receptores y cables.	67

6.5. Medidas y comprobación del funcionamiento-----	68
6.5.1 Manual de operación y pruebas de las baterías-----	68
6.5.2. Manual de operación y pruebas del inversor-----	71
6.5.3. Manual de operación y pruebas de los paneles FV -----	73
6.5.4. Manual de operación y pruebas del regulador de carga-----	77
6.5.5. Manual de operación y pruebas de otros componentes-----	78
6.6. Ejemplos prácticos-----	79
6.7. Referencias-----	79
7. Aplicaciones-----	80
7.1. La habitación solar fotovoltaica de 220 V alimentada con energía solar fotovoltaica.-----	80
7.2. El alumbrado público-----	83
7.3. El campo solar-----	84
7.4 El sistema de bombeo solar-----	84
7.4.1 Descripción y conexión de los elementos que forman el sistema de bombeo del agua.-	84
7.4.2 Cálculo de un sistema de bombeo fotovoltaico-----	85
7.4.2.1 Cálculo de la altura total del sistema de bombeo-----	85
7.4.2.2 Cálculo de los generadores fotovoltaicos-----	85
7.4.2.3 Cálculo del motor-bomba-----	86
7.4.2.4 Cálculo de la sección de los conductores-----	86
8. Revisión de las normas-----	87
8.1. Introducción-----	87
8.2. Locales-----	87
8.2.1. España-----	87
8.2.2. Benín-----	89
8.3. Globales-----	89
8.3.1. Sistemas Fotovoltaicos Domésticos: IES 1998 [10]-----	90
8.4. Ejercicio búsqueda y aplicación-----	90
8.5. Referencias-----	90
9. Laboratorio-----	91
9.1. Lista de los materiales principales para el laboratorio-----	91
9.1.1 Mediciones-----	91
9.1.2 Cargas-----	91
9.1.3 FV-----	91
9.1.4 Reguladores-----	91
9.1.5 Inversor-----	92
9.1.6 Batería-----	92
9.1.7 Protecciones-----	92
9.2 Lista detallada-----	92
9.3 Laboratorio-----	94
9.3.1 Medición del voltaje de circuito abierto-----	94
9.3.2 Medición de la corriente del cortocircuito-----	94
9.3.3 Medición del voltaje de carga, intensidad de carga y potencia de carga-----	95
9.3.4 Prueba de las variables fundamentales-----	95
9.3.5 Prueba con el módulo portátil-----	97
9.3.6 Prueba de una instalación completa-----	97

1. Introducción

En este documento se recogen las nociones básicas necesarias para el estudio y diseño de instalaciones fotovoltaicas. El documento aporta información teórica y ejercicios y ejemplos prácticos.

El documento está formado por nueve capítulos en los que se presenta la siguiente información:

Capítulo 2: Se resumen las nociones básicas de la electrotecnia necesarias para el correcto entendimiento y futuro diseño de los sistemas fotovoltaicos.

Capítulo 3: Se describe la radiación solar y se explica su estimación.

Capítulo 4: Se definen cada uno de los componentes de los sistemas fotovoltaicos. En concreto, se detalla información de cada uno de los siguientes elementos:

1. Generador fotovoltaico
2. Batería
3. Regulador
4. Convertidor

Capítulo 5: Se muestra el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica. En concreto, el cálculo de la radiación solar y la estimación de consumos.

Capítulo 6: Se centra en el montaje y mantenimiento de las instalaciones fotovoltaicas.

Capítulo 7: Se resuelve un ejemplo práctico de todo lo explicado anteriormente.

Capítulo 8: Se ofrece una visión global sobre las normativas existentes en diferentes países. Las normas presentan las especificaciones técnicas así como las medidas de seguridad.

Capítulo 9: Se presenta una lista de materiales para desarrollar prácticas en un laboratorio.

En los capítulos de este documento se encuentran propuestos y resueltos ejercicios prácticos que ayudarán al lector a entender mejor y reforzar lo aprendido.

2. Revisión de las nociones de electrotecnia

En esta sección se recogen las nociones básicas de electrotecnia que serán necesarias para la posterior comprensión de los sistemas fotovoltaicos. La sección está organizada de la siguiente manera. Primero, en la subsección 2.1, se presenta una introducción general; después, en la subsección 2.2, se recogen las magnitudes y unidades más importantes; más tarde, en la subsección 2.3, se presentan las principales fórmulas, y en la subsección 2.4 se recogerán cómo se pueden conectar los distintos elementos. Finalmente, para asegurar que se han comprendido las nociones explicadas en la subsección, 2.4, se presentan distintos ejercicios que deberán ser realizados por el alumno.

2.1. Introducción y descripción general

La electrotecnia es la ciencia que estudia las aplicaciones prácticas de la electricidad así como del electromagnetismo. Por tanto, esta ciencia analiza cómo se pueden aplicar los principios de la electricidad y del magnetismo a la actividad humana tanto en el ámbito doméstico como en el ámbito de la industria. Es por ello que para ser capaces de comprender el funcionamiento de un sistema fotovoltaico es necesario comprender las nociones básicas de esta ciencia.

2.1.1. CC/CA

Antes de analizar las distintas magnitudes y leyes de la electrotecnia es importante tener claras las diferencias entre la corriente continua y la corriente alterna. La corriente continua es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. A diferencia de la corriente alterna, en la corriente continua las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección (es decir, los terminales de mayor y de menor potencial son siempre los mismos). Es por ello por lo que comúnmente se identifica la corriente continua con la corriente constante (por ejemplo la suministrada por una batería).

El descubrimiento de la corriente continua se remonta a la invención de la primera pila por parte del científico italiano Conde Alessandro Volta. No obstante, hasta los trabajos de Thomas Alva Edison sobre la generación de electricidad, la corriente continua no comenzó a emplearse para la transmisión de la energía eléctrica. Ya en el siglo XX este uso decayó en favor de la corriente alterna (propuesta por el inventor Nikola Tesla, sobre cuyos desarrollos se construyó la primera central hidroeléctrica en las Cataratas del Niágara). Esta elección se debe a que se puede aumentar la tensión fácilmente de manera que se facilita el transporte.

Para los interesados en la historia a continuación se presenta la **“guerra de las corrientes”**.

“La electricidad era la palabra mágica a fines del s. XIX. Desde las tentativas iniciales de Benjamin Franklin o de Michael Faraday hasta la tecnología del telégrafo, las aplicaciones para la electricidad crecían continuamente. *Después de la Exposición Mundial de París en 1881 y de la presentación de la lámpara de Edison, los nuevos sistemas de iluminación eléctricos se convirtieron en el logro tecnológico más importante del mundo. La electricidad podía sustituir al vapor para hacer funcionar los motores. Era una segunda revolución industrial y, en ciudades europeas y americanas, las centrales eléctricas se multiplicaban basadas en el diseño de Pearl Street, la central que Edison estableció en 1882 en Nueva York. Fue la primera instalación para la producción eléctrica comercial del mundo y aunque era una planta enorme para su época, podía producir y distribuir electricidad hasta, aproximadamente, 330 ha de Manhattan. La demanda de electricidad pronto condujo al deseo de construir centrales eléctricas más grandes y de llevar la energía a mayores distancias. Además, la rápida distribución de motores eléctricos industriales provocó una fuerte demanda por un voltaje diferente a los 110 V usados para la iluminación. El sistema de Edison, que utilizaba la corriente continua (CC), era poco adecuado para responder a estas nuevas demandas. El problema del transporte era aún más difícil, puesto que la transmisión interurbana de grandes cantidades de CC en 110 voltios era muy costosa y sufría enormes pérdidas por disipación en forma de calor. En 1886, George Westinghouse, un rico empresario pero un recién llegado en el negocio eléctrico, fundó Westinghouse Electric para competir con General Electric de Edison. El sistema de la primera*

se basó en los descubrimientos y las patentes de Nikola Tesla, quien creyó apasionadamente en la superioridad de la corriente alterna (CA). Su argumento se basaba en que las pérdidas en la transmisión de electricidad dependen del voltaje: a mayor voltaje, menores pérdidas. Y a diferencia de la CC, el voltaje de la CA se puede elevar con un transformador para ser transportado largas distancias con pocas pérdidas en forma de calor. Entonces, antes de proveer energía a los clientes, el voltaje se puede reducir a niveles seguros y económicos. Edison se alarmó por la aparición de la tecnología de Tesla, que amenazaba sus intereses en un campo que él mismo había creado.

Edison y Tesla se enfrentaron en una batalla de relaciones públicas –que los periódicos denominaron “la guerra de las corrientes”– para determinar qué sistema se convertiría en la tecnología dominante. Harold Brown (empleado de Edison) inventó una silla eléctrica de CA y electrocutó a perros, gatos y hasta un elefante para demostrar que la corriente alterna era peligrosa. El elefante Topsy pasó a la inmortalidad en una película filmada en 1903. Para neutralizar esta iniciativa, Nikola Tesla se expuso a una CA que atravesó su cuerpo sin causarle ningún daño. Ante esta prueba, Edison nada pudo hacer y su prestigio quedó momentáneamente erosionado. Durante la Feria Mundial de Chicago de 1893, Tesla tuvo su gran oportunidad. Cuando Westinghouse presentó un presupuesto por la mitad de lo que pedía General Electric, la iluminación de la Feria le fue adjudicada y Tesla pudo exhibir sus generadores y motores de CA.

Más tarde, la Niagara Falls Power Company encargó a Westinghouse el desarrollo de su sistema de transmisión. Fue el final de la “guerra de las corrientes”

2.2. Magnitudes y unidades

En esta subsección se explican las principales magnitudes de electrotecnia, así como las unidades de las mismas. Para facilitar la comprensión de estos conceptos se compararán el comportamiento familiar de un río con los conceptos que se aprenderán a lo largo de esta subsección.

- **La carga eléctrica:** Es una de las propiedades energéticas de la materia y se supone asociada a dos partículas subatómicas: **protones** con carga positiva y **electrones** con carga negativa. En términos generales la materia tiende a ser eléctricamente neutra. No obstante, en caso de que existan más partículas de un signo que de otro, el objeto estará eléctricamente cargado. La unidad internacional de carga eléctrica es el **CULOMBIO (C)**
- **La corriente eléctrica:** Se entiende por corriente eléctrica al flujo de electrones que atraviesan el conductor. Para entender bien este concepto vamos a asemejar el comportamiento de la corriente eléctrica al del caudal de un río. En un río el agua se desplaza del punto más alto al punto más bajo. Cuanto mayor es la diferencia entre estos dos puntos mayor es la corriente del río. En el caso de la corriente eléctrica el comportamiento es similar. Los electrones se desplazan del punto de mayor al punto de menor tensión. Así mismo, cuanto mayor sea esta diferencia mayor será la potencia eléctrica. La unidad de corriente también llamada **Intensidad**, es el **AMPERIO. (A)**.

- **Tensión:** Para que exista corriente eléctrica es necesario que exista una diferencia de tensión. A esta diferencia de tensiones se le conoce como diferencia potencial. Así mismo, para que haya un flujo de agua se necesita presión. Esta presión puede ser debida a un tanque de agua en donde la presión quedaría determinada por la altura del líquido. La unidad de medida es el **VOLTIO (V)**.

- **Resistencia:** La oposición que presenta el conductor al flujo de corriente se mide con la resistencia. La resistencia es directamente proporcional a la longitud del conductor e inversamente proporcional a su sección. Esto es:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Siendo:

R = resistencia del conductor en ohmios

L = longitud del conductor

S = área de la sección transversal

ρ = constante conocida como resistencia específica, la cual dependerá del material del conductor.

La unidad de medida es el **Ohmio (Ω)**. Un Ohmio es la resistencia que presenta un conductor entre dos puntos cuando al ser recorrido por una corriente constante de intensidad de 1 Amperio (A) se produce una diferencia de potencia de 1 Voltio (V)

- **Conductancia:** En determinadas circunstancias resulta más útil manejar la inversa de la resistencia. Esta se conoce como conductancia

$$G = \frac{1}{R}$$

La unidad de medida es el **Siemens (S)** - Representando la conductancia eléctrica que presenta un conductor cuya resistencia eléctrica es 1 Ω

- **Potencia eléctrica:** La potencia intercambiada entre dos puntos a y b de un circuito es igual al producto de la tensión entre a y b expresada en **V** y la intensidad desde a hacia b expresada en **A**. La dimensión es el vatio (W)

$$P_{ab} = U_{ab} I_{ab}$$

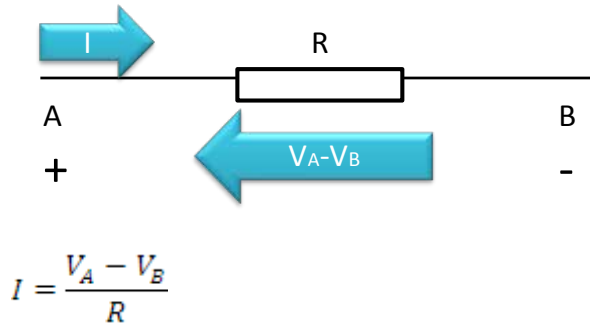
Es importante destacar en este punto que la ley de Joule nos proporciona el valor de la potencia eléctrica transformada en calor en una resistencia.

$$P = RI^2$$

2.3. Principales fórmulas

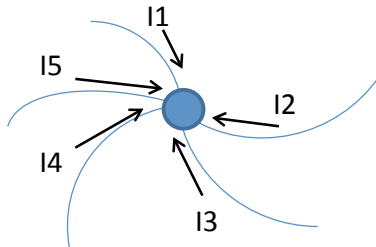
En esta subsección se presentan las principales leyes de la electrotecnia y sus respectivas formulas. Una vez conocidas estas fórmulas se puede resolver cualquier tipo de circuito eléctrico.

- **Ley de OHM:** Ohm descubrió que la corriente eléctrica entre dos puntos se podía calcular como la diferencia de potencial entre dichos puntos entre la resistencia que opone el conductor. Para que la expresión matemática de la ley de ohm sea aplicable, es preciso indicar los sentidos considerados como positivos tanto de la intensidad como de la tensión. Los sentidos naturales de estas dos magnitudes son los siguientes. La intensidad circula siempre desde el punto de mayor tensión al de menor tensión.



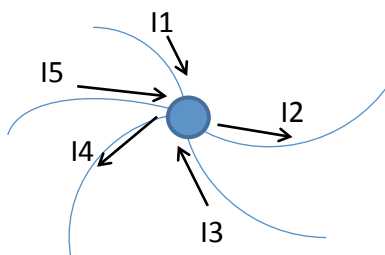
- **Primera ley de Kirchoff:** Cuando varios conductores concurren a un punto, más conocido como nudo, la suma de las intensidades que entran al nudo tiene que ser cero. Para entender bien el significado de esta ley a continuación se presenta un ejemplo que se muestra en la siguiente figura.

Como se ve en la figura a todos los conductores se les ha asignado el sentido entrante y de acuerdo con esta ley, su suma ha de ser cero.



$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$$

No obstante es importante destacar que no siempre los sentidos de las intensidades de todos los conductores serán entrantes. En dicho caso se puede concluir que las corrientes entrantes han de ser iguales a las corrientes salientes. Para analizar esta situación se presenta el siguiente ejemplo.

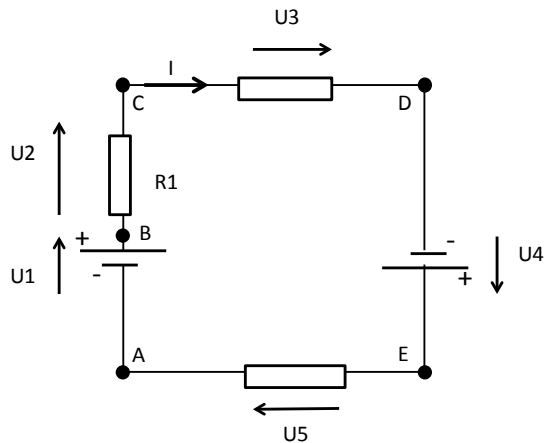


$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

$$I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4$$

- **Segunda ley de Kirchoff:** En un subconjunto de elementos, tanto generadores como conductores, interconectados en bucle cerrado (esto es, formando un circuito cerrado), el valor de la suma de todas las tensiones, consideradas en un mismo sentido de rotación, es nula.

Para entender bien el significado de esta ley, a continuación se presenta el siguiente ejemplo.



Aplicando la segunda ley de Kirchoff obtenemos la siguiente ecuación:

$$U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 = 0$$

La suma de las tensiones en sentido horario también se pueden expresar como diferencia entre los potenciales de los puntos extremos de cada uno de los puntos, esto es:

$$U_1 = V_B - V_A; \quad U_2 = V_C - V_B; \quad U_3 = V_D - V_C; \quad U_4 = V_E - V_D; \quad U_5 = V_A - V_E$$

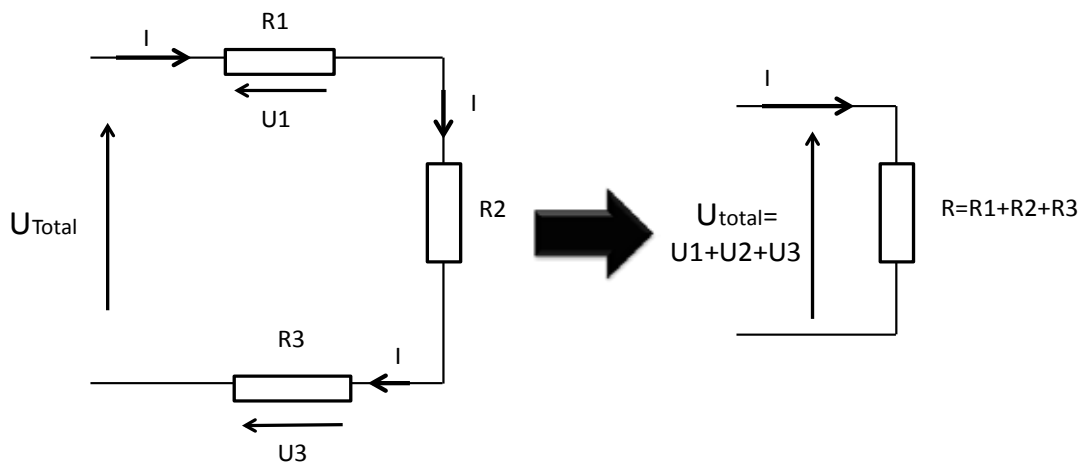
De igual modo, la suma de estos términos también será igual a cero.

2.4. Conexión

Una vez analizadas las leyes fundamentales de la electrotecnia, en esta subsección se presentan los dos modos de conexión que existen.

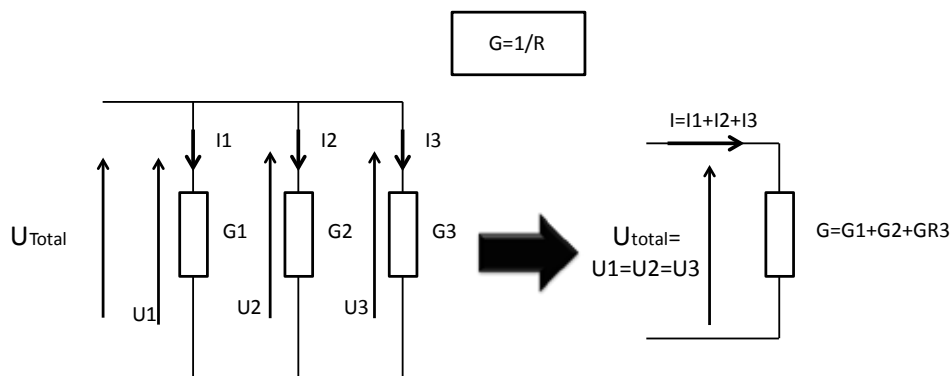
- **Conexión de elementos en serie:** Se denomina conexión en serie de dos a más elementos a aquella conexión que implica la **igualdad de las intensidades** de todos los elementos.

A continuación se muestra un esquema sencillo para analizar el comportamiento de un conjunto de elementos conectados en serie.



- **Conexión de elementos en paralelo:** Se denomina conexión en paralelo de dos a más elementos a aquella conexión que implica la **igualdad de las tensiones** de todos los elementos.

A continuación se muestra un esquema sencillo para analizar el comportamiento de un conjunto de elementos conectados en paralelo.



2.5. Ejercicios propuestos

- 1) Si dos estufas de igual resistencia se conectan, estando una a la mitad de tensión que la otra, ¿cuál absorberá más corriente? ¿cuánto más?
- 2) Al conectar un radiador eléctrico de 30Ω a la red, observamos que la intensidad de la corriente es de 8 A. Determinar la tensión de la red.
- 3) ¿A qué tensión se deberá conectar una lámpara de 25Ω para que sea atravesada por una corriente de 4 A?
- 4) Calcular el coeficiente de resistividad del material del que está construido un conductor de 60 m de longitud, 3 mm^2 de sección y $0,34\Omega$ de resistencia.
- 5) ¿Qué potencia tiene una dinamo que produce 5 A y 220 V de corriente continua? Calcular la resistencia del receptor.

6) Entre dos puntos se mantiene una tensión de 10 V y se dispone de dos resistencias de 2 Ω y 4 Ω . ¿Qué intensidad tendrá la corriente si se conectan en serie?

7) Se acoplan en serie 5 resistencias de 2 Ω , 4 Ω , 8 Ω , 1 Ω y 5 Ω . El conjunto se intercala en un circuito cuya diferencia de potencial es de 120 V. Calcular: a) La resistencia total. b) La intensidad total absorbida por el circuito y la intensidad que atraviesa cada resistencia. c) Las tensiones parciales a las que están sometidas cada una de las resistencias. d) La potencia total y parcial consumida por cada resistencia e) La energía producida en cada resistencia por hora de funcionamiento.

8) ¿Cuál es la resistencia resultante de un sistema de tres conductores, acoplados en paralelo de 3 Ω , 6 Ω y 9 Ω , respectivamente?

9) Una corriente de 10 A se deriva por dos conductores de 3 Ω y 7 Ω unidos en paralelo. ¿Cuál será el valor de la intensidad en cada uno?

10) Tenemos una resistencia de 80 Ω y queremos reducir su valor, por medio de otra, a 60 Ω : ¿Cómo hemos de conectarlas y qué valor tendrá la otra?

2.6. Ejercicios resueltos

1) Si dos estufas de igual resistencia se conectan, estando una a la mitad de tensión que la otra, ¿por cuál circulará más corriente? ¿cuánto más?

Absorberá más corriente aquella resistencia que esté conectada a una mayor tensión. Por aquella resistencia conectada al doble de tensión que la otra también circulará el doble de corriente.

$$V=I_1 \cdot R$$

$$I_1= V/R$$

$$V/2= I_2 \cdot R$$

$$I_2= V/(2 \cdot R)$$

2) Al conectar un radiador eléctrico de 30 Ω a la red, observamos que la intensidad de la corriente es de 8 A. Determinar la tensión de la red.

$$V=I \cdot R=8A \cdot 30\Omega=240V$$

3) ¿A qué tensión se deberá conectar una lámpara de 25 Ω para que sea atravesada por una corriente de 4 A?

$$V=I \cdot R=4A \cdot 25\Omega=100V$$

- 4) Calcular el coeficiente de resistividad del material con el que está construido un conductor de 60 m de longitud, 3 mm² de sección y 0,34 Ω de resistencia.

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad \rho = \frac{RS}{L} = \frac{0,34\Omega \cdot 3\text{mm}^2}{60\text{m}} \quad \rho = \frac{RS}{L} = \frac{0,34\Omega \cdot 3\text{mm}^2}{60\text{m}} = 0,017(\text{W mm}^2/\text{m})$$

- 5) ¿Qué potencia tiene una dinamo que produce 5 A y 220 V de corriente continua? Calcular la resistencia del receptor.

$$P = V \cdot I = 220 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 1100 \text{ W}$$

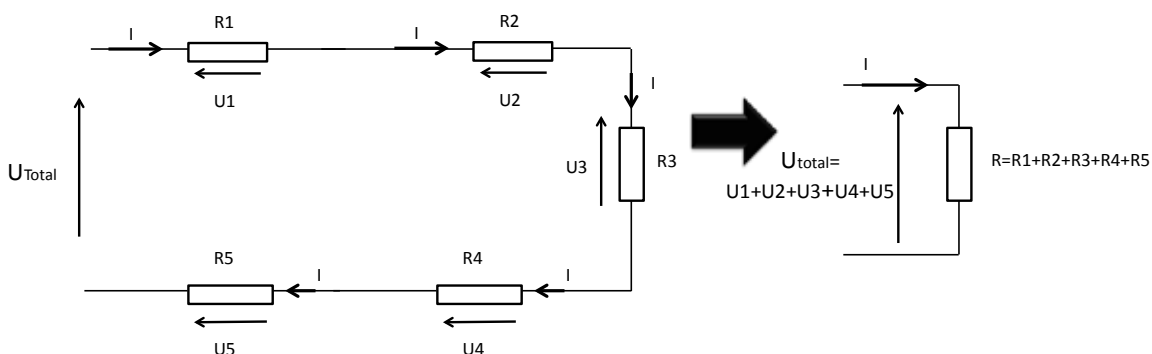
$$R = V/I = 220 \text{ V} / 5 \text{ A} = 44 \text{ W}$$

- 6) Entre dos puntos se mantiene una tensión de 10 V y se dispone de dos resistencias de 2 Ω y 4 Ω ¿Qué intensidad tendrá la corriente si se conectan en serie?

$$R_{\text{TOTAL}} = R_1 + R_2 = 2 \text{ W} + 4 \text{ W} = 6 \text{ W}$$

$$I = V/R = 10\text{V}/6\text{W} = 1,66 \text{ A}$$

- 7) Se acoplan en serie 5 resistencias de 2Ω, 4Ω, 8Ω, 1 Ω y 5Ω. El conjunto se intercala en un circuito cuya diferencia de potencial es de 120 V. Calcular: a) La resistencia total. b) La intensidad total absorbida por el circuito y la intensidad que atraviesa cada resistencia. c) Las tensiones parciales a las que están sometidas cada una de las resistencias. d) La potencia total y parcial consumida por cada resistencia.



- a) La resistencia total

$$R_{\text{TOTAL}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 2 \text{ W} + 4 \text{ W} + 8 \text{ W} + 1 \text{ W} + 5 \text{ W} = 20 \text{ W}$$

- b) La intensidad total absorbida por el circuito y la intensidad que atraviesa cada resistencia

$$I = V/R = 120\text{V}/20\text{W} = 6 \text{ A}$$

Al estar las resistencias en serie la corriente total es la misma que la de cada una de las resistencias

- c) Las tensiones parciales a las que están sometidas cada una de las resistencias

$$\begin{aligned}
 U_1 &= R_1 \cdot I = 2 \text{ W} \cdot 6\text{A} = 12\text{V} \\
 U_2 &= R_2 \cdot I = 4 \text{ W} \cdot 6\text{A} = 24\text{V} \\
 U_3 &= R_3 \cdot I = 8 \text{ W} \cdot 6\text{A} = 48\text{V} \\
 U_4 &= R_4 \cdot I = 1 \text{ W} \cdot 6\text{A} = 6\text{V} \\
 U_5 &= R_5 \cdot I = 5 \text{ W} \cdot 6\text{A} = 30\text{V} \\
 \text{Comprobación } U_{\text{TOTAL}} &= 120\text{V} = 12\text{V} + 24\text{V} + 48\text{V} + 6\text{V} + 30\text{V}
 \end{aligned}$$

d) La potencia total y parcial consumida por cada resistencia

$$\begin{aligned}
 P_{\text{TOTAL}} &= U_{\text{TOTAL}} \cdot I = 120\text{V} \cdot 6\text{A} = 720\text{W} \\
 &(\text{Tambi3n puede calcularse como } P = I^2 \cdot R)
 \end{aligned}$$

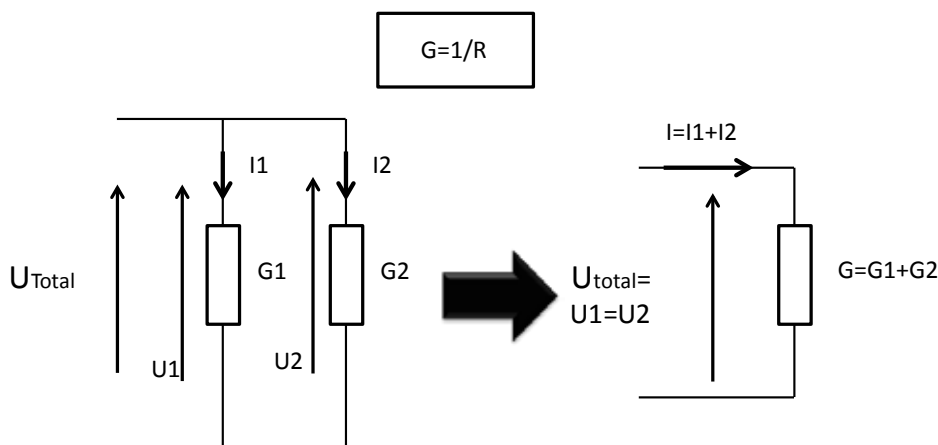
$$\begin{aligned}
 P_1 &= U_1 \cdot I = 12\text{V} \cdot 6\text{A} = 72\text{W} \\
 P_2 &= U_2 \cdot I = 24\text{V} \cdot 6\text{A} = 144\text{W} \\
 P_3 &= U_3 \cdot I = 48\text{V} \cdot 6\text{A} = 288\text{W} \\
 P_4 &= U_4 \cdot I = 6\text{V} \cdot 6\text{A} = 36\text{W} \\
 P_5 &= U_5 \cdot I = 30\text{V} \cdot 6\text{A} = 180\text{W}
 \end{aligned}$$

8) ¿Cuál es la resistencia resultante de un sistema de tres conductores, acoplados en paralelo de 3Ω , 6Ω y 9Ω , respectivamente?

$$G_{\text{TOTAL}} = G_1 + G_2 + G_3 = (1/R_1) + (1/R_2) + (1/R_3) = (1/3\text{W}) + (1/6\text{W}) + (1/9\text{W}) = 0,61\text{S}$$

$$R_{\text{TOTAL}} = 1/G_{\text{TOTAL}} = 1/0,61\text{S} = 1,636\text{W}$$

9) Una corriente de 10 A se deriva por dos conductores de 3Ω y 7Ω unidos en paralelo. ¿Cuál ser3 el valor de la intensidad en cada uno?



$$G_{\text{TOTAL}} = G_1 + G_2 = (1/R_1) + (1/R_2) = (1/3\text{W}) + (1/7\text{W}) = 0,476\text{S}$$

$$R_{\text{TOTAL}} = 1/G_{\text{TOTAL}} = 1/0,476\text{S} = 2,1\text{W}$$

$$U_{\text{TOTAL}} = R_{\text{TOTAL}} \cdot I_{\text{TOTAL}} = 2,1\text{W} \cdot 10 \text{ A} = 21\text{V}$$

$$I_1 = U_{\text{TOTAL}} / R_1 = 21\text{V} / 3\Omega = 7\text{A}$$

$$I_2 = U_{\text{TOTAL}} / R_2 = 21\text{V} / 7\Omega = 3\text{A}$$

10) Tenemos una resistencia de 80Ω y queremos reducir su valor, por medio de otra, a 60Ω :
¿Cómo hemos de conectarlas y qué valor tendrá la otra?

Habrá que conectar una resistencia en paralelo

$$1/R_{\text{TOTAL}} = (1/R_1) + (1/R_2)$$

$$1/60\Omega = (1/80\Omega) + (1/R_2)$$

$$(1/R_2) = (1/60\Omega) - (1/80\Omega) = 0,0041\text{S}$$

$$R_2 = 1/0,0041\text{S} = 240\Omega$$

3. La radiación solar

El sol es una gran fuente de energía, con un flujo radiante de $3,8 \times 10^{26} \text{ W}$, que equivale a una densidad de $62,5 \text{ MW}$ por cada metro cuadrado de superficie solar.

De esta enorme cantidad de energía radiante, solo una pequeña parte alcanza nuestro planeta. Sin embargo, supone una enorme cantidad en comparación con la energía necesaria para mantener nuestra civilización tecnológica.

El problema no es la cantidad de energía total disponible, sino las dificultades para su aprovechamiento. La energía solar se disemina a lo largo de toda la superficie de la tierra y los océanos. De media, la cantidad de energía que atrae nuestra atmósfera exterior equivale a una potencia de $1,4 \text{ KW}$ por m^2 , cantidad que se reduce a aproximadamente $1 \text{ KW}/\text{m}^2$ cuando atraviesa la atmósfera y llega al suelo. De hecho, la cantidad de energía útil que se puede generar a partir de la cantidad de energía incidente total se describe mediante la ecuación siguiente:

$$E = \eta A G_{\text{dm}}(\beta)$$

En la que η designa el rendimiento de la instalación fotovoltaica (que depende de la calidad de los módulos, los cables de interconexión, etc.), A la superficie de los módulos y $G_{\text{dm}}(\beta)$ la radiación global incidente, que depende de la inclinación del módulo. Esta sección se ocupa sobre todo de la radiación solar.

Comenzamos por definir la radiación solar. Seguidamente, presentamos un método de estimación de la radiación solar y, finalmente, proponemos un ejercicio y su resolución.

3.1. Definición

La radiación solar está compuesta por ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias¹. Algunas frecuencias (las longitudes de las ondas correspondientes comprendidas entre 0,4 y 0,7 mm) son detectables por el ojo humano y constituyen el flujo visible, mientras que otras no son visibles. Sea cual sea la frecuencia, una onda electromagnética o un grupo de ondas transporta una cierta cantidad de energía.

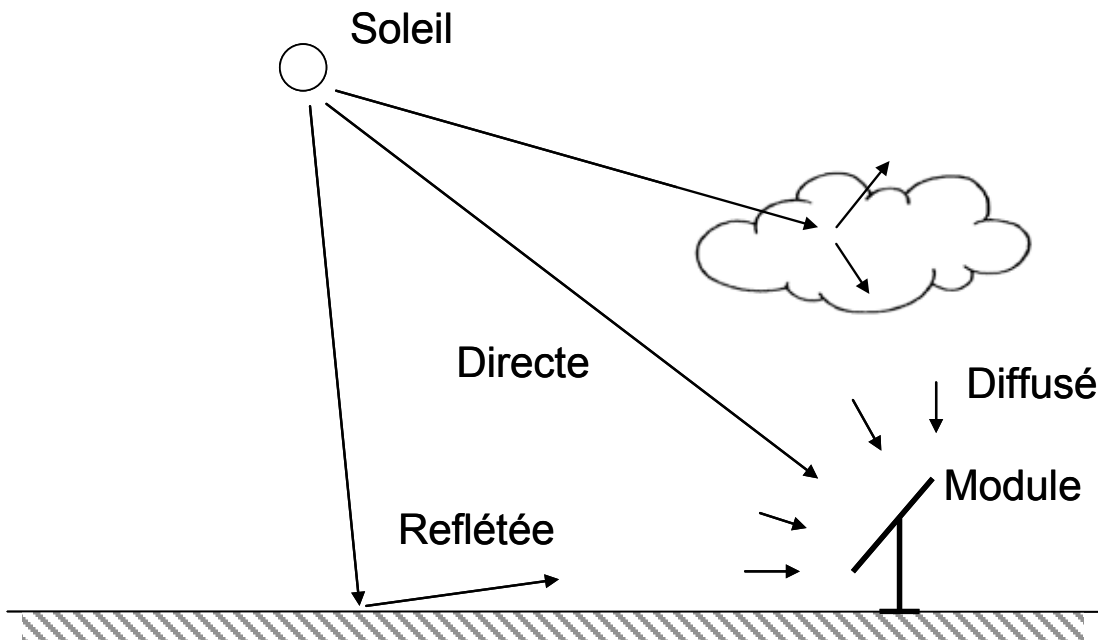
La radiación que llega a la tierra varía de forma aleatoria debido a efectos diversos que provoca en ella la atmósfera terrestre. Por ejemplo, gran parte de la radiación es víctima de una absorción y de una dispersión en la atmósfera como consecuencia de la estructura de esta y de agentes variables que en ella se encuentran, como la contaminación o la nubosidad.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre se divide en tres partes: la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada. La suma de las tres radiaciones forma la radiación global (G).

- La radiación directa (I) está formada por los rayos que provienen directamente del sol. Esta parte proviene de una fuente casi puntual y se caracteriza por una direccionalidad elevada. Por consiguiente, la radiación directa influye de forma considerable en la orientación de un módulo fotovoltaico. Por lo general, la radiación directa es la más intensa.
- La radiación difusa (D) proviene de toda la bóveda celeste, salvo la que viene del sol. De hecho, la atmósfera absorbe y disemina una parte de la radiación que proviene del sol. La radiación difusa es, por tanto, la radiación dispersa que llega a la superficie terrestre. A pesar de su carácter aleatorio, podemos suponer que llega a la superficie terrestre de forma uniforme y por tanto su efecto es mayor si el módulo es horizontal. Por lo general, la radiación difusa no es intensa, sino más bien vasta, y se vuelve más importante en condiciones de nubosidad.
- La radiación reflejada (R) se debe a la reflexión de una parte de la radiación incidente sobre la superficie u otros objetos vecinos al módulo. Su contribución a la radiación global es muy pequeña. Por lo general y con el fin de calcular la radiación reflejada, suponemos que la superficie refleja de manera uniforme la radiación incidente y según el coeficiente de reflectancia r . En consecuencia, la incidencia de la radiación reflejada es máxima si el módulo es vertical y se anula si el módulo es horizontal.

El siguiente esquema muestra la radiación y sus diferentes partes.

¹ La física clásica considera la luz como un conjunto de las ondas electromagnéticas que se pueden describir según las ecuaciones de Maxwell. No obstante, la luz es el ejemplo por excelencia del dualismo onda-partícula. En el mundo de la física cuántica, todo objeto cuántico se puede describir en unas ocasiones por una onda y en otras por una partícula, según el experimento realizado.



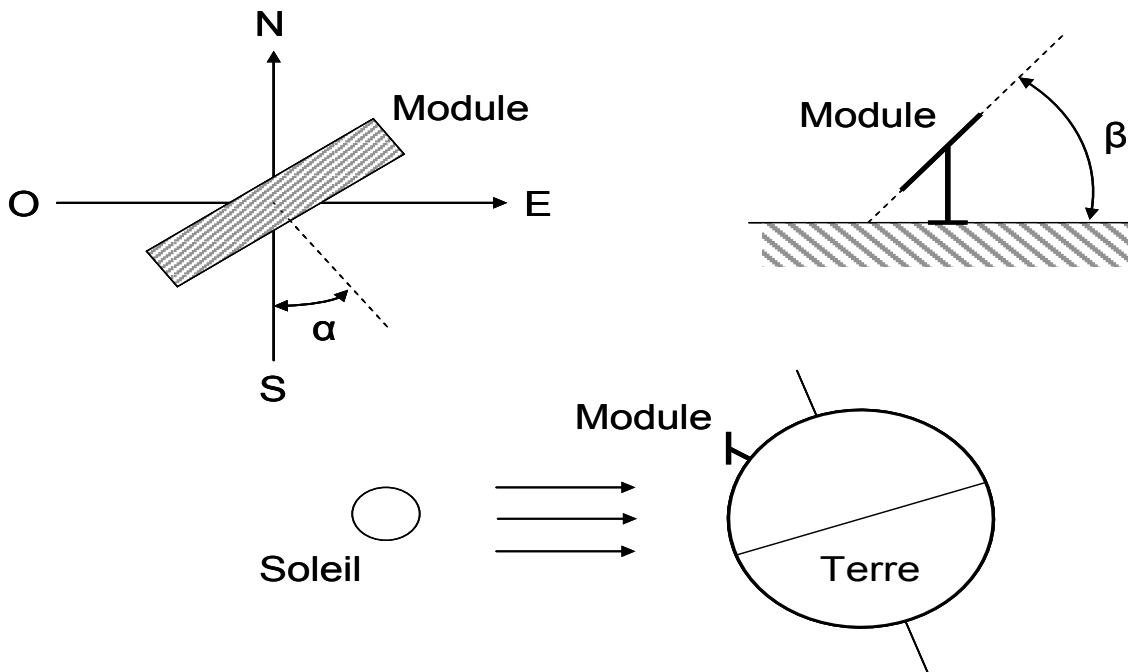
La radiación global que incide sobre la superficie terrestre y, en consecuencia, sobre una superficie cualquiera, depende de la posición geográfica, del movimiento del sol y de la orientación de la superficie. La radiación es máxima si la superficie está orientada hacia el sol, es decir, perpendicular a la línea que une la posición de la instalación con el sol. Puesto que el sol se desplaza, la orientación varía y es necesario, por tanto, encontrar la orientación más apropiada.

3.1.1 La orientación de la superficie

Los dos parámetros que definen la orientación de la superficie son el azimut y la inclinación.

- El azimut α mide la rotación de la superficie en torno a un eje perpendicular a la tierra (plano horizontal).
- La inclinación de una superficie β es el ángulo entre el plano de la superficie y el horizontal.

El esquema siguiente ilustra estos dos parámetros de la orientación a efectos de una instalación en el hemisferio norte (sería al revés para una instalación en el hemisferio sur). Observamos que la inclinación depende de la posición geográfica y de la trayectoria del sol. Además, el 90 % de la energía solar se recibe durante las ocho horas centrales del día, puesto que la cantidad de atmósfera que los rayos de sol deben atravesar es más pequeña, y por lo tanto la atmósfera atenúa en menor medida la energía solar que recibe. Por consiguiente, la superficie debería centrarse en el mediodía, es decir, debería orientarse al ecuador (el azimut $\alpha = 0$). Debido a la inclinación del eje terrestre, hay una excepción a esta última regla en las zonas de los trópicos, donde la superficie debe orientarse hacia la dirección inversa al ecuador (el azimut $\alpha = 180$). Finalmente, y en el caso ideal, la inclinación de la superficie debería seguir la variación de la altura máxima del sol a mediodía con el fin de maximizar la producción de energía.

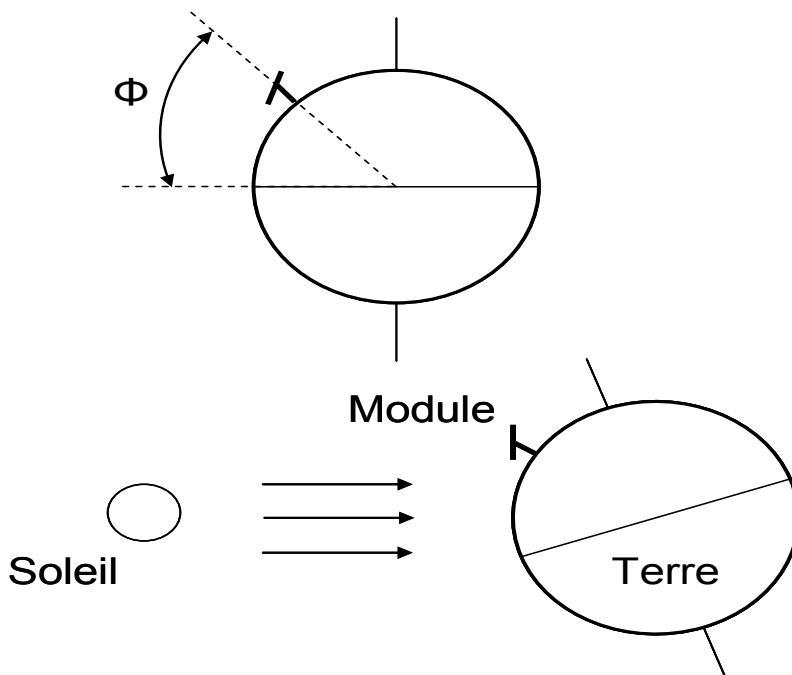


3.1.2 Posición del módulo

El parámetro que describe la posición geográfica es la latitud.

- La latitud Φ es el ángulo entre el ecuador y un punto del meridiano.

El siguiente esquema ilustra el parámetro de la posición geográfica. De nuevo, podemos deducir que la posición geográfica influye en la orientación del módulo y sobre todo en la inclinación. Por ejemplo, si la instalación se encuentra en el hemisferio norte, a medida que el módulo se acerca al polo, la inclinación debe aumentar.

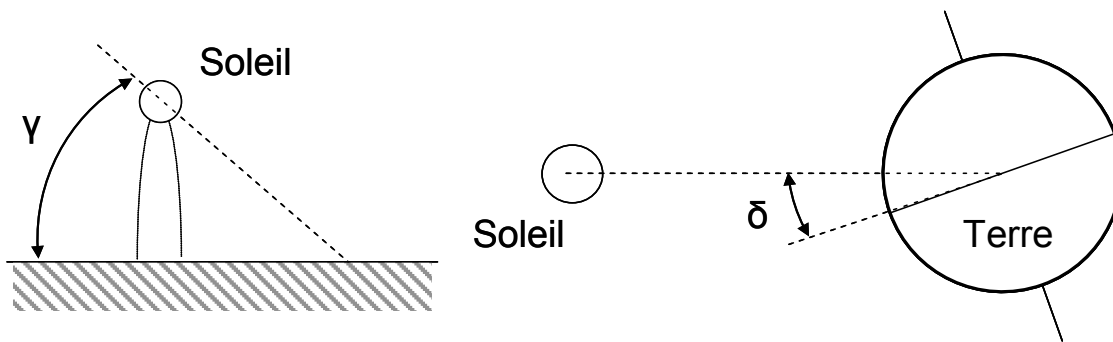


3.1.3 Movimiento del sol

Por último, el movimiento del sol se describe por la elevación del mismo. De hecho, la trayectoria diurna del sol (la elevación del sol) alcanza un máximo a mediodía, pero la altura máxima de esta trayectoria varía según el ciclo anual.

- La elevación del sol γ es el ángulo entre el sol y el plano horizontal. La altura máxima depende de la latitud y de la declinación solar.
- La declinación solar δ es el ángulo que forma el sol con el plano del ecuador.

El esquema siguiente ilustra el movimiento del sol y los parámetros correspondientes.



La declinación solar se puede describir en función del número del día d según la ecuación siguiente:

$$\delta = 23.45 \sin\left(2\pi \frac{d + 284}{365}\right)$$

Donde 23,45 es la declinación máxima. Por tanto, la elevación del sol viene dada por:

$$\gamma = 90 - |\phi - \delta(d)|$$

La radiación es máxima si la superficie está orientada de cara al sol, es decir, perpendicular a la línea que une la posición de la instalación con el sol, por lo que la inclinación de la superficie equivale a:

$$\beta = |\phi - \delta(d)|$$

3.1.4 Conclusiones parciales

La radiación solar sobre cualquier superficie depende de la posición geográfica, del movimiento del sol y de la orientación de la superficie. La radiación es máxima si la superficie está orientada de cara al sol, es decir, perpendicular a la línea que une la posición de la instalación con el sol. Por consiguiente, la orientación del módulo depende de su orientación, que viene dada al mismo tiempo en función de la posición geográfica y del movimiento del sol. Podemos formular tres reglas simples :

- Hay que evitar cualquier tipo de sombra.
- La superficie debería orientarse hacia el ecuador (el azimut $\alpha = 0$).
- La superficie debería orientarse hacia el sol.

El apartado 5 proporcionará información más detallada.

3.2 Cálculo

Hemos visto que la radiación incidente sobre la superficie terrestre puede dividirse en tres partes: la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada. La radiación incidente es un fenómeno aleatorio que depende de cuáles sean las condiciones meteorológicas y de la posición geográfica. Además, la radiación depende del movimiento relativo sol-tierra, que se rige por ecuaciones bastante complejas.

Existen varios métodos para caracterizar y calcular la radiación incidente. Estos métodos se basan o bien sobre una aproximación simplificada del problema, o bien utilizan herramientas informáticas con el fin de resolver este problema de forma más realista. Así pues, comenzamos por exponer de forma resumida un método típico del cálculo de la radiación global. A continuación, y para el lector interesado, presentamos este método de cálculo con más detalle.

3.2.1 Resumen del método

El método de cálculo de la radiación parte de los doce valores medios de la radiación global diurna sobre una superficie horizontal $G_{dm}(\beta=0)$, medidos en un observatorio meteorológico².

El cálculo de la radiación global sobre una superficie inclinada se puede describir mediante una ecuación cuadrática con coeficientes lineales y cuadráticos A y B, respectivamente:

$$G_{dm}(\beta) = A(\beta, \rho)G_{dm}(0) + B(\phi, \beta, m)G_{dm}(0)^2$$

Podemos observar que el coeficiente A depende de la inclinación β y del coeficiente de reflexión ρ , mientras que el coeficiente B depende de la latitud ϕ , de la inclinación β y del mes m . La tabla siguiente presenta coeficientes típicos de reflexión [2].

Terre	Réflexion
Sèche	0.2
Herbe humide	0.3
Désert	0.4
Neige	0.6

Las dos tablas siguientes muestran los coeficientes A y B para una zona geográfica similar a la de Benín [2].

² A veces, disponemos más bien de valores medios de las horas solares por día. A partir de estos valores, podemos calcular la radiación global diurna.

A	$\rho=0.2$	$\rho=0.3$	$\rho=0.4$	$\rho=0.5$	$\rho=0.6$
$\beta=+-5$	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
$\beta=+-10$	0.994	0.995	0.995	0.996	0.997
$\beta=+-15$	0.986	0.988	0.99	0.991	0.993
$\beta=+-20$	0.976	0.979	0.982	0.985	0.988
$\beta=+-25$	0.963	0.967	0.972	0.977	0.981
$\beta=+-30$	0.946	0.953	0.96	0.967	0.973
$\beta=+-35$	0.928	0.937	0.946	0.955	0.964

B	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$\phi=10$												
$\beta=35$	0.0493	0.0281	0.0055	-0.0145	-0.0291	-0.0361	-0.033	-0.0207	-0.0023	0.0205	0.0439	0.0572
$\beta=30$	0.0445	0.0259	0.0061	-0.0114	-0.0244	-0.0306	-0.0279	-0.0169	-0.0007	0.0193	0.0398	0.0514
$\beta=25$	0.0389	0.023	0.0062	-0.0087	-0.0198	-0.0252	-0.0228	-0.0133	0.0005	0.0174	0.0349	0.0447
$\beta=20$	0.0324	0.0195	0.0059	-0.0062	-0.0154	-0.0198	-0.0178	-0.01	0.0012	0.015	0.0292	0.0372
$\beta=15$	0.0253	0.0155	0.0051	-0.0041	-0.0111	-0.0146	-0.013	-0.007	0.0016	0.012	0.0228	0.0289
$\beta=10$	0.0175	0.0108	0.0039	-0.0024	-0.0071	-0.0095	-0.0084	-0.0043	0.0015	0.0085	0.0158	0.0199
$\beta=5$	0.009	0.0057	0.0021	-0.001	-0.0034	-0.0046	-0.0041	-0.002	0.001	0.0045	0.0082	0.0102
$\beta=0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.2.2 Método en detalle

El método de cálculo de la radiación global que se presenta aquí comienza por definir matemáticamente la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada. A continuación, calculamos el efecto de la inclinación de una superficie irradiada (ρ , ej. el módulo fotovoltaico) sobre las tres radiaciones. El cálculo de la radiación global se repite cada mes con el fin de obtener un punto de encuentro entre la precisión y la fiabilidad de la operación.

3.2.3 Punto de partida

Suponemos que conocemos los doce valores medios de la radiación global diurna sobre una superficie horizontal $G_{dm}(\beta=0)$, medidos en un observatorio meteorológico. En ocasiones, disponemos incluso de los valores medios de las horas solares por día. A partir de estos valores podemos calcular la radiación global diurna.

Para cada mes m , calculamos:

- La media mensual de la radiación extraterrestre diurna sobre una superficie horizontal, $B_{0dm}(\beta=0)$, y
- La media mensual de la duración del día, S_{0m} , según

$$S_{0m} = \frac{24}{\pi(d_{ini} - d_{fin})} \sum_{d=d_{ini}}^{d_{fin}} \arccos(-\tan \delta \tan \phi)$$

Por tanto, la radiación global diurna se calcula de la siguiente forma:

$$G_{dm}(0) = B_{0dm}(0) \left(0.18 + 0.62 \frac{S_m}{S_{0m}} \right)$$

Dada la importancia de la radiación directa y de la radiación difusa, los doce valores medios de la radiación global diurna se dividen en valores directos y difusos. Conviene recordar que la radiación reflejada depende de la radiación difusa. Esta división se realiza con los índices de brillo y de la fracción difusa de la radiación horizontal.

3.2.3 Fracción directa y difusa de la radiación horizontal

La radiación directa y la difusa se dividen en los índices de brillo (K_t) y de fracción difusa de la radiación horizontal (K_D). La radiación directa (I) y la radiación difusa (D) son, por tanto: ³

$$D(0) = K_D G_{dm}(0)$$

$$I(0) = G_{dm}(0) - D(0)$$

El índice de brillo K_t mide la transparencia de la atmósfera y se define como la relación entre la radiación global horizontal $G(0)$ y la radiación extraterrestre horizontal $B_0(0)$. El cálculo del índice de brillo para las medidas mensuales m es, por tanto:

$$K_t = \frac{G_{dm}(0)}{B_0 dm(0)}$$

Donde $G_{dm}(0)$ es inicial y $B_0 dm(0)$ se calcula según:

$$B_0 dm(0) = \frac{24}{\pi} B_0 \left(1 + 0.033 \cos \left(2\pi \left(\frac{30.42m - 15.21}{365} \right) \right) \right) \sin(-\omega sm \cos(\omega sm))$$

B_0 es la constante solar que equivale a 1367 W/m², siendo m el número del mes y ωsm el ángulo de la salida del sol cada mes. Este ángulo se determina según la ecuación siguiente:

$$\omega sm = \arccos(\tan \delta \tan \phi)$$

Donde δdm es la declinación solar media al mes.

El índice de fracción difusa de la radiación horizontal K_D se define como la relación entre la radiación difusa horizontal y la radiación global horizontal. Puesto que el componente difuso aumenta cuando la transparencia de la atmósfera disminuye, la fracción difusa está ligada al índice de brillo. La relación entre los dos índices es como sigue:

$$K_D = 1 - 1.113 K_t$$

3.2.4 El efecto de la inclinación

Suponemos que la superficie está orientada hacia el ecuador (el azimut $\alpha = 0$) y, además, partimos de la hipótesis de que la radiación difusa es isotrópica.

Primero, calculamos para cada mes los ángulos de la salida del sol según la ecuación siguiente:

$$\omega ssm = \min \left[\omega sm, \arccos(\tan \delta \tan(\phi - \beta)) \right]$$

Después, determinamos las relaciones entre las radiaciones directas diurnas incidentes sobre la superficie inclinada y sobre la superficie horizontal:

³ Hemos visto que la radiación reflejada es cero sobre una superficie horizontal: $R(0) = 0$.

$$R_{bm} = \frac{\cos(\phi - \beta) \sin \omega_{ssm} \cos \delta + \omega_{ssm} \sin \delta \sin(\phi - \beta)}{\cos \phi \sin \omega_{ssm} \cos \delta + \omega_{ssm} \sin \delta \sin(\phi)}$$

Así pues, la media mensual de la radiación global diurna sobre una superficie inclinada en un ángulo β viene dada por la suma de las radiaciones directas, difusas y reflejadas:

$$G_{dm}(\beta) = \left(G_{dm}(0) - D_{dm}(0) \right) R_{bm} + \frac{1 + \cos \beta}{2} D_{dm}(0) + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2} G_{dm}(0)$$

$$= 0.5 \left(1 + \cos \beta + \left(1 - \cos \beta \right) \rho \right) G_{dm}(0) + \left(\frac{1.13}{2} D_{dm}(0) \left(R_{bm} - \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \right) G$$

El cálculo de la radiación global sobre una superficie inclinada se puede describir, por tanto, mediante una ecuación cuadrática en la que los coeficientes lineales y cuadráticos son A y B, respectivamente:

$$G_{dm}(\beta) = A(\beta, \rho) G_{dm}(0) + B(\phi, \beta, m) G_{dm}(0)^2$$

3.2.5 Ejemplo: Benín

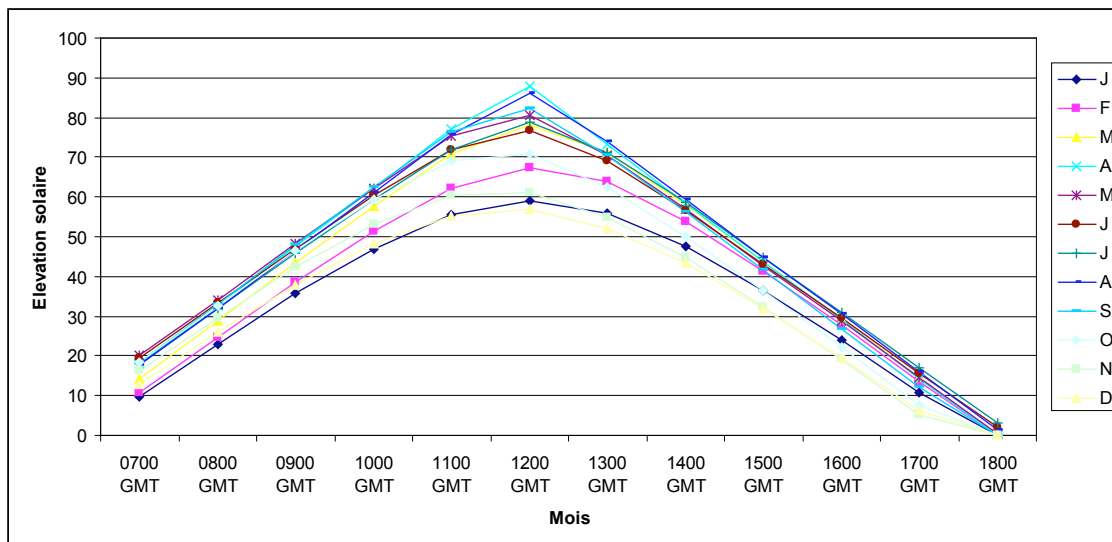
Benín se sitúa más o menos a una latitud de 10 grados y una longitud de 2 grados.

El azimut podría ser de 0 grados, pero hay que tener en cuenta el hecho de que Benín se sitúa en la zona del trópico y, en consecuencia, el azimut es de 180 grados.

Las tablas siguientes muestran la declinación media por mes, así como la elevación solar horaria media. El cuadro siguiente muestra la elevación solar horaria media [1].

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Déclinaison moyenne	-21	-12	-1.8	9.71	18.8	23	21	13.7	3.08	-8.5	-18	-23

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0700 GMT	9.73	10.7	14.2	18.1	20	19.5	18	17.6	18.4	18.4	16	13
0800 GMT	23	24.8	28.9	32.8	34.2	33.3	32	32.1	33.1	32.7	30	25.9
0900 GMT	35.7	38.6	43.4	47.6	48.4	47	46	46.7	47.9	46.6	42	38
1000 GMT	47	51.4	57.6	62.3	62.3	60.3	60	61.2	62.4	59.4	53	48.3
1100 GMT	55.6	62.2	70.8	77.1	75.3	72	72	75.7	76.3	69.2	60	55.3
1200 GMT	59.2	67.5	78.1	88	80.7	76.7	79	86.1	82.4	70.7	61	56.8
1300 GMT	56	63.9	71.1	73.2	70.5	69	71	73.9	70.6	62.4	55	52.2
1400 GMT	47.7	53.9	58	58.5	56.9	56.6	59	59.5	56.3	50	45	43.3
1500 GMT	36.5	41.3	43.8	43.7	42.8	43.2	45	44.9	41.6	36.3	32	31.9
1600 GMT	23.9	27.7	29.3	29	28.7	29.4	31	30.4	26.9	22.1	19	19.4
1700 GMT	10.6	13.6	14.6	14.3	14.5	15.6	17	15.8	12.1	7.71	5.4	6.21
1800 GMT	n/a	n/a	n/a	n/a	0.5	1.99	3.2	1.47	n/a	n/a	n/a	n/a



Con la información sobre la declinación solar y la latitud de Benín, la inclinación **b** del módulo equivaldría a la declinación media $10+14,5 = 24,5$ grados, por tanto, **b** = 25 grados.

La tabla siguiente muestra la radiación global diaria sobre una superficie horizontal Gdm [1].

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyen anuel
Gdm(0) moyenne (kWh/m2/jour)	5.57	6.15	6.18	6.22	5.94	5.34	4.8	4.61	5.01	5.64	5.8	5.76	5.58
Difference minimale (%)	-6	-7	-6	-5	-12	-10	-9	-13	-13	-8	-8	-5	
Difference maximale (%)	7	5	8	8	8	8	12	17	9	7	9	5	

Por tanto, la radiación global en julio sobre un módulo en Benín con una inclinación de 25 grados equivaldría (con un coeficiente de A = 0,963 suponiendo un coeficiente de reflexión de 0,2 y un coeficiente de B de -0,0028) a:

$$Gdm(25) = 0.963 \times Gdm(0) - 0.0028 \times Gdm(0)^2$$

$$= 4.56$$

3.3 En resumen

La radiación solar que alcanza la superficie terrestre se divide en tres partes: la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada. La suma de las tres radiaciones forma la radiación global (G). La radiación global incidente sobre la superficie terrestre y, en consecuencia, sobre una superficie cualquiera, depende de la posición geográfica, del movimiento del sol y de la orientación de la superficie. La radiación es máxima si la superficie está orientada de cara al sol, es decir, perpendicular a la línea que une la posición de la instalación con el sol. Puesto que el sol se desplaza, la orientación varía y hay que encontrar la orientación más adecuada. Por consiguiente, la orientación del módulo depende de su orientación, que viene dada al mismo tiempo en función de la posición geográfica y del movimiento del sol. Podemos formular tres reglas simples:

- Hay que evitar cualquier tipo de sombra.

- La superficie debe orientarse hacia el ecuador (el azimut $\alpha = 0$)
- La superficie debería orientarse hacia el sol (la inclinación depende de la latitud y de la declinación solar).

3.4 Referencias

[1] <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?+s01#s01>

[2] Ingeniería Sin Fronteras, "Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo", IEPALA, 1999, Madrid.

4. Componentes de los sistemas solares fotovoltaicos

4.1. Descripción global

El proceso que ocurre en los sistemas solares fotovoltaicos es el siguiente:

La luz solar entra sobre la superficie de los módulos fotovoltaicos, donde es convertida en energía eléctrica de corriente continua (**generador fotovoltaico**). Posteriormente esta energía es recogida y conducida hasta un sistema de regulación de carga (**regulador**) con la función de enviar toda o parte de esta energía hasta el sistema de acumulación (**batería**) donde es almacenada, cuidando que no se excedan los límites de sobrecarga y descargas profundas. Esta energía almacenada se utiliza para abastecer las cargas durante la noche en días de baja insolación o cuando el sistema fotovoltaico es incapaz de satisfacer la demanda por sí solo.

Si las cargas a alimentar son de corriente continua, estas se alimentan directamente. Cuando las cargas son de corriente alterna, la energía es enviada a un inversor de corriente, en donde es convertida a corriente alterna (**inversor**).

Por tanto los componentes de un sistema solar fotovoltaico son mostrados en la Fig.1 y listados a continuación:

5. Generador fotovoltaico
6. Batería
7. Regulador
8. Inversor

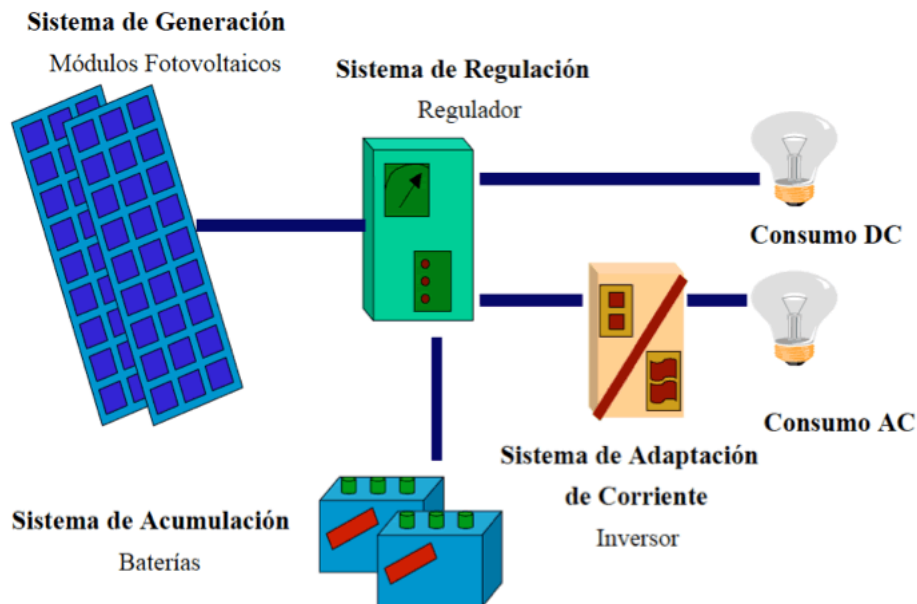


Fig. 1: Componentes de un sistema solar fotovoltaico [1]

4.2. El Generador fotovoltaico

El módulo fotovoltaico, por medio de las células solares, convierte directamente la luz solar en corriente eléctrica continua.

4.2.1. Bases de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos [2]:

El funcionamiento de los paneles se basa en el **efecto fotovoltaico**. Cuando el conjunto fotovoltaico queda expuesto a la radiación solar, los fotones contenidos en la luz transmiten su energía a los electrones de los materiales semiconductores, que pueden entonces romper la barrera de potencial de la unión **P-N** y salir del semiconductor a través de un circuito exterior, produciéndose así corriente eléctrica.

El módulo más pequeño de material semiconductor con unión **P-N** y por lo tanto con capacidad de producir electricidad, es denominado célula fotovoltaica. Estas células fotovoltaicas se combinan de determinadas maneras para lograr la potencia y el voltaje deseados. Este conjunto de células sobre el soporte adecuado y con los recubrimientos que le protejan convenientemente de agentes atmosféricos es lo que se denomina panel fotovoltaico.

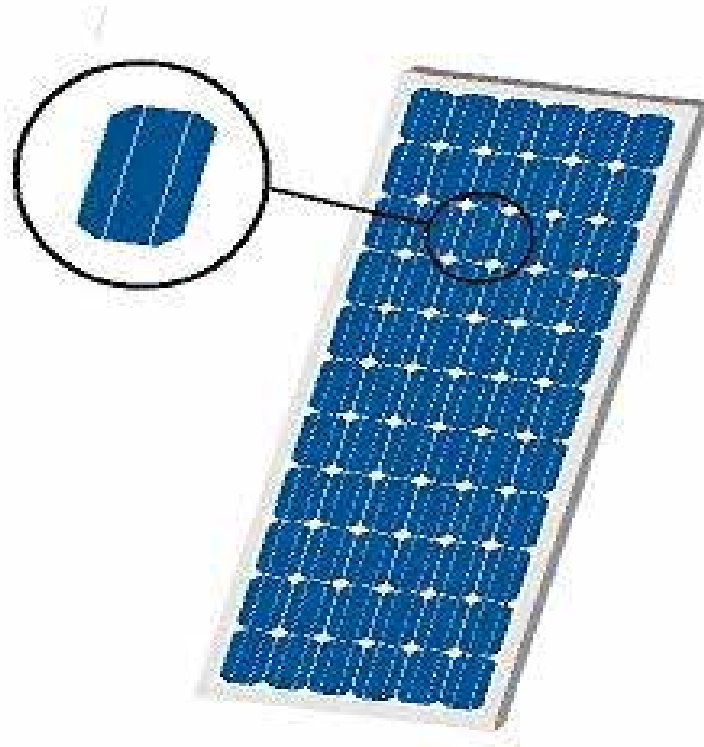


Fig. 2: Célula fotovoltaica y panel fotovoltaico [2]

4.2.2. Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son [2]

:

- **Módulo de silicio monocristalino:** célula de silicio monocristalino azul oscuro uniforme, con un mejor rendimiento. En el laboratorio el rendimiento máximo alcanzado es del 24,7 % siendo en los comercializados del 16 % [2].



Fig. 3: Módulo de silicio monocristalino

Módulo de silicio policristalino: células azules con motivos y formadas por varios cristales con un mejor rendimiento.

Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8 % y en los módulos comerciales del 14 %) siendo su precio también más bajo [2].

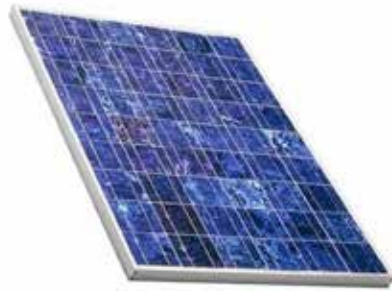


Fig. 4: Módulo de silicio policristalino

Módulo de silicio amorfo: Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13 % siendo el de los módulos comerciales del 8 %. Es menos utilizado. (También llamados módulos de capa delgada o módulos de capa fina)



Fig. 3: Módulo de silicio amorfo [3]

4.2.3 Parámetros eléctricos de un módulo fotovoltaico [4]:

Los principales parámetros que caracterizan un panel fotovoltaico son:

- **Corriente de cortocircuito I_{sc} :** Es la máxima intensidad de corriente que proporciona el panel y corresponde a la corriente que entrega cuando se conectan directamente los dos bornes. I_{sc} suele rondar los 3 A.
- **Tensión de circuito abierto V_{oc} :** Es el máximo voltaje que proporciona el panel, correspondiente al caso en que los bornes están “al aire”. V_{oc} suele ser menor de 22 V para módulos que vayan a trabajar a 12 V.

- **Punto de máxima potencia:** Existe un punto de funcionamiento (I_{pmax} , V_{pmax}) para el cual la potencia entregada es máxima ($P_{max}=I_{pmax} \times V_{pmax}$). Ese es el punto de máxima potencia del panel y su valor se da en Vatios (W).
- **Factor de forma FF:** Es la relación entre la potencia máxima que el panel puede entregar y el producto $I_{sc} \times V_{oc}$. Da una idea de la calidad del panel. Su valor suele estar entre 0,7 y 0,8.
- **Eficiencia o rendimiento η :** Es el cociente entre la máxima potencia eléctrica que el panel puede entregar a la carga y la potencia de la radiación solar P_I incidente sobre el panel, habitualmente en torno al 10 %.

Notas:

Los valores de I_{sc} , V_{oc} , I_{pmax} y V_{pmax} los suministra el fabricante refiriéndolos a unas Condiciones Estándar (CE) de medida que son: (i) irradiancia $G(CE) = 1kW/m^2$; (ii) A nivel del mar; (iii) Para una temperatura de las células $T_c (CE)=25^\circ C$.

La máxima potencia alcanzada por el módulo se indica en vatios pico (Wp).

Las características principales de un módulo fotovoltaico vienen dadas por su: (i) potencia nominal (Wp); (ii) corriente de cortocircuito (A); (iii) tensión de circuito abierto (V); (iv) tensión de funcionamiento (12V; 24V; 48V).

4.2.4. Curva característica de un módulo fotovoltaico [4]:

El funcionamiento eléctrico de un módulo se representa mediante su curva característica. La curva característica representa la corriente que proporciona el módulo en función del voltaje que ve. La Fig. 4 y la Fig. 5 muestran los valores posibles de tensión y corriente que principalmente dependen de la temperatura y de la radiación solar que reciben las células del módulo.

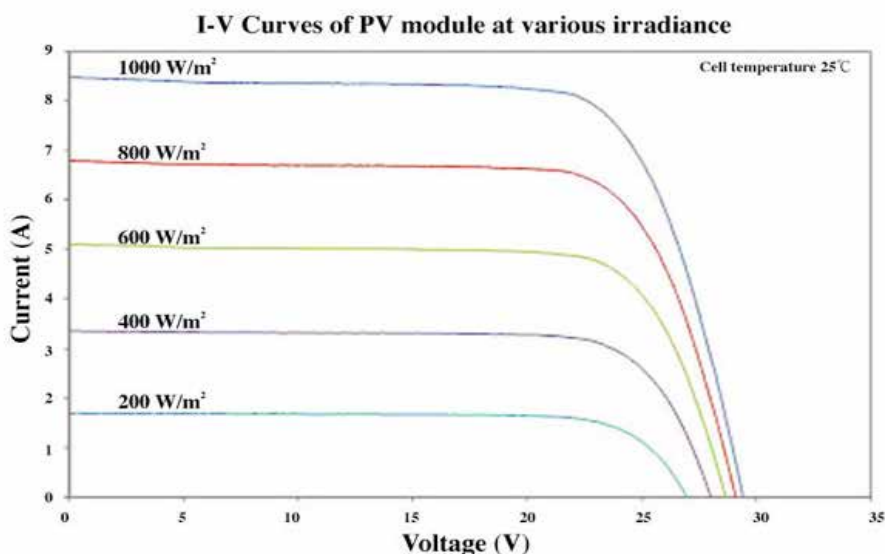


Fig. 4: Curvas características de un módulo fotovoltaico en distintos valores de irradiación [5]

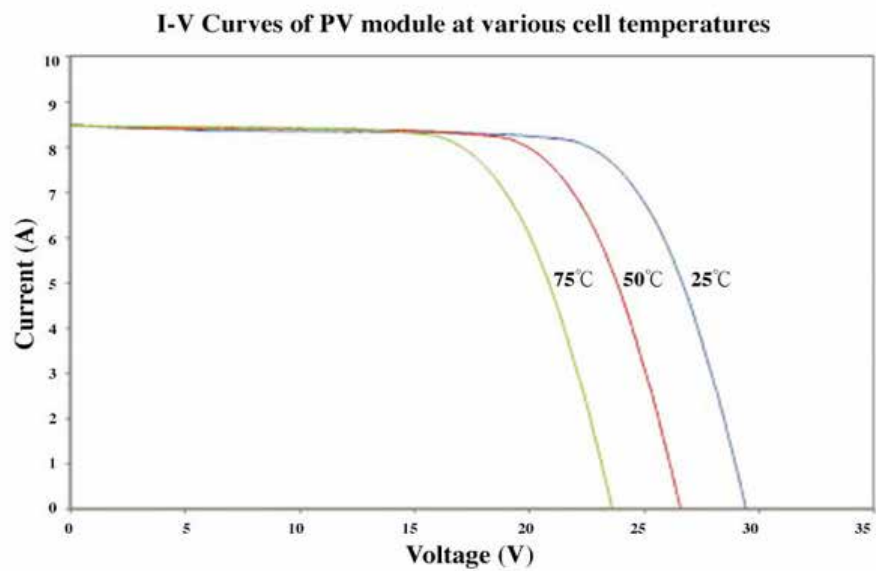


Fig. 5: Curvas características de un módulo fotovoltaico en distintos valores de temperatura [5]

4.2.5. Interconexión de paneles fotovoltaicos [4]:

Todos los paneles que se interconectan han de ser iguales, es decir, de la misma marca y con las mismas características.

La interconexión de paneles se realiza asociando primero paneles en serie, hasta conseguir el nivel de tensión adecuado, y después asociando en paralelo varias asociaciones en serie, para alcanzar el nivel de corriente deseado. La Fig. 6 muestra un ejemplo de ese conexionado serie-paralelo.

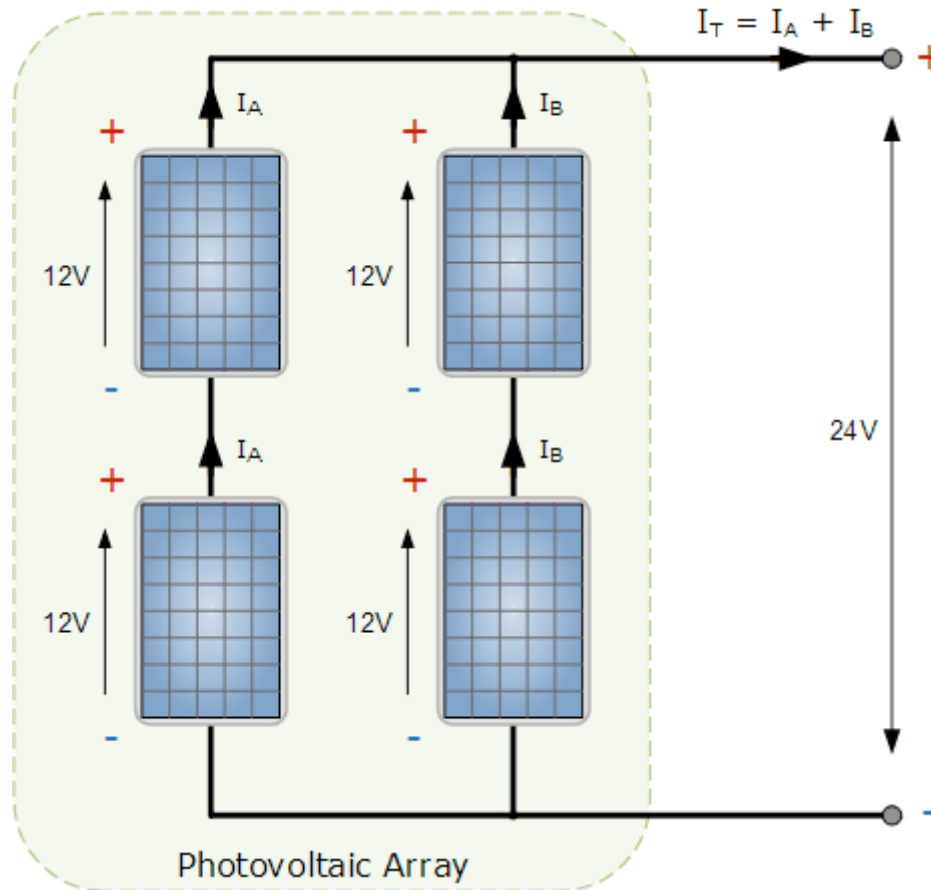


Fig. 6: Ejemplo conexionado serie-paralelo

4.3. La batería

Se encarga de almacenar parte de la energía producida por los paneles (la que no se consume inmediatamente) para disponer de ella en periodos de baja o nula irradiación solar. La acumulación se realiza en forma de energía eléctrica mediante el uso de baterías, normalmente de plomo-ácido. Una batería está formada por la asociación serie de varios “elementos”, “vasos” o “celdas”, cada uno de los cuales consta de dos electrodos de plomo inmersos en una disolución electrolítica. Entre los electrodos se establece una diferencia de potencial que tiene un valor próximo a dos voltios, dependiendo el valor instantáneo del estado de carga de la batería. Las baterías más utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas son de 12 o 24 voltios de tensión nominal.

La batería cumple también estas dos importantes misiones:

- Suministrar una potencia instantánea superior a la que el campo de paneles puede generar, necesaria para la puesta en marcha de algunos elementos.
- Determinar el margen de voltajes de trabajo de la instalación.

4.3.1. Tipos de baterías

Existen varios tipos de baterías, por ejemplo [4]:

- Níquel-Cadmio
- Plomo-Ácido
- Batería de automóvil

Las baterías Níquel-Cadmio son las más recomendadas por su alta fiabilidad y resistencia, pero su alto precio inclina la balanza a favor de las de plomo-ácido. Sin embargo, en algunos países es difícil encontrar este tipo de baterías o su precio (bien local o bien porque haya que importarlas) puede ser elevado, por lo cual se utilizan baterías que ofrezca el mercado que normalmente son aquellas destinadas al mercado automovilístico.

Las baterías de automóvil sin embargo no son muy recomendables para las aplicaciones fotovoltaicas puesto que están pensadas para suministrar una gran intensidad durante unos pocos segundos (arranque) más que para suministrar bajas corrientes de forma más o menos regular. Ello hace que su vida útil se acorte.

Nota: Las baterías pueden ser de tecnología electrolito líquido o en gel. En las baterías de gel, el electrolito se presenta en forma de gel. Este tipo de batería tiene las siguientes ventajas: no requiere mantenimiento y además permiten un amplio rango de temperaturas de trabajo (-15°C +55°C). Sin embargo, son mucho más caras y más lentas de recargar.

4.3.2. Funcionamiento de la batería

La batería repite cíclicamente un proceso de acumulación de energía (carga) y entrega de la misma (descarga), dependiendo de la presencia o ausencia del sol. En este funcionamiento normal de la batería existen dos extremos:

- **Sobrecarga:** Cuando en el proceso de carga la batería llega al límite de su capacidad. Si en ese momento se le sigue inyectando energía, el agua de la disolución se empieza a descomponer produciendo oxígeno e hidrógeno (proceso de gasificación o gaseo).
- **Sobredescarga:** Existe también un límite para el proceso de descarga, pasado el cual la batería se deteriora de forma importante.

Es el regulador el encargado de impedir la entrada de energía por encima de la sobrecarga permitida y que se consuma más energía que la permitida por la sobredescarga.

4.3.3. Parámetros de la batería

- **Voltaje nominal:** Suele ser de 12 voltios.
- **Capacidad nominal:** Cantidad máxima de energía que se puede extraer de la batería. Se expresa en Amperios-hora (Ah) o Vatios-hora (Wh). Como la cantidad de energía que se puede extraer depende también del tiempo en que se efectúe el proceso de extracción (cuanto más dure el proceso, más cantidad de energía podremos obtener), la capacidad suele venir referida a varios tiempos de descarga. Para aplicaciones fotovoltaicas, este tiempo debe ser de 100 horas o más.

- **Profundidad máxima de descarga:** Es el valor, en tanto por ciento, extraída de una batería plenamente cargada en una descarga. Los reguladores limitan esta profundidad, y se calibran habitualmente para permitir profundidades de descarga de la batería en torno al 70 %. Dependiendo de la máxima profundidad de descarga permitida, el número de ciclos de carga y descarga durante toda la vida útil de la batería será mayor o menor. El fabricante debe suministrar gráficas que relacionen el número de ciclos con la vida de la batería.
- **Capacidad útil o disponible:** Es la capacidad de la que realmente se puede disponer. Es igual al producto de la capacidad nominal por la profundidad máxima de descarga, expresada en tanto por uno.

4.3.4. Efectos de la temperatura en el comportamiento de una batería

- Si la temperatura es baja, la vida útil aumenta pero se corre el riesgo de la congelación.
- La capacidad nominal de una batería (que el fabricante da para 25°C) aumenta con la temperatura a razón de un 1 %/°C aproximadamente.

La Fig. 7 muestra la relación de la temperatura con los ciclos de vida y la capacidad de una batería.

Température:

•Basses températures. Augmentation de la résistance interne et baisse de la tension de sortie.

•Hautes températures. Augmentation de l'efficacité totale et réduction drastique de la vie utile de la batterie.

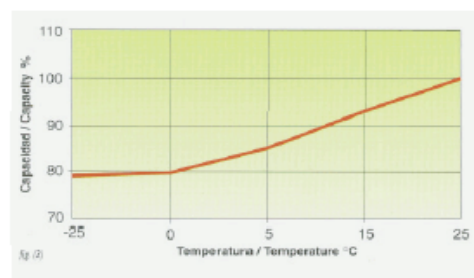
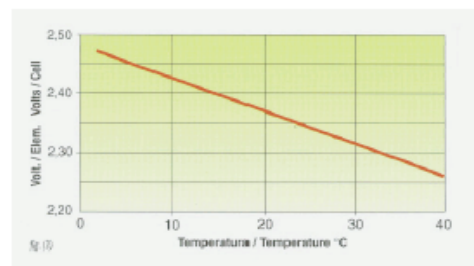
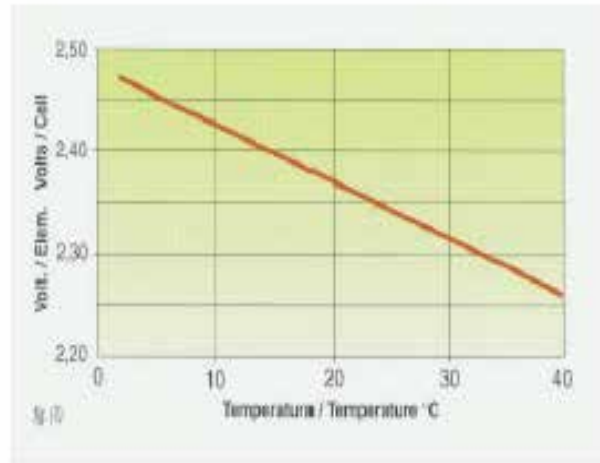


Fig. 7: Curvas de ciclos de vida y capacidad para distintos valores de temperatura

La Fig. 8 muestra la relación de la temperatura con respecto a la tensión de los elementos o células.

Fig. 8: Voltios por elemento para distintos valores de temperatura

La Tabla 1 muestra un ejemplo del factor de corrección que se ha de aplicar a la capacidad en función de la temperatura.



Temperatura	-10°C	0°C	10°C	20°C	25°C	30°C
Factor de corrección aplicado	0.72	0.83	0.91	0.98	1.00	1.05

Tabla 1: Factor de corrección de la capacidad en función de la temperatura

4.3.5. Conexión de las baterías (serie/paralelo/mixta)

La Fig. 9 muestra los tipos de conexión de las baterías.

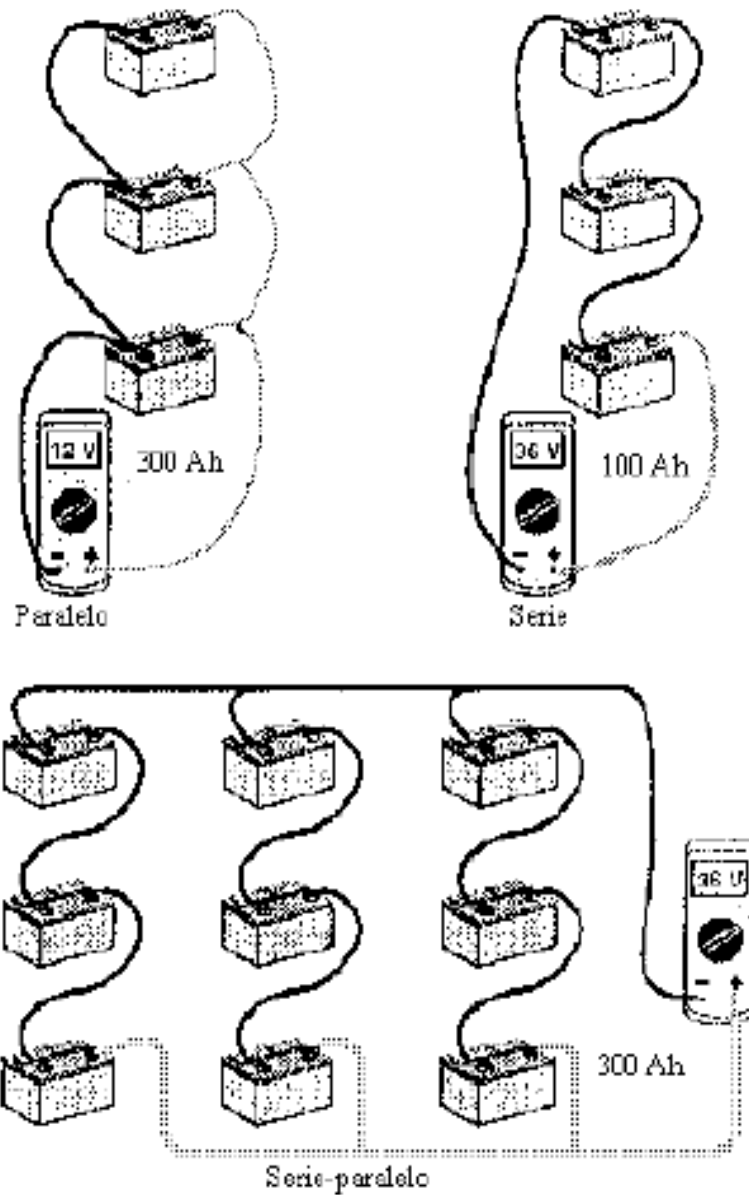


Fig. 9: Tipos de conexionado de las baterías

4.4. El regulador de carga

Implica una vigilancia continua para que no se produzcan las sobrecargas y las descargas profundas que la batería puede producir.

Función: proteger la batería contra las situaciones extremas para evitar daños.

Funcionamiento: recopila información sobre el estado de carga del sistema y la compara con los valores máximos y mínimos admisibles para que no se produzcan sobrecargas o descargas extremas.

4.4.1. Tipos de regulador:

- **Regulador paralelo:** regulariza la sobrecarga. Indicado para las pequeñas instalaciones solares fotovoltaicas.
- **Regulador en serie:** regulariza sobrecargas y descargas. El interruptor puede ser electromecánico o estático. Puede incorporar otras funciones, como por ejemplo alarma, interrupción nocturna, etcétera.

La Fig. 10 muestra la imagen de un regulador serie.

Los reguladores que se emplean son del tipo serie: desconectan el campo de paneles de la batería para evitar la sobrecarga, y la batería de los equipos de consumo para evitar la sobredescarga. Esta desconexión se hace mediante interruptores que pueden ser dispositivos electromecánicos (relés, contactores, etc.) o de estado sólido (transistor bipolar, etc.).

Para proteger la batería de la sobrecarga, el interruptor se abre cuando la tensión en la batería alcanza su *tensión de corte por alta*, y vuelve a cerrarse cuando la batería vuelve a la denominada *tensión de rearme por alta*. La tensión de corte por alta está en torno a los 2,45 V por elemento de la batería, a 25°C [4].

En cuanto a la sobredescarga, el interruptor se abre cuando el voltaje de la batería se hace menor que la *tensión de corte por baja*, y se cierra cuando se recupera la *tensión de rearme por baja*. El voltaje de corte por baja está en torno a 1,95 V por elemento [4].



Fig. 10: Regulador serie [6]

4.4.1. Parámetros que definen a un regulador

- **Voltaje de trabajo:** 12, 24 o 48V.
- **Intensidad máxima:** Debe ser un 20 % superior a la máxima corriente del generador fotovoltaico [4].

Otros datos de interés que también proporciona el fabricante:

- Valores de tensión de corte por alta (sobrecarga) y tensión de corte por baja (sobredescarga).
- Existencia de compensación con la temperatura. Las tensiones que indican el estado de carga de la batería varía con la temperatura, por eso algunos reguladores miden la temperatura y corrigen, basándose en ello, las tensiones de sobrecarga.
- Instrumentación de medida e indicadores. Suele llevar un voltímetro que mide la tensión de la batería y un amperímetro que mide la corriente. La mayoría de ellos disponen de indicadores que avisan de determinadas situaciones como: bajo estado de carga de la batería, circuito de paneles desconectado de batería, etcétera.

4.5. El inversor

Los convertidores o inversores son equipos que transforman la tensión continua que proporcionan los módulos en tensión diferente, bien sea continua de otra magnitud (inversores DC/DC) o bien sea alterna (inversores DC/AC que es lo más usual) [4].

4.5.1. Inversores DC/AC

Los sistemas solares producen energía eléctrica en corriente continua, pero muchos electrodomésticos y receptores funcionan con corriente alterna.

En las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica, el inversor debe, además de transformar la corriente continua del generador fotovoltaico en corriente alterna, realizar otras funciones.

Función principal: (i) inversión de modulación de las ondas de corriente alterna; (ii) regulación del valor eficaz del voltaje de salida.

Los inversores pueden encontrarse en configuración monofásica o trifásica, con valores diferentes para el voltaje de entrada y con niveles de potencia que pueden llegar a los megavatios.

4.5.1.1. Tipos de inversores DC/AC:

- **Inversores de onda cuadrada:** Para los usos básicos, (TV, iluminación, en general para las cargas resistivas) más baratos.
- **Inversores de onda sinusoidal:**

Para cualquier tipo de aplicación, en particular los motores (más caros).

4.5.1.2. Características de funcionamiento más importantes

- **Voltaje en la corriente de entrada/salida**

- **Forma de las ondas**
- **Límites del voltaje de entrada**
- **Bajo consumo y alto rendimiento**
- **Potencia de salida**
- **Capacidad de sobrecarga (importante cuando tiene acceso al motor)**
- **Facilidad de reparación y mantenimiento**
- **Funcionamiento en los puntos de potencia máxima**
- **Condiciones ambientales (temperatura de funcionamiento)**

4.5.1.3. Notas

La potencia nominal debe ser de media 2 a 3 veces la potencia de los aparatos que alimenta.

Un inversor cuenta con cables de entrada CC de sección generosa para reducir las caídas de tensión (es necesario conectarlos con un regulador o con la batería según el caso, sin alargarlos).

Es esencial escoger aparatos en versión CA, más económicos en electricidad, lo cual disminuirá el tamaño del inversor del panel solar y de las baterías.

Aparte de la forma de onda (cuadrada o sinusoidal), dos son las características que han de exhibir los inversores:

- **Fiabilidad** ante sobrecorrientes, sabiendo distinguir cuándo se debe al arranque de un motor (y tolerarla) y cuándo a un cortocircuito (y cortarla).
- **Eficiencia de conversión**, altamente dependiente de la potencia demandada en cada instante. Como los convertidores muestran una mayor eficiencia trabajando cerca de su potencia nominal, es conveniente seleccionar bien el modelo, a fin de que opere en esta condición habitualmente. El fabricante suele suministrar el rendimiento del inversor al 70 % de su valor nominal.

4.5.2. Convertidores DC/DC

Son necesarios para disminuir o aumentar la tensión en CC de los receptores que funcionan en CC. La mayoría de los convertidores ofrecen los siguientes voltajes: 1.5V; 3V; 4.5V; 6V; 7.5V; 9V; 12V; 24 V

4.6. Referencias

- [1] <http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>
- [2] [http://www.sitiosolar.com/paneles %20fotovoltaicas.htm](http://www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicas.htm)
- [3] <http://www.directindustry.es/prod/vhf-technologies/modulos-fotovoltaicos-de-silicio-amorfo-sobre-chapa-flexible-54798-712351.html>
- [4] Libro de Ingeniería sin fronteras
- [5] <http://www.pvsystem.org/es/photovoltaic-panels.html>
- [6] <http://www.solarmania.es/Regulador-carga-Stecca-PR1515-12/24V-15A>

5. El dimensionado de una instalación fotovoltaica

5.1. Cálculo de radiación solar

5.1.1. Obtención datos de irradiación global horizontal (0°)

Para la realización del estudio del recurso solar existen varias bases de datos para consultar de las cuales obtendremos los valores de radiación en la zona de estudio.

Utilizaremos principalmente dos bases de datos: PVgis o NASA, dependiendo de la localización.

- PVgis es una base satelital que presenta una mayor cobertura espacial con una resolución de 1 km por 1 km en Europa, Asia y África.

<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>

- En la NASA encontraremos una gran base de datos de parámetros meteorológicos y de radiación solar obtenidos a través de más de 200 satélites en todo el mundo. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

5.1.1.1. PVgis: [<http://sunbird.jrc.it/pvgis/apps/radmonth.php>]

Pasos:

- Seleccionar Horizontal irradiation

Choose country/region and city, or set latitude and longitude and hit "Show" to see the data values for that location.

Country/region:

City:

Latitude: ° ' "

Longitude: ° ' "

- Introducir coordenadas de la ubicación

Choose the data values you want to see, then click the map to open a new window where the results will appear. [[help](#)]

Choose data to be seen in a table. Select individual fields using ctrl and left mouse button

Horizontal irradiation

15 deg irradiation

25 deg irradiation

40 deg irradiation

90 deg irradiation

Irradiation at opt. angle

Linke turbidity

Dif. / global radiation

Optimal inclination angle

Plot monthly values as graph

Plot probability distribution of daily horizontal irradiation

- c) Obtenemos la irradiación global horizontal por día en cada mes, cuyas unidades son **Wh/m²/day**

Month	Irradiation at inclination: (Wh/m ² /day)
	0 deg.
Jan	6339
Feb	6993
Mar	7193
Apr	7049
May	5922
Jun	5000
Jul	4055
Aug	3793
Sep	4746
Oct	5556
Nov	5719
Dec	5886
Year	5677

5.1.1.2. NASA. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Pasos:

- a) Una vez en la web de la NASA, entrar en “*Meteorology and Solar energy*”, y posteriormente en “*Data table for a particular location*”.



- over 200 satellite-derived meteorology and solar energy parameters
- monthly averaged from 22 years of data
- data tables for a particular location
- global solar energy data for 1195 ground sites

Data Retrieval:



- [Data tables for a particular location](#)

Tables of all SSE data set parameters for a single site.

- b) Introducir Latitud y Longitud de la ubicación y señalar “*Insolation on horizontal surface*”

Latitude 12.52 / Longitude 70.86 was chosen.

Select parameters and press Submit
(Default is ALL types) Submit Reset

Geometry	Latitude and longitude (center and boundaries)
Parameters for Solar Cooking	<input type="checkbox"/> Average insolation <input type="checkbox"/> Midday insolation <input type="checkbox"/> Clear sky insolation <input type="checkbox"/> Clear sky days
Parameters for Sizing and Pointing of Solar Panels and for Solar Thermal Applications	<input checked="" type="checkbox"/> Insolation on horizontal surface (Average, Min, Max) <input type="checkbox"/> Diffuse radiation on horizontal surface (Average, Min, Max) <input type="checkbox"/> Direct normal radiation (Average, Min, Max) <input type="checkbox"/> Insolation at 3-hourly intervals <input type="checkbox"/> Insolation clearness index, K (Average, Min, Max) <input type="checkbox"/> Insolation normalized clearness index <input type="checkbox"/> Clear sky insolation <input type="checkbox"/> Clear sky insolation clearness index <input type="checkbox"/> Clear sky insolation normalized clearness index <input type="checkbox"/> Downward Longwave Radiative Flux

- c) Obtenemos la irradiación global horizontal por día en cada mes, cuyas unidades son kWh/m²/day

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh m²/day)

Lat 12.52 Lon 70.86	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	5.71	6.47	7.10	7.24	6.57	4.94	5.29	5.80	6.06	5.72	5.45	5.43	5.97

5.1.2. Cálculo de la irradiación sobre el plano inclinado.

Una vez tengamos la información de la radiación global a 0° (G(0°)), debemos conocer cuál sería la radiación incidente sobre el panel fotovoltaico (G(α, β)), que dependerá de dos factores, el azimut α y la inclinación β del generador.

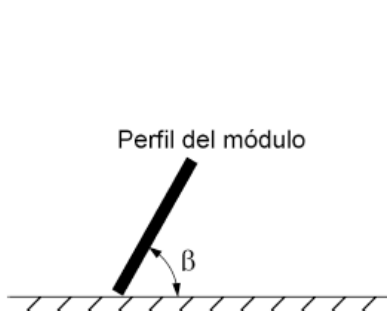


Fig. 1

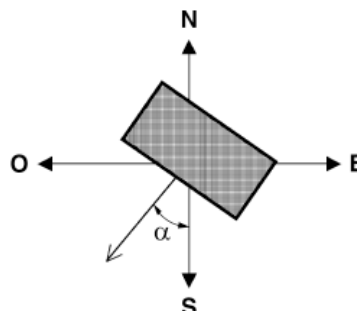


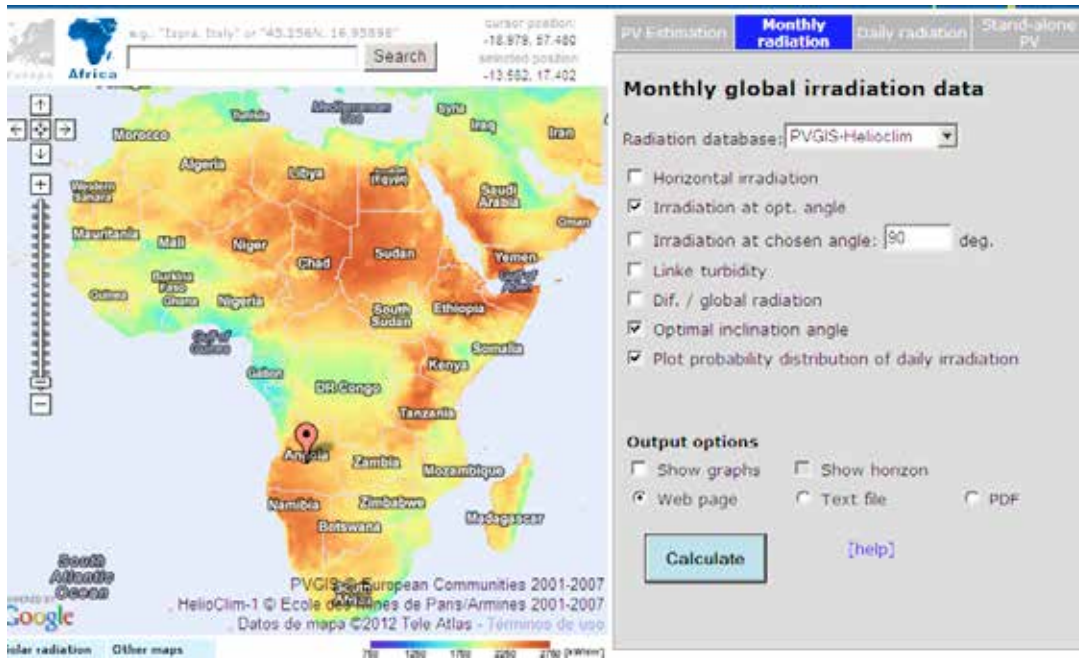
Fig. 2

Dependiendo la ubicación podemos distinguir dos:

5.1.2.1. PVgis

Para los casos de Europa y África, el PVgis tiene una aplicación para el cálculo de la irradiación sobre el plano inclinado que se puede encontrar en el siguiente link: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa&lang=en>

Señalar “Monthly radiation” y comprobar que la casilla de “Irradiation at opt.angle” está marcada.



Si damos a calcular obtenemos la radiación sobre plano inclinado a inclinación óptima, en este caso las unidades son Wh/m2/día.

La radiación sobre el plano inclinado en el mes más crítico será de 5 580 kWh/m2/día:

Month	H_{opt}
Jan	5580
Feb	5720
Mar	6040
Apr	6700
May	7180
Jun	7200
Jul	7320
Aug	7230
Sep	6820
Oct	6220
Nov	5780
Dec	5580
Year	6450

5.1.2.2. Aplicación del factor K

En el caso de no disponer de la opción del PVgis, podemos aplicar el factor K sobre la irradiación horizontal. Tabla Excel adjunto.

En la tabla indicando la latitud e inclinación obtendremos los factores K por mes. (Ejemplo).

Latitud	Inclinación	ENERO	FEBRER	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	OCTUBRI	NOVIEM	DECIEM
12	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	5	1.03	1.02	1.01	1	0.98	0.98	0.98	1	1.01	1.03	1.04	1.04
12	10	1.06	1.04	1.01	0.98	0.96	0.95	0.96	0.98	1.02	1.05	1.07	1.07
12	15	1.08	1.05	1.01	0.97	0.93	0.92	0.93	0.96	1.01	1.06	1.09	1.1
12	20	1.09	1.05	1	0.94	0.89	0.87	0.89	0.94	1	1.07	1.11	1.12
12	25	1.1	1.05	0.98	0.91	0.85	0.83	0.85	0.91	0.99	1.07	1.12	1.13
12	30	1.1	1.04	0.96	0.87	0.8	0.77	0.8	0.87	0.96	1.06	1.12	1.13
12	35	1.09	1.02	0.93	0.83	0.75	0.72	0.74	0.82	0.94	1.05	1.12	1.13
12	40	1.08	1	0.9	0.78	0.69	0.65	0.68	0.77	0.9	1.02	1.11	1.12
12	45	1.06	0.97	0.86	0.73	0.63	0.58	0.62	0.72	0.86	0.99	1.09	1.1
12	50	1.03	0.94	0.81	0.67	0.56	0.51	0.55	0.66	0.81	0.96	1.06	1.08
12	55	1	0.9	0.76	0.61	0.49	0.44	0.48	0.6	0.76	0.92	1.03	1.05
12	60	0.96	0.85	0.7	0.54	0.41	0.36	0.4	0.53	0.7	0.87	0.99	1.01
12	65	0.91	0.8	0.64	0.47	0.34	0.28	0.33	0.46	0.63	0.82	0.94	0.97
12	70	0.86	0.74	0.58	0.4	0.26	0.2	0.25	0.38	0.57	0.76	0.89	0.92
12	75	0.81	0.68	0.51	0.33	0.18	0.12	0.17	0.3	0.5	0.69	0.83	0.87
12	80	0.74	0.62	0.44	0.25	0.11	0.1	0.09	0.23	0.42	0.62	0.77	0.81
12	85	0.68	0.55	0.37	0.17	0.1	0.09	0.09	0.15	0.35	0.55	0.7	0.74

La inclinación será aquella con la que consigamos mayor radiación en el plano inclinado, es decir aquella que tras aplicar el factor K correspondiente obtengamos más kWh/m²/día.

En este ejemplo, obtendríamos:

Latitud	12,52				
	G(0°)	G(5°)		G(10°)	
	kWh/m ² /day	K	kWh/m ² /day	K	kWh/m ² /day
Enero	5,71	1,03	5,8813	1,06	6,0526
Febrero	6,47	1,02	6,5994	1,04	6,7288
Marzo	7,1	1,01	7,171	1,01	7,171
Abril	7,24	1	7,24	0,98	7,0952
Mayo	6,57	0,98	6,4386	0,96	6,3072
Junio	4,94	0,98	4,8412	0,95	4,693
Julio	5,29	0,98	5,1842	0,96	5,0784
Agosto	5,8	1	5,8	0,98	5,684
Septiembre	6,06	1,01	6,1206	1,02	6,1812
Octubre	5,72	1,03	5,8916	1,05	6,006
Noviembre	5,45	1,04	5,668	1,07	5,8315
Diciembre	5,43	1,04	5,6472	1,07	5,8101
Media	5,98166667	1,01	6,04025833	1,0125	6,05325

Por lo que la inclinación óptima sería de **10°** y la radiación sobre el plano inclinado en el mes más crítico será de **4,693 kWh/m²/día**

Ojo tener cuidado con las Unidades:

Las bases de datos te suelen dar los valores en:

- kWh/m²/día
- Wh/m²
- kWh/m²

Trabajar siempre con las mismas. Normalmente se suele trabajar en kWh/m²/día.

5.2. Estimación de consumo

Nota: La información de este apartado se ha extraído del documento: Proceso de cálculo de instalaciones solares fotovoltaicas:

[http://www.ieslacostera.org/electricitat/ISVE/Documents/Comunes/PROCESO %20AISLADAS.pdf](http://www.ieslacostera.org/electricitat/ISVE/Documents/Comunes/PROCESO%20AISLADAS.pdf)
[http://laboral2tecnologia.wikispaces.com/file/view/PROCESO %2520AISLADAS %5B1 %5D.pdf](http://laboral2tecnologia.wikispaces.com/file/view/PROCESO%2520AISLADAS%5B1%5D.pdf)

1. El primer paso en la estimación del consumo es conocer la potencia consumida por los distintos aparatos que se desean instalar además de las horas hipotéticas o calculadas de uso. Se habrá de rellenar la siguiente tabla con los datos que proporciona el fabricante y que conviene comprobar y con los datos estimados por el futuro consumidor. Si la instalación tiene un convertidor CC/CA hay que tener en cuenta su rendimiento η para calcular la potencia o energía que realmente absorberá de la entrada en corriente continua. Un posible valor del rendimiento es **0,85**. La siguiente tabla muestra un ejemplo.

Unidades	Carga	CC/CA	Potencia (W)	h/día
2	Lámpara	CC	15	5
1	Lavadora	CA	350/ η	1,5

2. Obtener los siguientes datos de los consumos:
 - a. Potencia total máxima
 - b. Intensidad total máxima
 - c. Energía calculada después del regulador

Para ello se rellena la siguiente tabla:

Unidades	Carga	CC/CA	Potencia (W)	Total P (W)	Total I (A)	h/día	Ah/día	Ec (Wh/día)
2	Lámpara	CC	15	15*2=30	30W/12V=2.5	5	12.5	12.5*12V=150
1	Lavadora	CA	350	350/0.85*1=411.76	411.76W/12V=34.31	1.5	51.47	51.47*12V=617.6
				441.76 W	36.81 A			767.65 Wh/día

Por tanto:

- a. Potencia total máxima **P_{max}= 441,76 W**
- b. Intensidad total máxima **I_{max}= 36,81 A (a 12 V)**
- c. Energía calculada después del regulador **Ec=767.65 Wh/día (a 12V)**

3. Conocidas las necesidades del usuario es aconsejable aumentarlas en un **porcentaje de seguridad** debido a las pérdidas por el cableado, desgaste del sistema, imprecisión de los datos, etc. Dicho porcentaje debe de tener valores entre el **10 %** y el **25 %**. Normalmente 20 %. Por lo tanto ahora se aplica a la energía total calculada un aumento del 20 % como margen o factor de seguridad obteniendo las **necesidades del usuario, Nu**:

$$Nu = Ec * 1.2 = 921,18 \text{ Wh/día}$$

4. El siguiente paso consiste en calcular el coeficiente de pérdidas totales de la instalación K_T . Los coeficientes de pérdidas que deben tenerse en cuenta son:

- a. K_A : Por la auto descarga diaria de la batería, dada a 20° C. (K_A : **0,005** a falta de datos del fabricante)
- b. K_B : originada por el rendimiento de la batería. (K_B : en general **0,05** y **0,1** para viejos acumuladores, para fuertes descargas, o bajas temperaturas.)
- c. K_C : debido al rendimiento del convertidor utilizado (si lo hay). (Se tomará el valor de **0,25** a **0,05** (75÷95 % de η), y **0** si no lo hay. Como dicho rendimiento ya se ha incluido en el paso 1, se le asignará siempre el valor **0**.)
- d. K_R : por el rendimiento del regulador empleado. (Con valores comprendidos entre **0,1** a **0,01** (90÷99 % de η).
- e. K_x : otras pérdidas no contempladas, por efecto Joule, caídas de tensión, etc. (agrupa a cualquier otro tipo de pérdida no consideradas, tomando normalmente el valor de **0,15** cuando se conocen las potencias teóricas; **0,1** en general, sin conocer los rendimientos; puede reducirse hasta **0,05** si se han tenido en cuenta los rendimientos de cada carga instalada).
- f. D_{aut} : días de autonomía con baja o nula insolación.
- g. P_d : Profundidad de descarga de la batería, en tanto por uno.

El coeficiente de pérdidas totales K_T viene dado por la expresión:

$$K_T = \left[1 - (K_B + K_C + K_R + K_x) \right] \cdot \left[1 - \frac{(K_A \cdot D_{aut})}{P_d} \right]$$

Para una batería de plomo-ácido, nueva, un regulador de η 90 %, 5 días de autonomía D_{aut} y una P_d del 60 %, conociendo las potencias teóricas; K_T será:

$$K_T = [1 - (0'05 + 0 + 0'1 + 0'15)] \times \left[1 - \frac{(0'005 \times 5)}{0'6} \right] = 0'67$$

Siendo el consumo máximo que deben proporcionar los paneles, C_{\max} , así:

$$C_{\max} = Un / K_T = 921.18 / 0.67 = 1375 \text{ Wh/día}$$

Nota: La información de este apartado se ha extraído del documento: Proceso de cálculo de instalaciones solares fotovoltaicas:

[http://www.ieslacostera.org/electricitat/ISVE/Documents/Comunes/PROCESO %20AISLADAS.pdf](http://www.ieslacostera.org/electricitat/ISVE/Documents/Comunes/PROCESO%20AISLADAS.pdf)
[http://laboral2tecnologia.wikispaces.com/file/view/PROCESO %2520AISLADAS %5B1 %5D.pdf](http://laboral2tecnologia.wikispaces.com/file/view/PROCESO%2520AISLADAS%5B1%5D.pdf)

5.3. Dimensionamiento

Los equipos principales de una instalación fotovoltaica son los paneles fotovoltaicos, el tren de baterías, los reguladores y los inversores. Por tanto es necesario responder a tres preguntas: ¿Cuántos paneles necesitamos obtener energía suficiente para satisfacer la demanda? ¿Cuántas baterías son necesarias para acumular dicha energía? ¿Qué regulador es necesario para garantizar esto?

Para dimensionar los paneles, las baterías y los reguladores, se hace uso del consumo energético diario a satisfacer, mientras que para el dimensionamiento del inversor se hace uso del consumo máximo instantáneo.

5.3.1. Paneles

Se define la potencia pico de la instalación fotovoltaica (en adelante, P_{pico}) como el consumo energético diario previsto dividido entre las horas solares pico (en adelante, HSP) y entre el rendimiento esperado del panel. Se mide en W_{pico} .

$$P_{\text{pico}} = \frac{E}{HSP * h_{\text{panel}}}$$

Las HSP se corresponden con las horas de irradiación solar continua que equivaldrían a la irradiación solar diaria media de una zona geográfica determinada. Por ejemplo, en el caso de Centro América, el valor medio de HSP en posición horizontal se encuentra en torno a un valor de 5. Este coeficiente se multiplica por un factor, según la inclinación con la que se colocan los paneles (factor de 1,1 para 15° de inclinación). Sin embargo, para mayor prudencia, se suele usar el coeficiente de radiación del mes más restrictivo (típicamente diciembre), aproximando las HSP a un valor de 4 en los países de Centro América.

El rendimiento de los paneles suele ser del 90 %. El número de paneles necesarios será el resultado de dividir la P_{pico} entre la potencia pico del panel:

$$N_{\text{paneles}} = \frac{P_{\text{pico}}}{P_{\text{panel}}}$$

Siendo perfeccionistas, además del rendimiento de los paneles, se puede considerar un margen adicional por temperatura ($m1$, valor típico 11 %). Combinando las fórmulas quedaría:

$$N_{\text{paneles}} = \frac{E * (1 + m1)}{P_{\text{panel}} * HSP * h_{\text{panel}}}$$

Por último es fundamental tener presente la tensión nominal del sistema frente a la tensión nominal de los paneles. Habrá que poner paneles en serie como para dar la tensión nominal del sistema. Por ejemplo si el resultado de la fórmula previa son 6 paneles, el sistema trabaja a 48Vcc y los paneles son de 24Vcc habrá que colocar en serie dos grupos de tres paneles en paralelo.

5.3.2. Batería

El dimensionamiento de las baterías tiene una elevada importancia a la hora de diseñar un sistema fotovoltaico debido a que su precio tiene una relación de alrededor de 1 sobre 3 con respecto al precio de los paneles.

Para preservar la vida útil del conjunto de baterías es fundamental dejar un margen sin utilizar, es decir no deben descargarse por debajo de un valor mínimo ni pasar de un máximo. El margen total de la capacidad de la batería que se puede usar se denomina profundidad de descarga (ϵ , con valores típicos entre el 60 % y el 70 %)

Por otro lado, se suelen considerar más de un día de autonomía, en función de la aplicación. Es decir, cabe la posibilidad de que durante varios días seguidos los paneles no produzcan energía eléctrica y las baterías sigan siendo necesarias.

$$\text{Capacidad descarga} = \frac{E \times \text{días}}{U \times \epsilon} [Ah]$$

5.3.4. Regulador

El regulador es el encargado de repartir la potencia de los paneles entre las baterías o el inversor según convenga. La intensidad mínima que debe soportar el regulador es tal que la intensidad máxima que admite el regulador sea superior que el número máximo de paneles en paralelo por la intensidad de cortocircuito de los paneles, de tal modo que en caso de cortocircuito los paneles no sufrirán daños importantes. Por tanto, la restricción es la siguiente:

$$I_{\text{min}} = \text{Número paneles paralelo} * \text{Intensidad cc panel}$$

Por tanto en el ejemplo anterior, la intensidad mínima del regulador debe ser mayor que tres (**o son 6**) veces la intensidad de cortocircuito de un panel.

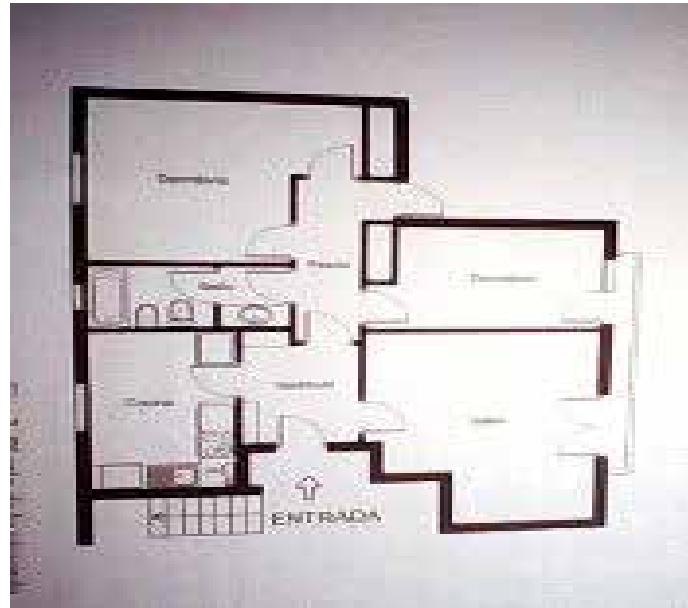
De todos modos en muchos ejemplos la variable de diseño no es la intensidad del regulador sino el número máximo de paneles en paralelo. Por tanto, en este caso habría que limitar la intensidad de cortocircuito de los paneles.

5.3.5. Convertidor

Se pondrán tantos inversores en paralelo como sea necesario para admitir el consumo máximo instantáneo

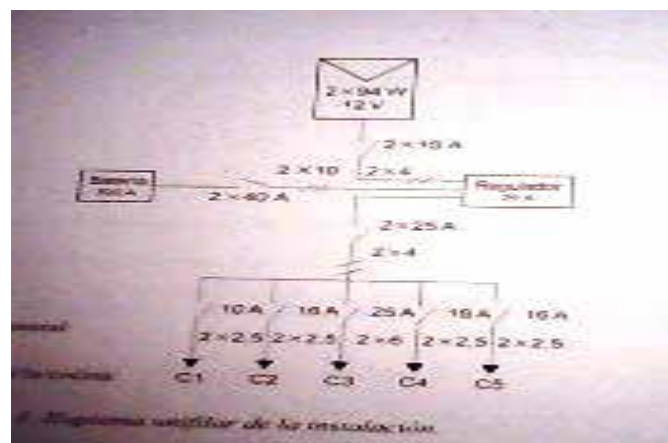
5.4. Ejemplo y ejercicio Vivienda solar fotovoltaica con 12 V o 24 V de corriente continua (CC)

5.4.1. Plano de la casa



La instalación funciona con un voltaje de 12V/CC. No es necesario un diferencial combinado, pero las partes metálicas pueden estar conectadas con la tierra.

Diagrama unifilar



- C1= Iluminación
- C2= Nevera y enchufes
- C3=Cocina y horno
- C4= Lavabo
- C5= Enchufes del cuarto de baño y auxiliares

5.4.2. Cálculo de la carga

Carga	Cantidad	CC o CA	Potencia w	Rendimiento h %	Utilización h / día	Consumo Wh /día
Cocina	1	CC	18w	100 %	4	72
Comedor	1	CC	26	100 %	5	130
Dormitorio	1	CC	13	100 %	1	13
Dormitorio	1	CC	13	100 %	2	26
Baño	1	CC	10	100 %	3	30
Pasillo y lavabo	1	CC	10+10	100 %	1	20
T V pasillo	1	CC	70	100 %	3	210
Nevera	1	CC	60	100 %	6	360
230W					TOTAL	867 Wh /día

Para los receptores de CC, utilizar el valor 100 % para el rendimiento

	Datos para los cálculos del sistema	
	Valor	Variable
Tensión del sistema	12 Vcc	Us
Tensión nominal del módulo	12 Vcc	Um
Corriente media del módulo	4 A	Im
Consumo total de la instalación	867 Wh	E
Pérdidas del sistema	15 %	e 1
% profundidad de descarga de la batería	70 %	GDD
Días de autonomía de la batería	3	A
Radiación de referencia	4,02 hsp	G
% de energía fotovoltaica	100 %	E %
% margen adicional de los módulos	0 %	m 1
% margen adicional de las baterías	0 %	m 2

5.4.3. GDD: Grado Diario de Descarga

Por lo general, retendremos entre el 50 % y el 70 % para las baterías solares y 30 % para las baterías de automóviles.

5.4.4. Cálculo del número de módulos fotovoltaicos

Número de módulos = $E \% \times E \times (1+e1+m1) \times (1+m2) / G \times Im \times U m$

$$= 1 \times 867 \times 1.15 \times 1 / 4.02 \times 4 \times 12 = 5,16 \text{ módulos}$$

Utilizaremos 6 módulos fotovoltaicos de 70Wc

5.4.5. Cálculo de la capacidad de la batería

$$\begin{aligned}\text{Capacidad de la batería} &= E \times (1+m2) \times A / \text{DDQ} \times \text{Us} \\ &= 867 \times 1 \times 3 / 0.7 \times 12 \\ &= 309.64 \text{ Ah}\end{aligned}$$

Utilizaremos una batería con una capacidad de **340Ah**

5.4.6. Cálculo del regulador

$$\begin{aligned}\text{Corriente de entrada} &= \text{número de módulos en paralelo} \times \text{corriente de cortocircuito del módulo (Isc)} \\ &= 6 \times 4,5\text{A} \\ &= 27\text{A}\end{aligned}$$

El regulador debe soportar una corriente de 27A en funcionamiento.

Utilizaremos un regulador de carga de **30^a**

5.4.7. Sección de los conductores

Consideramos tres líneas principales, por ejemplo:

- Del panel al regulador
- Del regulador a la batería
- Del regulador a la carga

La caída máxima de tensión es del 3 %

5.4.8. Panel – regulador

$$S = 2LI / (56 \times 0,48)$$

Del cual:

S = Sección de la línea en mm²

L = Longitud de la línea en m

e = caída de tensión en % de tensión. Longitud máxima: elegir **6m**

$$S = 2 \times 6 \times 24 / (56 \times 0,48) \quad S = 10.71 \text{ mm}^2$$

La intensidad 24A es el máximo que los módulos pueden proveer al regulador, de acuerdo con las indicaciones del fabricante.

Utilizamos un cable de sección $S = 12 \text{ mm}^2$ con una caída de tensión de:

$$e = 2LI / (56 S) = 2 \times 6 \times 24 / (56 \times 12) \quad e = 0,428 = 2.45 \%$$

5.4.9. Regulador – batería

$$S = 2LI / (56 \times 0,48)$$

Del cual

S = Sección de la línea en mm²

L = Longitud de la línea en m

e = caída de tensión en % de tensión. Longitud máxima: elegir **2m**

$$S = 2 \times 2 \times 30 / (56 \times 0,48) = 4,46 \text{ mm}^2 \quad S = 4,46 \text{ mm}^2$$

Utilizamos un cable de sección $S = 5 \text{ mm}^2$ con una caída de tensión de:

$$e = 2LI / (56 S) = (2 \times 2 \times 30) / (56 \times 5) \quad e = 0,42 = 2,4 \%$$

La intensidad de 30A es el máximo de funcionamiento del regulador de carga de acuerdo con el fabricante.

5.4.10. Regulador – carga

$$S = 2LP / (56 e V_m)$$

S = Sección de la línea en mm²

L = Longitud de la línea en m

P = Potencia del consumo

e = caída de tensión en % de tensión. Longitud máxima: elegir **5m**

Aquí utilizamos la fórmula de la potencia de consumo)

$$S = 2 \times 5 \times 230 / (56 \times 0,48 \times 17,5) = 4,88 \text{ mm}^2 \quad S = 5 \text{ mm}^2$$

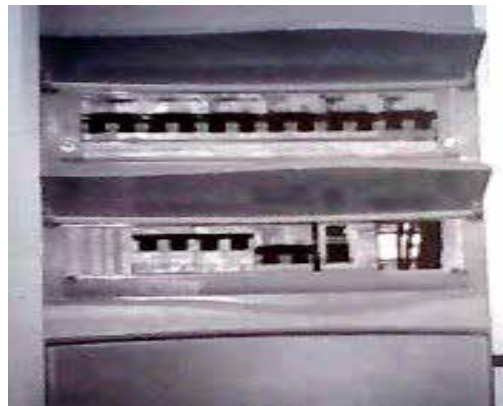
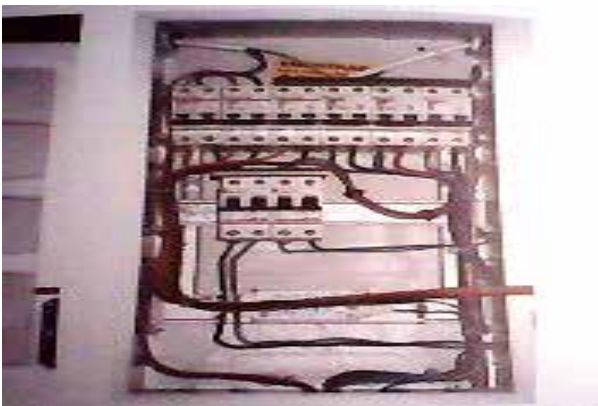
Con una caída de tensión de:

$$e = (2 \times 5 \times 230) / (56 \times 5 \times 17,5) = 0,46 \quad e = 0,46 = 2,68 \%$$

La potencia $P = 230 \text{ w}$ es la máxima que puede funcionar con todos los receptores conectados y sin aplicar ningún coeficiente de simultaneidad. **En los circuitos de la casa podemos utilizar una sección de 2,5 mm², respetando la norma UNE 21123-4.**

5.4.11. Fotos

Ejemplo de una caja de distribución de circuito / interruptor.



Ejemplo de la práctica terminada.



Funcionamiento con un cargador de batería



Televisor y nevera en funcionamiento 12 V CC con energía fotovoltaica:



6. Montaje y mantenimiento

6.1. Descripción

Este capítulo describe el montaje y el mantenimiento de la instalación de un sistema solar fotovoltaico. El capítulo 4 presenta y describe en detalle los diferentes componentes de un sistema solar fotovoltaico.

6.2. Normas de seguridad

A continuación, se presentan las normas de seguridad que deben tenerse en cuenta durante el montaje y el mantenimiento de la instalación fotovoltaica.

6.2.1. Aspectos generales

- No instalar ni manipular los componentes eléctricos en lugares con posibles gases inflamables debido a la presencia de pintura, barniz o disolventes.
- No almacenar materiales inflamables cerca de baterías o elementos electrónicos.
- No trabajar con pulseras, cadenas u otras joyas conductoras peligrosas.
- Nunca trabajar solo. Tener siempre a una persona al lado para que pueda ayudar en caso de accidente.
- Montaje mecánico: es importante utilizar los cascos y los guantes como medida de protección.

- Atención a la manipulación de objetos voluminosos y pesados. Peligro de sufrir golpes o quedarse atascado.

6.2.2. Baterías

- Elemento delicado, Manipulación peligrosa.
- Utilizar protección para los ojos.
- Tener al alcance de la mano agua limpia para limpiar en caso de contacto con ácido.
- Pueden aparecer gases explosivos
- Utilizar útiles aislantes
- Evitar la presencia de objetos metálicos que, en caso de caer sobre las baterías, puedan provocar cortocircuitos.
- La intensidad de los cortocircuitos puede ser muy alta, capaz de provocar incendios e incluso la explosión de la batería.
- No almacenar materiales inflamables cerca de las baterías.
- No fumar cerca de las baterías.

6.2.3. Paneles

- Los paneles están produciendo energía siempre que estén recibiendo luz.
- Utilizar útiles aislantes durante su conexión, teniendo en cuenta que se encuentran generando energía.

6.2.4. Regulador

- Colocación
- Condiciones de temperatura adecuadas (temperatura ambiente máxima 50°C)
- Lejos del alcance de niños y animales
- Cerca de los acumuladores
- Evitar las caídas de voltaje superiores al 3 % en condiciones de intensidad máxima.

6.3. Montaje de la instalación

En esta sección se detallan, paso a paso, las acciones que deben de llevarse a cabo para el montaje correcto de la instalación [3]. Estas acciones son:

1. Estudiar la ubicación correcta de la instalación
2. Adquisición de los equipos
3. Construcción de la estructura soporte
4. Colocación y conexión de los paneles
5. Montaje de las baterías y del regulador
6. Verificación

6.3.1. Ubicación de la instalación

En primer lugar hay que decidir el emplazamiento de la instalación. Algunos puntos importantes son:

- Emplazamiento en la comunidad: Se debe buscar un emplazamiento adecuado desde el punto de vista social. En caso de un sistema centralizado, no hay que instalarlo demasiado lejos de los hogares y centros para protegerlo contra robos y para integrar la instalación en la comunidad. En caso de un sistema descentralizado, sobre todo hay que verificar la estructura del edificio antes de instalar los paneles ya que muchas veces no cuenta con condiciones para ello.
- Evitar las sombras: A lo largo del día la superficie de los paneles no debe quedar en sombra. En caso de obstáculos, se puede tolerar una desviación respecto a su orientación al Ecuador de hasta 20° al Este o al Oeste. También es importante que los paneles no se hagan sombra unos a otros.

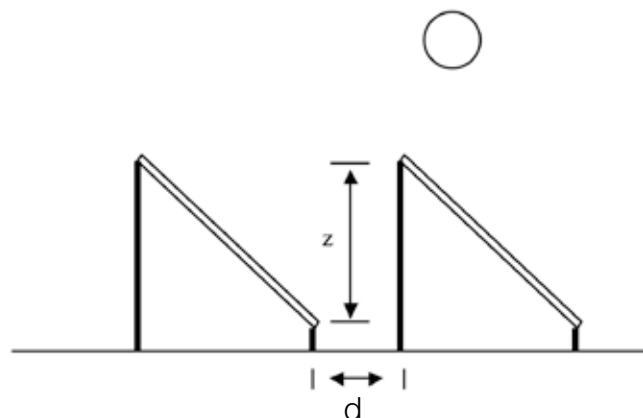
La parte sombreada de un panel ya no genera energía sino que la disipa, provocando una subida importante de la temperatura (fenómeno del punta caliente) que puede dañar el módulo.

Para evitar que los paneles se hagan sombra unos a otros, es conveniente considerar el día de mayores sombras, es decir, en el solsticio de invierno que es cuando el sol se halla más próximo al horizonte. Para calcular la distancia d mínima entre dos paneles se usa la siguiente fórmula:

$$d = 1.35 \cdot z / \tan(h_0)$$

$$h_0 = 90^\circ - (|\text{latitud}| + 23.5^\circ)$$

donde h_0 es la altura del sol al mediodía en el solsticio de invierno y el factor 1,35 tiene aproximadamente en cuenta la variación de altura en las horas próximas al mediodía.



- Reservar un espacio para el acumulador: Las baterías se deben ubicar en una caseta o local cubierto y con ventilación ya que son sensibles a la humedad y a las variaciones de la temperatura.
- Finalmente, minimizar el tendido de cables: La disposición de los diferentes elementos de la instalación ha de ser tal que el trazado de los cables sea lo más sencillo y corto posible. Esto también reduce el coste de la instalación.

6.3.2. Adquisición de los equipos

Es importante comprobar las garantías de los equipos de la instalación. Además hay que comprobar que los equipos cumplen todas las especificaciones y señalar los defectos de fabricación ya que la garantía cubre sólo estos defectos.

La garantía no incluye las operaciones usuales de mantenimiento por lo que podría ser interesante añadir un contrato de mantenimiento. Es importante que el suministrador facilite transitoriamente un reemplazo para los componentes averiados.

Especial cuidado hay que tener con las baterías y hay que exigir al suministrador que se haga cargo de ella una vez haya llegado al fin de su vida útil.

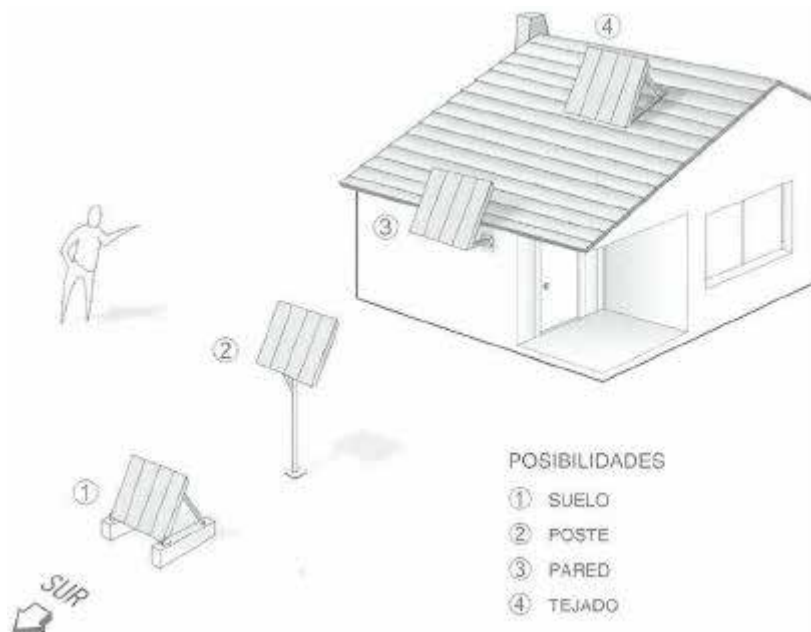
6.3.3. Construcción de la estructura soporte

La estructura soporte mantiene los paneles fijos en la inclinación y orientación elegida. Estas estructuras deben ser suficientemente robustas (para resistir vientos fuertes) y de materiales apropiados (para evitar la corrosión o la putrefacción). En particular:

- Para reducir las cargas del viento, debería existir al menos 3 cm de distancia entre dos paneles consecutivos
- Los paneles no deberían retener agua de lluvia.

El emplazamiento de los paneles podría ser:

- Sobre mástiles: Adecuados para instalaciones pequeñas (1 a 4 módulos), son económicos y permiten evitar las sombras de obstáculos con facilidad. Son sensibles al viento.
- Sobre el suelo: Es una realización sencilla para instalaciones con mayor número de módulos. Hay que colocar los paneles elevados unos 30 cm por encima del suelo para evitar la acumulación de barro o agua.
- Sobre el tejado: Presenta la ventaja de estar más protegidos contra robos y de ensuciarse menos. Es difícil anclar la estructura y se deben utilizar materiales ligeros. Es recomendable en instalaciones sobre cubiertas planas en zonas sin vientos muy fuertes.
- Anclados a paredes: Están protegidos contra robos y suciedad y no se depende de la orientación de la cubierta; la exposición al viento es menor y no existe peligro de dañar la impermeabilización.



A la hora de construir la estructura, se puede trabajar con materiales locales, con materiales industriales o con kits ya preparados.

- Materiales locales: Son más baratos (madera de los bosques cercanos, etc. y se reduce el coste de transporte), se ahorran técnicos y mano de obra exteriores y se conoce la resistencia y la adecuación de los materiales al clima del lugar.
- Materiales industriales: Son más caros (coste de material y coste de transporte) y suelen ser perfiles metálicos que necesitan técnicas e instrumentos específicos para su construcción. Los perfiles más comunes son:
 - Aluminio anodizado: Es poco frecuente y caro. Los perfiles se cortan con sierra eléctrica o soplete oxhídrico y se unen con tornillos y remaches. Resisten muy bien la corrosión.
 - Hierro corriente: Es barato y fácil de conseguir. Los perfiles se cortan con sierra eléctrica o soplete oxhídrico y se unen por soldadura de arco o soplete de oxiacetileno. No tiene mucha resistencia a la corrosión y hay que aplicar después de la construcción una pintura anticorrosión.
 - Hierro galvanizado: Se trata de perfiles de estantería y son estructuras sencillas y fáciles de montar, que se pueden cortar con sierra manual y se unen por atornillado. Tienen buena resistencia a la corrosión.
- Kits prefabricados: Se solicitan a la empresa suministradora de los paneles. El montaje es sencillo, con elementos atornillados. La única obra necesaria es el anclaje al terreno. Es una solución cara.

Finalmente, el sistema de fijación de la estructura tiene que ser capaz de soportar las cargas originadas por el viento.

- Para instalaciones sobre suelo: Lo normal es anclar las instalaciones sobre cimentación de hormigón formada por una losa o por dados de hormigón para cada amarre. La estructura se fija a la cimentación mediante tornillos.
- Para anclajes sobre techos y paredes: Se utilizan anclajes recibidos, taladros o tornillos de expansión (en muros de bloques y similares) o bien tornillos pasantes con tuercas y arandelas (en paredes de tablas y similares).

6.3.4. Colocación y conexión de paneles

El fabricante suele proporcionar instrucciones para la sujeción de los paneles a la estructura. En general se utilizan tornillos de acero inoxidable.

ATENCIÓN: No hacer taladros sobre el marco del panel para no romper el cristal protector de las células.

Si abundan los robos, se puede sujetar los paneles de forma que sea muy difícil de desmontarlo lo que dificulta una eventual reparación.

De acuerdo con el capítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia**, se puede realizar la conexión de los paneles en paralelo o en combinaciones serie-paralelo si se necesita una tensión de trabajo mayor que la de un solo panel.

Los puntos primordiales a considerar son:

- Todos los paneles deben ser del mismo modelo (misma marca y misma característica corriente-tensión). Se ordenan los paneles de mayor a menor corriente de cortocircuito si hay dispersa la característica de la que ha dado el fabricante.
- El tendido de los cables y las conexiones deben soportar las condiciones de intemperie y humedad (el cable tiene que contar con una capa de material resistente y las conexiones se harán con terminales). Proteger el cable de la luz del sol y no enrollar el cable a un tornillo.

Los terminales suelen estar situados en la parte trasera del panel. En el caso de que se trate de bornes, será necesario el uso de capuchones de goma. En ocasiones hay una caja de conexión a la espalda del panel donde se encuentran los terminales.

ATENCIÓN: En ocasiones, los paneles disponen de un tercer borne para permitir la conexión de los diodos de paso (para evitar el “punto caliente”). Respetar la polaridad de los diodos.

6.3.5. Batería y regulador

Es fundamental situar las baterías en algún habitáculo protegido de la intemperie. Eso beneficia también al rendimiento de la batería ya que depende de forma importante de la temperatura ambiente. La temperatura ideal de trabajo se sitúa en torno a los 20°C. Algunos requisitos del emplazamiento son:

- Facilidad de acceso para el montaje y mantenimiento

- Verificación del tipo de batería
- Situar la batería lo más cercano a los paneles (minimizar coste de los cables y la caída de tensión).
- Lugar seco (eliminar la humedad para retrasar la corrosión de los elementos metálicos) y algo ventilado (por los gases)
- Local aislado térmicamente para evitar las diferencias de temperatura
- Conviene colocar las baterías sobre una bancada resistente al electrolito para aislarlas del suelo.

Antes de montar la batería, hay que seguir los siguientes pasos para verificar el buen estado y funcionamiento de la batería:

- Mida la tensión de los bornes de la batería: debe ser igual a cero.
- Mida la densidad del electrolito del bidón: debe ser la misma que la que se indica en la documentación de la batería (1,24 a 1,28 g/l).
- Limpie la parte superior con un trapo limpio y seco.
- Retire los tapones de llenado del electrolito.
- Rellene la batería con el electrolito elemento/elemento utilizando un embudo hasta el nivel mínimo que se indica en la batería. Deje reposar el electrolito de 20 a 30 minutos (es normal que la batería se caliente un poco).
- Mida de nuevo la tensión de la batería: debe ser superior a 12V.
- Complete con el electrolito cada compartimento hasta el nivel máximo.
- Vuelva a poner los tapones y limpie la parte superior de la batería con un trapo limpio y seco.
- Pele el cable para conectarlo a las terminales de la batería, pero preste atención para no conectarlos a los bornes + y – de la batería.
- A fin de proteger los contactos de la batería de la corrosión, conviene untarlos con vaselina neutra.

En caso de conectar varias baterías en serie o paralelo, estas deben ser iguales (misma tensión en paralelo, misma corriente en serie).

Los reguladores y los demás sistemas de control se montan, siempre que sea posible, en el mismo cuarto de las baterías para reducir el cableado de corriente continua, siendo este especialmente caro. Los requisitos de montaje son:

- Todos los enchufes y tomas de corriente han de tener claramente identificados los polos positivos y negativos.
- Se debe colocar un interruptor magnetotérmico de amperaje adecuado para proteger la instalación en caso de cortocircuitos.
- El sistema de regulación debe contar con un sistema de desconexión de la carga.
- Si los reguladores son de tipo “shunt” o paralelo, hay que prever la evacuación del calor.
- La ejecución de las conexiones debe cuidarse para evitar problemas de mantenimiento.
- Descargar periódicamente la electricidad estática corporal ya que los circuitos convertidores y reguladores (que contienen elementos MOS) son sensibles a las descargas estáticas.

Es importante comprobar que el regulador funcione bien antes de su conexión y uso.

6.3.6. Cableado

En cuanto al cableado hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los cables deben estar dotados de protección adecuada contra la intemperie.
- El tendido de los cables debe cumplir con las normas de seguridad e instalación vigentes en el país (cables de colores distintos según la polaridad, etc.).
- El tendido debe realizarse de manera que el cable quede tenso pero sin esfuerzos adicionales. Se ubicarán elementos de fijación adecuados cada 30 cm. Aprovechar la estructura de local para la conducción de los cables y asegurar la fijación mediante grapas y abrazaderas.
- Evitar la posible entrada de agua mediante tubos recibidos en el muro y cajas de intemperie al hacer pasar los cables a través de paredes.
- Los empalmes entre conductores se realizan a través de cajas de conexiones.

La conexión de los diferentes elementos de la instalación para su uso se hace de la siguiente forma:

1. Régulateur vers la batterie
2. Panneau vers régulateur
3. Consommations vers régulateur
4. La déconnection se fait dans le sens inverse

Además se recomienda realizar las siguientes mediciones:

- Medidas iniciales en los terminales del regulador. Comprobar el valor de las tensiones en los distintos elementos de la instalación.
- Medidas intermedias en los extremos de las líneas que llevan a los consumos. Comprobar los valores de la tensión en las tomas de enchufe, etc.
- Medidas finales. Comprobar el correcto funcionamiento de los equipos de consumo.

6.4. Mantenimiento

Los sistemas solares necesitan un cuidado y mantenimiento mínimos pero indispensables.

Existen dos niveles de mantenimiento:

- **El primero se refiere a los pequeños cuidados** que deben efectuarse de forma regular por el usuario. Se trata de limpiar los módulos, verificar la ausencia de sombras sobre los módulos, recortar si fuera necesario, verificar los niveles de electrolitos y, eventualmente, añadir agua destilada y sustituir el tubo fluorescente. Es necesario asegurarse de que estas tareas están al alcance del usuario y de que se realizan de forma correcta y regular.
- **El segundo se ocupa del mantenimiento más avanzado** que usted deberá efectuar

como técnico cualificado equipado con utensilios apropiados. Se trata de verificar los principales componentes del sistema. Este mantenimiento debe efectuarse cada 6 meses.

Los pequeños cuidados y el mantenimiento son medidas preventivas (que deben realizarse sistemáticamente cuando la instalación funcione bien) para asegurar la fiabilidad del servicio de la electricidad.

La siguiente tabla resume las operaciones de mantenimiento y su frecuencia:

	Semanal-Mensual	Semestralmente
Paneles	Con asiduidad: <ul style="list-style-type: none"> - Limpieza - Eliminación de sombras - Inspección visual 	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección visual - Comprobar conexiones eléctricas y tendido de cables - Medida de las características de los paneles
Baterías	Con asiduidad: <ul style="list-style-type: none"> - Inspección visual Mensualmente: <ul style="list-style-type: none"> - Limpieza - Vigilar corrosión - Vigilar nivel de la disolución - Comprobar estado de las celdas 	<ul style="list-style-type: none"> - Medida de la tensión sin carga de los elementos - Vigilar estratificación - Reciclaje de baterías
Reguladores	Con asiduidad: <ul style="list-style-type: none"> - Inspección visual 	<ul style="list-style-type: none"> - Inspección visual - Comprobar conexiones y tendido de los cables - Comprobar tensiones en el regulador

6.4.1. Prepare y organice su trabajo

1. Converse con el usuario antes de comenzar cualquier trabajo de mantenimiento.

Él es su fuente principal de información. Pregunte qué aspectos del sistema satisfacen correctamente sus necesidades y cuáles necesita. Las respuestas a estas preguntas le permitirán realizar sin duda un trabajo mejor.

2. Consulte el cuadro de mando del sistema y las posibles notas que haya tomado.
3. Verifique las nuevas instalaciones que se han añadido en comparación con lo que estaba previsto.
4. Verifique que ninguno de los componentes ha sido improvisado o mal utilizado.
5. Limpie cada uno de los componentes con la ayuda del usuario. Esto le permitirá hacerse una idea de cómo éste mantiene el sistema.

6.4.2. Procedimiento de mantenimiento del panel solar

1. Limpie con agua, pronto por la mañana o a última hora de la tarde (evitar jabón y detergentes)
2. Verifique si el panel está fijado, orientado e inclinado correctamente.
3. Verifique la posible decoloración de las células, rotura de cristales o corrosión de las conexiones entre células.
4. Verifique la ausencia de sombras (ej.: nuevos edificios, árboles, antenas de televisión).
5. Verifique si la parte de atrás del panel no tiene nidos de pájaros o de insectos, en cuyo caso tendrá que quitarlos.
6. Verifique si las cajas de conexión continúan estancas.
7. En caso de que el soporte del módulo esté conectado al suelo, verifique su continuidad desde el módulo hasta la toma de tierra.
8. Vuelva a ajustar todas las conexiones

Potencia del módulo (Wp)	5	20	30	40	50	60	70	80
Icc (A)	0,3	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,2	4,8
Uc0 (V)	19 a 22 para cualquier potencia para los módulos de 36 células							

6.4.3. Procedimiento de manutención de la batería

Es preferible disponer de guantes, de un par de gafas de protección y de un recipiente con agua para poder lavar posibles salpicaduras de electrolito.

1. Empiece siempre preguntando lo siguiente al usuario:
 - Si tiene agua destilada en stock, y cuánta tiene
 - Si ha añadido agua destilada, en qué cantidad y en qué células de la batería
 - Si el nivel de electrolito está por debajo de las placas
 - De dónde proviene el agua destilada
 - En qué recipiente está almacenada
 - Si piensa que la batería está desgastada y por qué
2. Pare la carga de la batería (ej.: desconecte el cable del panel solar al nivel del regulador y apague todos los receptores, después espere 30 minutos antes de hacer nada más)
3. Aproveche ese tiempo para efectuar un control visual para detectar posibles fugas de electrolito. Limpie y seque el bajo de las baterías.
4. Retire los tapones y verifique si hay polvo o algún cuerpo extraño que haya podido caer en las células.
5. Mida y anote el voltaje de circuito abierto.
6. Mida el valor de la densidad y la temperatura del electrolito:
 - En cada célula bombee una vez, y elimine el contenido bombeado.
 - En la misma célula, bombee una segunda vez y lea el valor de la densidad (anote el valor, por ejemplo: 1,150, 1,260...)

- Devuelva el electrolito a la célula de donde lo ha bombeado (no mezclar el electrolito con el de otra célula).
- 7. Si la batería se encuentra en buen estado (verifique con los datos del proveedor) vuelva a conectarla al panel.
- 8. Verifique el nivel de electrolito.
- 9. De ser necesario, añada agua destilada con un embudo de plástico (no toque las placas con el embudo o podrá dañarlas). NUNCA llene una palangana con agua destilada si está descargada. Vuelva a llenarla primero.
- 10. Vuelva a poner cada tapón de célula, asegurándose de que no obstruye el orificio del ventilador.
- 11. Limpie los bornes con papel de lija, o con una brocha metálica si fuera necesario.
- 12. Engrase los bornes de la batería con vaselina (para evitar la corrosión) y vuelva a conectar los cables.
- 13. Mida el voltaje en los bornes de la batería con una carga estándar, después deje la batería cargándose.

6.4.4. Procedimiento de mantenimiento del regulador

1. Limpie la caja del regulador con un pañuelo limpio y seco. El polvo y los nidos de insectos pueden perjudicar el reenfriamiento del regulador.
2. Asegúrese de que la carcasa está bien fijada.
3. Retire la tapa. Esto puede resultar imposible en algunos reguladores.
4. Verifique que ningún componente, conexión o fusible emita un calor excesivo. Verifique que no se haya añadido ningún cable, Verifique y reajuste todas las conexiones.
5. Verifique que los indicadores luminosos (ej. LED o voltímetros) ofrezcan información coherente (en particular en función del voltaje de la batería).
6. Verifique que los valores de los mínimos de corte y de reconexión de las funciones son coherentes con los valores indicados en las instrucciones del fabricante.
7. Verifique que los valores mínimos de voltaje a final de carga son coherentes con los valores indicados por el fabricante.
8. Encienda algunos receptores. Después, en los bornes del regulador, compare el voltaje del panel con el de la batería durante la carga. El voltaje del panel debe ser superior que el de la batería (de 0,1 a 1 V máximo)

Un truco puede ser el tener una batería estanca de poca capacidad (ej. 7Ah-12 V) en su caja de útiles. Es suficiente con conectarla en lugar de la batería del cliente (e) y hacer los testes (mínimos que limiten la descarga y mínimos de fin de carga).

Otro truco (y este es lo ideal) es contar con una alimentación estabilizada que permita variar artificialmente el voltaje de entrada del regulador.

Es recomendable realizar el mantenimiento con tiempo soleado y más o menos dos horas después del mediodía solar (ej. 14h00). Así, es probable que la batería se encuentre terminando la carga. Entonces, mida el voltaje en los bornes de la batería. El valor obtenido debe compararse con el valor establecido en la información técnica teniendo en cuenta la compensación de temperatura.

9. En los bornes de los reguladores, compare el voltaje de la batería con el del circuito de receptores, con al menos un receptor en funcionamiento. El voltaje de la batería debe ser superior al del circuito de receptores (de 0,1 a 0,5V).
10. Verifique y reajuste las conexiones una última vez.

ATENCIÓN: Sea prudente y evite cortocircuitos. Éstos siempre pueden provocar daños importantes. Los reguladores incluyen varios componentes electrónicos delicados. Tómese su tiempo para verificar un regulador.

6.4.5. Procedimiento de mantenimiento de los receptores y cables.

Recomendación para los receptores

Cada tipo de receptor tiene necesidades específicas de mantenimiento, y no se puede detallar cada una de ellas en este manual. De todas formas, de forma general:

- Verifique si se han conectado nuevos receptores, además de los previstos inicialmente.
- Limpie y desempolve los distintos receptores (ej. Las bombillas) con el usuario. Reajuste todas las conexiones.
- Mida el consumo de los receptores si el cliente se queja de que su batería siempre está descargada. Cualquier riesgo de sobreconsumo implica una reducción en la vida útil de la batería. Con la ayuda de un multímetro, mida la corriente consumida por el aparato y el voltaje de alimentación, deduciendo la potencia ($P=U \times I$). Compare la potencia con las instrucciones por detrás del aparato.
- Mida las caídas de voltaje en los cables
- Reemplace los tubos fluorescentes ennegrecidos, solamente si el usuario lo pide. Tras reemplazarlos, estime la duración de su vida útil. Ésta debería ser normalmente de entre 3000 a 5000 horas (un tubo que se estropea después de 3 años habiendo funcionado 4 horas por día habrá funcionado en total $3 \times 365 \text{ días} \times 4 \text{ horas} = 4380 \text{ horas}$). Si el tubo se ha ennegrecido antes de tiempo, verifique el voltaje de la alimentación en los bornes de la lámpara encendida, probablemente sea demasiado bajo.
- **Para los refrigeradores solares:** mida la intensidad consumida y el tiempo de parada y de funcionamiento del compresor durante algunas horas para evaluar su consumo eléctrico diario. Mida la temperatura de consigna y, finalmente, descongele el refrigerador si fuera necesario.
- Verifique y elimine el consumo en stand-by (convertidores CC/CA, TV) instalando un enchufe con interruptor.
- Verifique todos los fusibles y asegúrese de que no han sido improvisados (reemplazados por hilos de cobre). En ese caso, retire los hilos de cobre y sustitúyalos por fusibles.
- Para los inversores, mida el voltaje CA de la señal de salida.
- Asegúrese de que todos los cables están bien fijados y mejore, si fuera necesario, sus fijaciones. No espere a que los cables se aflojen hasta servir de servilleteros, ya que provocan desorden y los niños pueden tirar de ellos.
- Asegúrese de que no hay cables desnudos visibles (o escondidos) que puedan dar pie a conexiones piratas.

6.5. Medidas y comprobación del funcionamiento

Se recomiendan las siguientes medidas y comprobaciones para garantizar el buen funcionamiento de la instalación:

- Comprobar la tensión de la batería sin carga
- Comprobar el nivel de la disolución electrolítica
- Comprobar que el regulador funciona correctamente
- Medir las tensiones en los terminales de la batería, del regulador, del generador fotovoltaica y de los consumos.

En concreto, y más detalladamente, se describen los siguientes apartados sobre manuales de operación y prueba de los distintos elementos.

6.5.1 Manual de operación y pruebas de las baterías

Se recomienda rellenar una tabla con los datos del fabricante de la batería como la siguiente tabla:

Nº	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	REQUERIDO
	Nº DE BATERÍAS		
	MARCA - INCOE		
	MODELO - N150T		
	Tipo de batería		
Nº	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	UNIDAD	REQUERIDO
1.	Medidas	Largo 508, Ancho: 222, Altura: 213 mm	
2.	Peso	26.2 Kg.	
3.	Volumen de ácido	26.2 litros	
4.	Placas por celda	29	
5.	Material de recipiente y tapas		
Nº	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	UNIDAD	REQUERIDO
1.	Voltaje	12 Vdc	
2.	Capacidad	150 Ah	
3.	Vida útil: con profundidad de descarga (DoD) mínima de 50% (antes que su capacidad residual caiga debajo de 80% de su capacidad nominal) y T° 20°C	2500 ciclos al 50% DoD	
4.	Autodescarga mensual máx. a 20°C	<5%	

Se recomienda hacer las siguientes pruebas para ver el estado de las baterías:

I. CONSIDERACIONES PREVIAS

1.- LIMPIEZA DE BATERÍAS

Desconectar los contactos en los terminales de las distintas baterías.

1. Realizar la limpieza y comprobación del estado de los bornes y cableado, limpiando los mismos con un cepillo metálico y verificando el adecuado ajuste a los bornes de la batería
2. Conectar nuevamente las baterías, realizando un adecuado ajuste de los terminales.



Fig. 1. Posible estado baterías

II. PRUEBAS DE CAMPO: INSPECCIÓN VISUAL

Parámetro LOCALIZ.	Observación Real	Efecto / Criterios	Mantenimiento propuesto
Emplazamiento de las baterías		Comprobar que se trata de un lugar ventilado y protegido contra las inclemencias del tiempo, garantizando que no es posible el contacto de las baterías con agua	
Estructura portante			
Parámetro BATERIA	Observación Real	Efecto / Criterios	Mantenimiento propuesto
Estructura de la batería		Existencia de fugas de electrolito al exterior.	Eliminar baterías con fugas y reemplazar por nuevas baterías.
Estado de bornes y cableado		Bornes limpios y cableado correcto	
Nivel de electrolito		Nivel por encima de la marca mínima y por debajo de la máxima, aproximadamente 1 cm por encima de las placas	Rellenar con agua destilada
Estado del electrolito		Comprobación de la densidad de electrolito y la ausencia de cuerpos extraños en el mismo	Se debe comprobar los valores de densidad de cada batería así como de distintas baterías, evitando que sean dispares entre si

III. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Instrumentos de medida necesarios

- Equipos necesarios:
 - Multímetro DC y AC
 - Densímetro

1.- MEDICIÓN DE VOLTAJE EN VACÍO en cada BATERÍA.

Un voltaje menor de 10,5 Vdc indica una descarga profunda de la batería, y la necesidad de reemplazarla. Es posible que, si las baterías sufrieron una descarga y han sido dejadas un largo periodo sin cargar, se haya producido una sulfatación de las mismas, y no sea posible recargarlas.

Síntomas de la sulfatación:

- Densímetro registra siempre una densidad baja del electrolito, a pesar de que el elemento se somete a la misma carga que los demás elementos
- La tensión siempre es inferior a la normal
- Es imposible cargar la batería a todas su capacidad
- Las 2 placas presentan un color claro.

En este caso, es posible tratar de revertir esta situación, mediante las siguientes acciones,

- Aplicación de movimientos de sacudida o volteo de la batería
- Realizar una carga de "topping", mediante la cual la batería de 12 vdc es llevada a 16 vdc durante 1 o 2 horas. Este proceso requiere de un regulador de carga y una atención constante para evitar el calentamiento excesivo de la misma y una pérdida de electrolito por gasificación

2.- MEDICIÓN DEL VOLTAJE EN EL PROCESO DE CARGA Y TRAS SU FINALIZACIÓN en cada BATERÍA.

- Verificar el correcto proceso de carga, así como que una vez finalizado este el valor medido es constante a 12-13,5 Vdc durante una hora

3.- FUNCIONAMIENTO.

- Funcionamiento tras su conexionado al sistema FV, verificando su correcto funcionamiento.

IV. NORMAS PARA EL MANTENIMIENTO DE BATERÍAS - ACUMULADORES

- Mantener el lugar donde se coloquen las baterías entre 15 y 25 grados. El frío ralentiza las operaciones tanto de carga como de descarga. El calor por su parte, aumenta la evaporación del agua del electrolito, y promueve la oxidación de las placas positivas.
- Siempre que sea posible, fijar bien las baterías, evitando su movimiento.
- Mantener los terminales de conexión, limpios, apretados (no en exceso) y seca la carcasa de la batería.
- Mantener el nivel del electrolito adecuado, añadiendo agua destilada en caso de necesidad, evitando tanto dejar las placas al aire como el llenado excesivo que provoque el desbordamiento del electrolito.
- Compruebe que no hay diferencias de carga entre las distintas celdas de la batería, y si fuera así, efectúe una carga de nivelación.

Una propuesta de plan de mantenimiento:

- Medición de la densidad semanalmente
- Control del nivel de electrolito, reponiendo mediante agua destilada en caso necesario
- En caso de que la batería no esté en uso, cargar y descargar bimestralmente
- Verificación trimestral de la tensión
- Limpieza de bornes y batería tras cada inspección

OJO CON LA DESCARGA PROFUNDA (LA BATERÍA SE ECHA A PERDER!!!!) esto tiene que ver 100 % con la tensión de desconexión que se programa desde el regulador!

6.5.2. Manual de operación y pruebas del inversor

Se recomienda rellenar una tabla con los datos del fabricante del inversor como la siguiente tabla:

Nº	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	REQUERIDO
	MARCA		
	MODELO		
	Potencia nominal	W	
Nº	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	UNIDAD	REQUERIDO
1.	Medidas		
Nº	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS		
1.	Potencia Nominal	(W)	
2.	Potencia de Sobrecarga (5 minutos)	(W)	
3.	Tensión Nominal de Entrada	(V)	
4.	Variaciones de la Tensión de Entrada	(V)	
5.	Tensión Nominal de Salida	(V)	
6.	Variaciones de la Tensión de Salida	(V)	
7.	Rendimiento	%	
8.	Frecuencia Nominal de Salida	Hz	
9.	Rango de Frecuencia de Salida	Hz	
10.	Forma de la Onda		
11.	Consumo Máximo / Mínimo		
12.	Consumo en Espera		
13.	Factor de potencia $\cos \phi$		
14.	Grado de protección IP		
15.	Rango de temperatura de funcionamiento	(°C)	
16.	rango de humedad relativa de funcionamiento	(%)	

V. PRUEBAS DE CAMPO: INSPECCIÓN VISUAL

Parámetro LOCALIZ.	Observación Real	Efecto / Criterios	Mantenimiento propuesto
Emplazamiento del inversor		Comprobar que se trata de un lugar ventilado y protegido contra las inclemencias del tiempo, garantizando que no es posible el contacto del inversor con agua	Proteger contra el agua
Estructura		Esta bien fijado a la pared o estructura fijante	

VI. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Instrumentos de medida necesarios

- Equipos necesarios:
 - o Multímetro DC y AC
 - o Pinza amperimétrica

En lo relativo al test del inversor, para verificar su correcto funcionamiento se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Comprobación del cableado y limpieza de los bornes
- Comprobación de la alimentación a 12 V
- Comprobación de la salida a 220 Vac
- Medición eléctrica del autoconsumo, verificando que se encuentra en los límites definidos por el fabricante

Para poder comprobar lo anterior, lo mejor es disponer de un polímetro digital y medir la corriente y la tensión a la entrada y a la salida.

Para ello, el procedimiento sería:

1. Con las pinzas del polímetro (modo voltímetro) medir en las bornas y en el cable de tierra por el lado de continua
2. Desconectar el inversor
3. Insertar el polímetro (modo amperímetro) entre el conductor y el inversor, de manera que circule por él la corriente
4. Repetir el procedimiento por el lado de alterna
5. Los valores que mida en el lado de alterna serán distintos, ya que el polímetro mide valor eficaz de la onda senoidal

Con estos valores seremos capaces de conocer las pérdidas, elemento más importante a tener en cuenta.

6.5.3. Manual de operación y pruebas de los paneles FV

Se recomienda rellenar una tabla con los datos del fabricante de los paneles fotovoltaicos como la siguiente tabla:

Nº	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	REQUERIDO
	MARCA		
	MODELO		
	DIMENSIONES	mXm	
1.	Tipo de material de la celda	Monocrystalino/ Policristalino	
2.	Número mínimo de celdas	Celdas	
3.	Diodos de "by pass" (2?) (en caja conexión)	Unidades	
4.	Tensión nominal	V_{cc}	
5.	Potencia pico (Wp) (condiciones estándar: Irradiación = 1000 W/m ² Temperatura de Celda = 25°C Masa de Aire = 1,5)	Wp	
6.	Tolerancia del panel Máx: 3%	%	
7.	Temperatura normal de operación de la celda (NOCT), en condiciones; Irradiación=800 W Temperatura ambiente = 20°C Velocidad del viento = 1 m/s)	°C	
8.	Rango de temperaturas admisibles	°C	de - 10 a +60 °C
9.	Tensión máxima en condiciones estándar de medida	V_{cc} (Vcc)	
10.	Corriente máxima en condiciones estándar de medida	Im (A)	
11.	tensión de circuito abierto en condiciones estándar de medida	Vm (V_{cc})	
12.	Corriente de cortocircuito en condiciones estándar de medida	Isc, (A)	
13.	Normas de fabricación		IEC-61215
14.	Tiempo de vida mínimo garantizado	Años	20
15.	Fracción de potencia inicial, mínima, luego de 20 años de operación	%	80

Caja de conexión

Nº	CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	REQUERIDO
1.	Diodos de "by pass" (2?)	Unidades	
2.	Firmemente unida al módulo	VCC	
3.	Buena conexión (Las entradas/salidas de cables deben estar provistos con prensaestopas para lograr una efectiva hermeticidad)		
4.	Índice de protección (Mínimo IP 54)		

VII. INSTRUMENTOS DE MEDIDA NECESARIOS

1. Multímetro DC y AC
2. Pinza amperimétrica DC y AC
3. Termómetro
4. Célula Solar calibrada o piranómetro
5. Brújula (para medir la orientación Norte / Sur)

VIII. CONSIDERACIONES PREVIAS

1.- LIMPIEZA DE LOS PANELES

1. Bajar el panel fotovoltaico y ponerlo sobre una superficie plana adecuada.
3. Desconectar los contactos en la bornera del panel fotovoltaico.
4. Realizar la limpieza del vidrio protector con un paño húmedo, evitando dañar el vidrio o ejercer excesiva presión sobre la superficie del mismo, así como verificar que el sellado se mantenga sin picaduras o que tengan filtrados de agua u otros. Limpiar **SOLO** con agua evitando los detergentes abrasivos
5. Con un cepillo metálico limpiar los contactos y bornes, eliminando suciedad y restos de óxidos.
6. De igual manera con el cepillo metálico limpiar los contactos del conductor que va al regulador de carga.
7. Conectar nuevamente los contactos (verificando siempre la polaridad) y realizar un adecuado ajuste de los tornillos de contacto.

2.- CONSIDERACIONES PARA EL TRABAJO EN TENSIÓN

TAPAR EL MÓDULO PARA EVITAR LA GENERACIÓN DE CORRIENTE ELÉCTRICA. UTILIZAR HERRAMIENTAS DEBIDAMENTE REVESTIDAS CON MATERIAL AISLANTE DURANTE EL TRABAJO CON EL MÓDULO. USAR GUANTES AISLANTES PARA EL TRABAJO CON TENSIÓN.

1. No tocar las bornas mientras el módulo esté expuesto a la luz.

2. En el momento de su conexión se respetarán las impolaridades eléctricas de todos los elementos, conectándolos en el siguiente orden: batería, módulos y consumo.
3. Si se usan baterías con los módulos, seguir todas las recomendaciones que en materia de seguridad indica el fabricante de baterías.
4. La sección de conductores empleados debe asegurar que la caída de tensión en la instalación no sobrepase el 2 % de la tensión nominal de la misma.

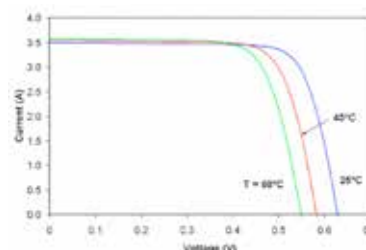
IX. PRUEBAS DE CAMPO: INSPECCIÓN VISUAL

INSPECCIÓN FÍSICA	Observación Real	Efecto / Criterios	Mantenimiento propuesto
Inclinación (medir lados y proyección horizontal)		Entre 0 y 10°C de inclinación	
Orientación módulo (brújula)		La cara frontal del módulo debe mirar al Norte (hemisferio Sur)	
Fijaciones a la estructura		Panel bien fijado a la estructura sin perforarse el módulo	
Ensuciamientos o sombras parciales		- Sombra puntual en células del módulo mientras el resto recibe una radiación elevada (diodos) - Excrementos de pájaros que cubren una superficie del panel	- Eliminar sombras. A lo largo del día/año, se producen <> sombras - Limpieza SOLO con agua, 1/ semana por la mañana
INSPECCIÓN MÓDULO	Observación Real	Efecto / Criterios	Mantenimiento propuesto
Rotura del vidrio de los módulos (vidrio frontal, células rotas)		El astillado reduce el rendimiento en un 30% pero el módulo puede continuar en uso, aunque conviene cambiarlo lo antes posible. Si hay rotura que suponga la separación de más del 10% rechazo	No dejar caer el módulo ni arrojar objetos sobre él. No subirse ni caminar sobre él
Células desalineadas		Si permite un contacto físico entre células, rechazo (reemplazar)	
Impurezas en el laminado, o burbujas en encapsulado		Impurezas con cobertura >1% de célula, burbujas que contactan células y marco, rechazo (reemplazar)	
Marco de aluminio		Firmemente unido al módulo sin huecos donde penetre el agua	
Oxidación de celda por agua en módulo (TEDLAR DAÑADO)		Oxidación del circuito interior de las células y soldaduras de conexión Sustitución del módulo	Proteger el TEDLAR posterior de agresiones externas
Oxidación de tornillos, arandelas		No oxidadas (material inoxidable)	
CAJA DE CONEXIÓN	Observación Real	Efecto / Criterios	Mantenimiento propuesto
TAPAR EL MÓDULO (PORQUE SI NO PODRIA PASAR CORRIENTE)			
fallos de conexión en la caja de conexión (rota, suelta o desprendida,...)		Comprobar apriete y estado de los terminales	Revisar cada 6 meses el apriete y el estado de los terminales de los cables de conexionado de módulos
Fallos estanqueidad en caja de conexión		Podría incluso no ser estanco	Juntas nuevas o un sellado de silicona. Aplicación vaselina/grasa para la sulfatación
Conductores		En buen estado	
Conectores		En buen estado	

X. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

LA curva I- V es la característica de funcionamiento más importante de un sistema FV:

- **Corriente de cortocircuito (Isc):** → con $V=0$.
- **Tensión de circuito abierto (Voc):** → con $I=0$
- **Punto de máxima potencia (P_M):** → $V_{max} * I_{max}$



1.- CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ISC): Medir en los bornes del módulo (caja de conexión)

¿CUÁNDO?	Parámetro a medir	Equipo de medida	Localización
Medir a +/- 2 horas del mediodía	Intensidad cortocircuito CC (A)	Multímetro DC y pinza amperimétrica DC	Intensidad salida de CADA SERIE DE MÓDULOS
	Radiación Solar / día soleado / nublado	Piranómetro	Mirando al Sol

Notas: Las medidas pueden variar de manera significativa según el tiempo, hora del día y posible sombra en los módulos. Medir a +/- 2 horas del mediodía

2.- TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO (VOC): Medir en los bornes del módulo (caja de conexión)

	Parámetro a medir	Equipo de medida	Localización
	Tensión de circuito abierto CC (Vdc)	Multímetro DC	Tensión salida DE CADA MÓDULO (sin carga!!)
	Tensión de circuito abierto CC (Vdc)	Multímetro DC	Tensión salida DE CADA SERIE DE MÓDULOS (sin carga!!)
	Temperatura (°C)	Termómetro	Medio ambiente

Notas: El valor de la tensión del circuito abierto de la serie corresponde a la suma de las tensiones individuales de circuito abierto de los módulos conectados en serie. Si el valor medido es mucho más bajo que lo esperado, significa que la serie tiene algún problema.

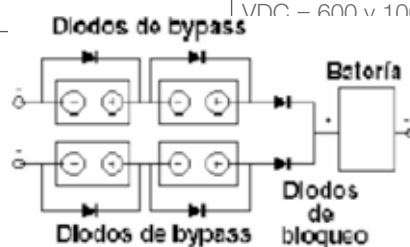
3.- FUNCIONAMIENTO: $P_{cc} = I_{cc} * V_{cc}$

- Estado del panel:** Para asegurar el correcto funcionamiento del módulo FV, bajarlo con cuidado y con el multímetro conectarlo en las bornes de salida del panel, cubrirlo con un paño oscuro e ir descubriéndolo paulatinamente, el voltaje en el multímetro debe comenzar a incrementarse y luego estabilizarse
- Funcionamiento en carga:** El propio inversor actúa de carga del campo FV (encendido)
 - Tomar medidas cada dos horas durante un día
 - Funcionamiento a baja irradiancia. Tomar nota sobre si el día está despejado o no.

¿CUANDO?	Parámetro a medir	Equipo de medida	Localización
Tomar medidas cada dos horas durante un día	Intensidad de CC (A)		
	Tensión de CC (Vdc)		
	Temperatura (°C)	Termómetro	Tensión entrada al inversor
	¿Día soleado?		

XI. PROTECCIONES

Protección	¿Dispone?	Protección frente a	Observación campo:
Diodos de by pass (2?)		Protege a las células	
Diodos bloqueo (circuito ppal de salida módulo)		Contra sobre intensidades	
Fusible (en circuito ppla de salida módulo)		Contra sobre intensidades	
Toma de puesta a tierra		Contra sobre tensiones	
Cables		Rango T _v -40°C a 90°C VDC = 600 v 1000 Vdc	



XII. POSIBLES AVERÍAS; DETECCIÓN Y RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

• MUY BAJA TENSIÓN

Muy bajas tensiones se suelen asociar a malas conexiones en los terminales o defectos en los diodos bypass. Procedimiento:

1. Comprobar todas las conexiones en los puntos del circuito abierto;
2. Cubrir todos los módulos de la serie antes de actuar y desconectar los dos conectores de cada módulo.
3. Quitar la cubierta de los módulos y comprobar para cada módulo la tensión en el circuito abierto (Voc).
4. Si la tensión está por debajo del 50 % del valor esperado, existe un problema en los diodos bypass. En este caso, le rogamos contacte con el soporte post-venta.
5. Si el nivel de radiación es bueno y si la tensión en el terminal varía en más del 5 % de los valores esperados, compruebe que no haya problemas de conexión eléctrica.

• AISLAMIENTO ELÉCTRICO

6.5.4. Manual de operación y pruebas del regulador de carga

En lo relativo al test del regulador de carga, para verificar su correcto funcionamiento se recomienda seguir los siguientes pasos:



Fig. 5. Regulador de carga

- a. Desconectar las líneas de conducción del panel fotovoltaico al regulador de carga.
 - b. En el caso de tener suciedad en los contactos o restos de óxidos, desconectar todos los conductores y limpiarlos con un cepillo metálico, tanto los bornes de conexión como los terminales de los conductores. Reconectar y realizar el ajuste adecuado en los bornes (tener cuidado con la polaridad).
 - c. Verificar y ajustar los tornillos de los bornes
 - d. Conectar nuevamente los conductores de alimentación del panel fotovoltaico.
 - e. Si existiesen fusibles, verificar también el estado de los contactos, y si es necesario cambiarlos.
 - f. Desconectar los conductores de salida del regulador de carga y verificar las tensiones en los bornes de los mismos, luego instalar las salidas una por una verificando el correcto funcionamiento de los equipos instalados.
- Se dispone del manual del equipo, que servirá como guía de orientación en caso de duda.

6.5.5. Manual de operación y pruebas de otros componentes

Para el resto de componentes de la instalación, principalmente el cableado, se deberían revisar los siguientes puntos:

- Inspección Visual
- Limpieza: polvo, agua
- Comprobar de conexiones y de todos los cables, verificando continuidad en todos los conductores para eliminar la posibilidad de conexiones defectuosas.

6.6. Ejemplos prácticos

6.7. Referencias

- [1] Ingeniería Sin Fronteras, "Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo", IEPALA, 1999, Madrid.

7. Aplicaciones

7.1. La habitación solar fotovoltaica de 220 V alimentada con energía solar fotovoltaica.

El siguiente gráfico muestra el esquema unifilar de una habitación solar.

En este circuito unifilar vemos que hay dos partes claramente diferenciadas: una parte en CC formada por el generador fotovoltaico, el sistema de acumulación y el regulador electrónico de carga, y otra parte en CA que comprende un inversor de corriente CC/CA y los circuitos convencionales de una instalación eléctrica normal. Las cargas C son las siguientes:

- C1= Iluminación
- C2= Enchufe (3)
- C3= Enchufe (cocina 1)
- C4= Enchufe (lavabo)
- C5= Enchufe (baño)

La siguiente tabla muestra la estimación de la energía consumida en total. Para los receptores en CA, hay que coger un 90 % para el rendimiento.

Carga	Ctd	CC o AC	Potencia W	Rendimiento	Utilización h/día	Energía total Wh/día
Cocina	1	AC	18	90 %	4	80
Comedor	1	AC	22	90 %	5	123
Dormitorio 1	1	AC	11	90 %	2	25
Dormitorio 2	1	AC	11	90 %	1	13
Baño	1	AC	11	90 %	3	37
Pasillo	1	AC	11	90 %	1	13
Vestidor	1	AC	11	90 %	1	13
TV color	1	AC	70	90 %	3	234
Nevera	1	AC	60	90 %	6	400
Lavadora	1	AC	300	90 %	½	167
Pequeño electrodoméstico		AC	200	90 %	½	112
		Total	725W			Total = 1217Wh/día

Dispondremos de una energía de 1217wh /día.

La siguiente tabla muestra las especificaciones del sistema.

	Datos para los cálculos del sistema	
	Valor	Variable
Voltaje del sistema	24Vcc	Us
Voltaje nominal del módulo	12 Vcc	Um
Corriente media del módulo	4 A	Im
Consumo total de la instalación	1217 Wh	E
Pérdida del sistema	15 %	e 1
% profundidad de descarga de la batería	70 %	GDD
Días de autonomía de la batería	3	A
Radiación de referencia	4,02 hsp	G
% energía fotovoltaica	100 %	E %
% margen adicional de los módulos	0 %	m 1
% margen adicional de las baterías	0 %	m 2

GDD: Grado Diario de Descarga: por lo general retendremos entre el 50 % y el 70 % para las baterías solares y 30 % para las baterías de automóviles.

1. Cálculo del número de módulos fotovoltaicos

$$\text{Número de módulos} = \frac{E \% \times E \times (1+e1+m1) \times (1+m2)}{G \times Im \times U m}$$

$$= 1 \times 1217 \times 1.15 \times 1 / 4.02 \times 4 \times 12 = 7.25 \text{ módulos}$$

Necesitamos **8 módulos fotovoltaicos de 70Wc**

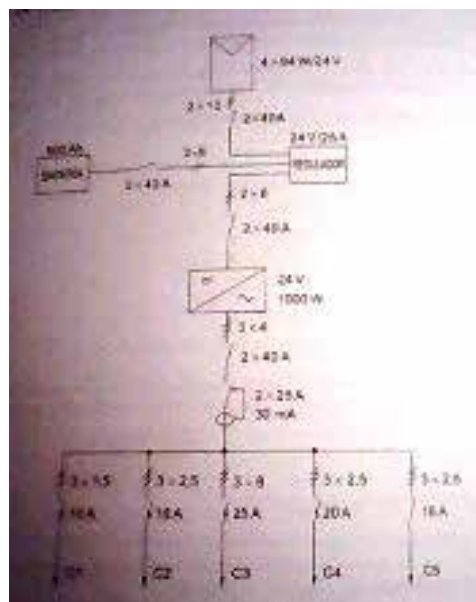
2. Cálculo de la capacidad de la batería

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{E \times (1+m2) \times A}{DDQ \times Us}$$

$$= \frac{1217 \times 1 \times 3}{0.7 \times 24}$$

$$= 217.321 \text{ Ah}$$

Utilizaremos una batería con una capacidad de 250 Ah. Utilizamos 12 grupos de 2 cada uno, agrupados en serie formando dos líneas de baterías 12 V conectadas entre sí en serie para obtener un voltaje de 24 V y 250 Ah de capacidad.



3. Cálculo del regulador

Corriente de entrada = número de módulos en paralelo x corriente de cortocircuito del módulo (Isc)

$$= 8 \times 4,5A$$

$$= 36A$$

El regulador debe soportar una corriente de 36A en funcionamiento. Utilizaremos un regulador de carga de 40A.

	Sección mm ²	Caída de voltaje	Tipo de cable
Línea del panel	15	2.57 %	X2PE
Línea de la batería	6	2.68 %	XLPE
Línea de cargas	24 en CC y 2,5 más en CA	2.63 %	XLPE

4. Elección del inversor

Conocer la potencia máxima de los módulos solares fotovoltaicos y la potencia total de los aparatos instalados:

Si tenemos una potencia de 725W instalada, necesitaremos un inversor de 1500W en circunstancias normales.

Inversor: 1524 VA

Las siguientes fotos muestran la instalación terminada.



7.2. El alumbrado público

La energía solar fotovoltaica para uso en alumbrado público puede ser de forma individual, o bien de forma colectiva, mediante una única central de producción que suministre energía eléctrica a varias farolas. La energía producida durante el día se almacena en baterías, para ser utilizadas de noche [7].

Las ventajas del uso de energía solar fotovoltaica para el uso de alumbrado público son las siguientes [8]:

- Las farolas se encienden y se apagan de manera automática en cuanto detectan que la intensidad de la luz del sol se hace menor y pueden programarse para apagarse a una hora determinada o pasada una cantidad de horas.
- Los paneles tienen una vida útil de unos veinticinco años aproximadamente y las baterías unos ocho o diez años.
- Para su instalación no se requiere ningún tipo de obra civil o construcción (no requieren de instalación de cableado subterránea o conexión con postes que transmiten energía).

Según [7], el alumbrado público es la instalación que representa mayor incidencia en el consumo energético de un municipio, alcanzando el 52 % sobre el total de los consumos energéticos de las instalaciones municipales y el 59 % del consumo eléctrico de titularidad municipal. La importancia de las instalaciones de alumbrado público es tal que en algunos municipios supone hasta el 80 % de la energía eléctrica consumida y hasta el 60 % de la factura energética de un ayuntamiento [7].

A continuación se muestra una imagen de una farola que usa de energía solar fotovoltaica [9].



Fig. 11: Farola que usa de energía solar fotovoltaica [9]

[7] <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/administracion/uso-en-instalaciones-de-alumbrado-y-senalizacion>

[8] <http://www.ventadepanelessolares.com/tipos/paneles-solares-alumbrado-publico.html>

[9] <http://www.energifotovoltaica.ws/celdas/celdas-fotovoltaicas-para-alumbrado.html>

El dimensionamiento de un alumbramiento público se hará igual que en el caso de la habitación solar. Dados o estimados la irradiación solar y el consumo requerido por el alumbramiento público, se estima la cantidad de paneles necesaria y el tamaño de la batería para un funcionamiento autónomo.

7.3. El campo solar

Los huertos solares son agrupaciones de módulos solares que se asocian para compartir gastos comunes haciendo que la rentabilidad sea superior al compartir gastos como la seguridad perimetral, el mantenimiento, los inversores de energía, etc. [10]

Los elementos comunes en un huerto solar son los paneles solares, que pueden ser fijos o con rotores giratorios que siguen el movimiento de sol [10].

[10] <http://www.portalsolar.com/huertos-solares.html>

El tamaño del huerto solar depende del consumo que se intenta abastecer y de la irradiación solar. Dados los dos últimos, el tamaño del huerto solar, es decir, la cantidad de paneles, se pueden determinar como en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

7.4 El sistema de bombeo solar

Una de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica más importantes es el sistema de bombeo. En un sistema de bombeo fotovoltaico, la energía eléctrica proporcionada se transforma mediante un generador (módulo solar fotovoltaico) en energía hidráulica (un volumen de agua se eleva a una gran altura).

Las principales aplicaciones del bombeo fotovoltaico son el riego y el abastecimiento de agua en zonas rurales.

7.4.1 Descripción y conexión de los elementos que forman el sistema de bombeo del agua.

Los componentes que forman el sistema de bombeo son:

- **Los generadores fotovoltaicos**
- **El conjunto motor-bomba**
- **El convertidor de acoplamiento entre el generador fotovoltaico y el motor-bomba.**
- **La acumulación y la distribución del agua.**

7.4.2 Cálculo de un sistema de bombeo fotovoltaico

Los factores principales que determinan la configuración de un sistema de bombeo son:

- **Las situaciones hidráulicas**
 - o la profundidad del nivel de agua hasta la superficie
 - o la altura del pozo hasta el punto de utilización o de almacenamiento (altura estática)
 - o las pérdidas de presión dentro de los tubos y accesorios (altura dinámica)
- **La radiación solar y las condiciones climatológicas**
 - o la energía que proporcionen los paneles fotovoltaicos a lo largo del día dependerá de estos factores determinantes.

Una vez analizados todos los factores, nos disponemos a elegir la mejor configuración para nuestro sistema de bombeo fotovoltaico.

7.4.2.1 Cálculo de la altura total del sistema de bombeo

Para realizar el cálculo de esta altura total H de agua que es necesario bombear, debemos conocer la altura estática y la altura dinámica.

La altura estática es la distancia desde el nivel mínimo del agua del pozo hasta el punto máximo de elevación a la que el agua se bombeará (H_g).

La altura dinámica es el valor de la caída de presión (pérdida de carga) cuando un líquido circula por el interior de un tubo (H_d). Esta pérdida de carga depende de la longitud de los tubos, de su diámetro interior y del coeficiente de su rigidez, que depende de las características de la circulación del agua.

$$H = H_g + H_d$$

Ejemplo: pongamos un pozo de 5,4m y consideremos que se produce una pérdida de carga de 10 % (0,54m), por lo que tendremos una altura total de:

$$H = H_g + H_d = 5.4 + 0.54 \cong 5.94 \text{ m} \quad H = H_g + H_d = 5.4 + 0.54 \cong 5.94 \text{ m}$$

7.4.2.2 Cálculo de los generadores fotovoltaicos

El motor debe ser capaz de soportar la potencia máxima de los generadores fotovoltaicos y su potencia eléctrica de partida debe ser al menos la de esta última. El número de módulos fotovoltaicos conectados en serie y en paralelo debe adaptar las limitaciones de corriente y de voltaje al motor; hacer el esfuerzo de ajustar bien los dos elementos puede optimizar las relaciones de la potencia máxima.

Respetar la inclinación de los paneles para tener una buena radiación solar.

NB: conocer las características eléctricas tanto del módulo como del motor que se van a utilizar.

$$\text{Número del módulo FV en serie} = \frac{U_{\text{nominal del motor}}}{U_{\text{nominal de un módulo FV}}}$$

$$\text{Número del módulo FV en serie} = \frac{U_{\text{nominal del motor}}}{U_{\text{nominal de un módulo FV}}}$$

$$\text{Número del módulo FV en paralelo} = \frac{\text{Potencia máxima del motor}}{\text{Número del módulo FV en serie} \times \text{Potencia máxima de un módulo FV}}$$

7.4.2.3 Cálculo del motor-bomba

Comenzar por calcular la energía E (en julios) necesaria para transmitir un volumen de agua V a una altura H dada:

$$E = \delta \cdot g \cdot H \cdot V$$

δ = densidad en Kg/dm³ (en el caso del agua, es aproximadamente igual a una unidad)

g = aceleración de la gravedad (9,8m/s²)

H = altura a la que queremos bombear el agua

V = volumen de agua que se va a bombear en litros

Habrá que saber el número de horas (el tiempo t) de bombeo de agua deseado y el número de

volumen V de agua; después de su cálculo obtenemos la potencia del motor-bomba en vatios. Esta potencia se divide entre el rendimiento del motor-bomba y obtenemos la potencia total del motor.

$$Potencia = \frac{E}{t} \quad Potencia = \frac{E}{t}$$

$$Potencia\ total = \frac{Potencia}{\eta}$$

7.4.2.4 Cálculo de la sección de los conductores

- Generadores fotovoltaicos al inversor

Conocer el voltaje máximo y la intensidad máxima que van a generar los módulos fotovoltaicos. Supongamos una caída de voltaje máxima de un 3 % sobre una longitud dada.

$$S = 2 \cdot L \cdot I / \gamma e \quad S = 2 \cdot L \cdot I / \gamma e$$

$\gamma = 56$

$e = 3\%$ del voltaje máximo de los módulos

- Inversor al motor

Habrá que conocer el voltaje de utilización de la bomba y la intensidad que consume considerando una caída de tensión máxima de un 3 %.

$$S = 2 \cdot L \cdot I / \gamma e$$

8. Revisión de las normas

8.1. Introducción

El objetivo de esta sección es de dar una visión global sobre las normativas existentes en diferentes países. Las normas presentan las especificaciones técnicas así como las medidas de seguridad. Existen tanto normas locales como normas globales.

8.2. Locales

La tabla siguiente muestra una lista de normas nacionales [10].

Pais	Institución	Título	Año
Bolivia	PROPER	Especificaciones técnicas	1996
Brasil	Centro de Pesquisas de Energia Eléctrica	Manual de Engenharia, Sistemas fotovoltaicos	1995
Francia	Electricité de France	Directives générales pour l'utilisation des énergies renouvelables dans l'électrification rurale décentralisée	1997
Alemania	GTZ	Basic Electrification for Rural Households	1995
Alemania	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme	Anforderungskatalog für Laderegler der Leistungsklasse von 50 W bis 200 W bei 12V/24V Nennspannung	1996
India	Indian Renewable Energy Development Agency	Model of Technical Specification for Solar Home Lighting Systems	1997
Indonesia	BPP Technology	Specifications for Solar Home Systems	1996
Kenia	Energy Alternatives AFRICA	Draft Components and Installation Standards	1997
México	Instituto de Investigaciones Eléctricas	Especificación técnica para sistemas fotovoltaicos de iluminación doméstica	1992
Sahel	CILSS	Programme Regional d'Utilisation de l'Energie Solaire Photovoltaïque dans les pays du Sahel, CR-VI FED, Appel d'Offres Restreint	1989
Sud Africa	ESKOM Non-Grid Electrification	Standard Technical Specification for the supply of PV Systems Equipment for Solar Homes	1997
España	Instituto de Energia Solar	Elaboration of a label "Adapted PV Equipment for Developing Countries", Power for the World - A Common Concept, EC-JOU-CT93 - 0421	1994
España	CIEMAT	Estándares de calidad para los "Solar Home Systems (SHS)" en Sudáfrica	1997
Sri Lanka	Solar Power & Light Co, Ltd.	Specifications for Solar Home Systems	1997
Túnez	Agence pour la maitrise de l'Energie	Cahier de charges: Acquisition et installation de 2000 petits systemes photovoltaïques	1995
USA	Asia Alternative Energy Unit (ASTAE)	Best Practices for Photovoltaic Household Electrification Programs	1996
USA	Sandia National Lab	Stand-Alone Photovoltaic Systems - A Handbook of Recommended Design Practices	1991
Zaire	Fonds National Médico-Social	Cahier des Charges pour Fourniture, Installation et Maintenance des Equipements	1991

A continuación se listan las normas en vigor de España y Benín.

8.2.1. España

- Normativa de carácter general:

- Ley 82/1980, de 30 de diciembre, sobre Conservación de la Energía.
- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, que regula las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, que deroga al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión aprobado por Decreto 2413/1973, de 20 de septiembre.
- Ley 11/1997, de 2 de diciembre, de Regulación del Sector Eléctrico Canario.
- Decreto 26/1996, de 9 de febrero, por el que se simplifican los procedimientos administrativos aplicables a las instalaciones eléctricas.
- Decreto 196/2000, de 16 de octubre, por el que se modifica el Decreto 26/1996, de 9 de febrero, por el que se simplifican los procedimientos administrativos aplicables a las instalaciones eléctricas.
- Decreto 216/1998, de 20 de noviembre, por el que se regula la organización y el

- funcionamiento del Registro de Instalaciones de Producción Eléctrica.
 - Real Decreto 3490/00, de 29 de diciembre de 2000 por el que se establece la tarifa eléctrica para el 2001.
 - Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen jurídico de las Administraciones públicas y del procedimiento administrativo común.
 - Ley 4/1999, de 13 de enero, que modifica a la Ley 30/1992, de 26 de noviembre.
- **Normativa de carácter específico:**
- Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración.
 - Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
 - Orden de 27 de mayo de 2002, por la que se modifican las bases reguladoras para el período 2000 a 2006 aprobadas por la Orden de 23 de mayo de 2000, para la concesión de subvenciones a proyectos de ahorro, diversificación energética y utilización de energías renovables y se efectúa la convocatoria para el año 2002.
 - UNE-EN 61173:98 “Protección contra las sobretensiones de los sistemas fotovoltaicos productores de energía. Guía.” UNE-EN 61727:96 “Sistemas fotovoltaicos. Características de la interfaz de conexión a la red eléctrica”.
 - PNE-EN 50330-1 “Convertidores fotovoltaicos de semiconductores. Parte 1: Interfaz de protección interactivo libre de fallo de compañías eléctricas para convertidores conmutados FV-red. Cualificación de diseño y aprobación de tipo”.
 - PNE-EN 50331-1 “Sistemas fotovoltaicos en edificios. Parte 1: Requisitos de seguridad”.
 - PNE-EN 61227. “Sistemas fotovoltaicos terrestres generadores de potencia. Generalidades y guía”.

8.2.2. Benín

Se aplica la normativa de la CEI.

8.3. Globales

La tabla siguiente muestra una lista de normas globales correspondientes a la industria fotovoltaica [11].

Norme	Description
IEC 61173 Ed1.0	Protection des surtensions pour les systèmes photovoltaïques : guide
IEC 61194 Ed1.0	Paramètres caractéristiques des systèmes photovoltaïques autonomes
IEC 61277 Ed 1.0	Systèmes photovoltaïques terrestres : définitions et guide
IEC 61683	Systèmes photovoltaïques –conditionneurs de puissance : méthode de mesure du rendement
IEC 61724 Ed 1.0	Suivi des performances des systèmes photovoltaïques –guide pour la mesure l’acquisition et l’échange des données
IEC 61725 Ed 1.0	Expression analytique des profils solaires journaliers
IEC 61727 Ed 1.0	Systèmes photovoltaïques –caractéristique de l’interface avec le réseau
IEC 61829 Ed 1.0	Systèmes photovoltaïques en silicium cristallin -mesure sur site des courbes IV
IEC61836 1 &2	Systèmes à énergie solaire photovoltaïque Termes et symboles parties 1&2
IEC/ PAS 62111 Ed 1.0	Spécifications techniques pour l’emploi des énergies renouvelables pour l’électrification rurale décentralisée
IEC 61427	Batteries et cellules secondaires pour systèmes à énergie solaire photovoltaïque – recommandations générales et méthodes de test
IEC 61723	Guide de sécurité pour les systèmes photovoltaïques raccordés au réseau montés sur les bâtiments
IEC 62078	Programme de certification et d’accréditation pour les composants et les systèmes photovoltaïques : guide pour une qualité totale
IEC 62109	Sécurité électrique des onduleurs statiques et des chargeurs de batteries à usage photovoltaïque
IEC 61124	Systèmes photovoltaïque autonomes : qualification de la conception et homologation
IEC61721 Ed. 1.0	Résistance d’un module photovoltaïque à une détérioration par impact accidentel
IEC 61701 Ed 1.0	Test de corrosion en brouillard sain des modules photovoltaïques
IEC 61646	Modules photovoltaïques à couches minces pour usage terrestre : qualification de la conception et homologation
IEC 61345	Test UV pour modules photovoltaïques
IEC 61215	modules photovoltaïque en silicium cristallin : qualification de la conception et homologation
IEC 60904	Dispositif photovoltaïque partie 10: mesure de la non linéarité
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïques partie 9. : exigences de performances des simulateurs
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 8 : mesure de la réponse spectrale d’un dispositif photovoltaïque
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 7 : calcul de l’erreur de mismatch introduite dans le test des dispositifs photovoltaïques
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 6 : exigence pour les modules de référence premier amendement
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 4 : détermination de la température équivalente pour la
	mesure de la tension de circuit ouvert
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 3 : principe de la mesure des dispositifs photovoltaïques par référence aux données de l’enseillement spectral
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 2 : exigences pour les cellules solaires de référence premier amendement
IEC 60904	Dispositifs photovoltaïque partie 2 : mesure des courbes courant tension caractéristiques des dispositifs photovoltaïques
IEC 60891	Procédures de correction de température et d’enseillement des courbes IV- caractéristiques des dispositifs photovoltaïques amendement 1

8.3.1. Sistemas Fotovoltaicos Domésticos: IES 1998 [10]

La “Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos” es el resultado de un trabajo orientado a cubrir tal vacío. Su presentación pretende que pueda servir de base a una Norma técnica de carácter universal para sistemas fotovoltaicos domésticos.

Una revisión preliminar de normas técnicas, o similares, existentes en el panorama internacional reveló un gran número de inconsistencias entre ellas. En particular, son notables las diferencias en los enfoques para el dimensionamiento de los sistemas y para especificar tipos de módulos fotovoltaicos, tipos de baterías, tensiones de trabajo de los reguladores, información operativa para los usuarios, caídas de tensión, medidas de seguridad y requisitos para balastos, cables y conectores.

8.4. Ejercicio búsqueda y aplicación

Busque el documento “*Guide de rédaction du cahier des charges techniques des générateurs photovoltaïques connectés au réseau*”.

Fuente: http://mctparis.com/fr/images_db/Guide_Ademe_PVC.pdf

Busque en ese documento y discuta el funcionamiento autónomo de un generador fotovoltaico.

Fuente: Ayuda: Sección 3.1.2

8.5. Referencias

[10] “Universal Technical Standard for Solar Home Systems” Thermie B SUP 995-96, EC-DGXVII, 1998.

[11] “Promotion de l’Electrification Rurale et de l’Approvisionnement Durable en Combustibles Domestiques”, Direction de l’Energie du Senegal, GTZ.

9. Laboratorio

9.1. Lista de los materiales principales para el laboratorio

9.1.1 Mediciones

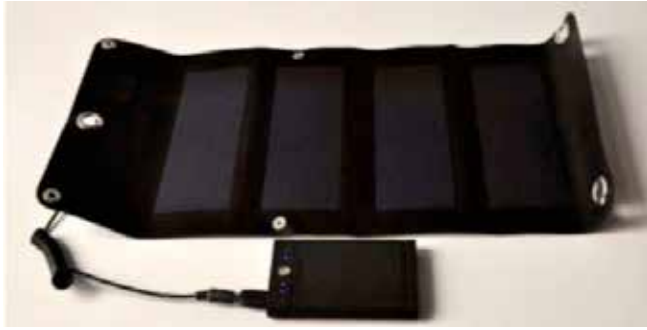
- Multímetros (voltaje, intensidad)
- Potenciómetros
- Termómetro (temperatura)
- Piranómetro (medida de la radiación solar)

9.1.2 Cargas

Lámparas (la potencia depende del panel FV)

9.1.3 FV

Cargador fotovoltaico portátil (<http://www.x-greenpower.com/flexible/Coretella.html>)



Placa fotovoltaica de 75 W y 12 V de Yingli; $I_{sc} = 4,7A$, $V_{oc} = 22V$
(122 €, twenga.es)



Célula de 1 W y 0,5 V

9.1.4 Reguladores

Regulador de Carga Steca Solsum 6.6F 6A 12/24v (25€, teknoSolar.com)

9.1.5 Inversor

CoEnergy MIC 700/12 de 12 V y 230 Vac



9.1.6 Batería

Master Battery 12 V, 12 A (24 €, http://www.reguerobaterias.es/p982_bateria-de-plomo-12-voltios-12-amperios-151x98x95mm-.html)



9.1.7 Protecciones

Fusibles

Interruptores

9.2 Lista detallada

Más abajo se encuentra la lista de los materiales del curso “ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE: THEORIE ET PRATIQUE”. Los materiales provienen del catálogo Dielectico Industrial.

CONECTOR MACHO HEMBRBOLSA 25-25 6MM	8201189	1	157,79
CARGADOR BATERIA MON12V 30A 230V	K2000/1230M	2	764,42
DENSIMETRO PIPETA PARA BATERIAS	DENSIMETROB	2	30,16
VARIADOR TENS.TORDL.MONO EAM 1250VA	EAM1250	2	280,81
MULTIMETRO DIG.KM-02+SONDA	0894102	2	141,06
PINZAS AMPERIM.KP-03 750V AUT./MAN.	0894203	2	154,00
LUXOMETRO DIGITAL KL6610	0875810	1	77,00
REGL.IND.RIDOS 55 118K AF 1x18W	5804302	4	5,61
REFLECTOR RIDOS 55 ZR/118 CHAPA ACE.BL.	5808500	4	3,11
BALASTO BE 3612 12 VCC	BE3612	4	21,04
LAMPARA LUMILUX L18/840 18W d26MM	4050300517797	4	1,59
REGL.IND.RIDOS 55 118K AF 1x18W	5804302	4	5,61
REFLECTOR RIDOS 55 ZR/118 CHAPA ACE.BL.	5808500	4	3,11
LAMPARA LUMILUX L18/840 18W d26MM	4050300517797	4	1,59
REGL.IND.RIDOS 55 118K AF 1x18W	5804302	2	5,61
BALASTO BE 3612 12 VCC	BE3612	2	21,04
TUBO LED PS60/10/6000/SMD	TUBO LED	2	51,00
REGL.IND.RIDOS 55 118K AF 1x18W	5804302	1	5,61
TUBO LED PS60/10/6000/SMD	TUBO LED	2	51,00
PORTALAMP.E-27 4A 250V C.LISO BLANCO	6829CLB	28	0,56
AMBIANCE PRO 23W/827 E27 230-240V	46802400	8	7,61
BALASTO BE 3612 12 VCC	BE3612	8	21,04
LAMPARA DINT LL 18W/840 E27	4008321394224	4	7,49
L.COMPACTA GENIE ES 18W/840 E27 230-240V	21398910	4	3,28
LAMP.COMPACTA PLE-D 23W/LUZ DIA E27 230V	46906900	4	11,91
L.TORNADO 23W 865 E27 230-240V	80207110	4	4,54
LAMP.MINI SOFTONE EASAVR 8Y 12W/827 E14	26094625	4	5,06
MALETA HERRAMIENTA ALPHA	220169	1	240,00
CAJA SUPERF.GD 1 FILA 10m	GD110E	2	7,16
DIF.2P 25A 30mA TIPO AC	CDC728M	2	15,29
INT.AUT.1P+N 10A CURVA C 6kA	MUN510A	4	4,40
INT.AUT.1P+N 20A CURVA C 6kA	MUN520A	4	4,61
PUENTE UNION BIP.12MKB263A	KB263A	1	6,06
CAJA SUPERF.GD 1 FILA 10m	GD110E	2	7,16
DIF.2P 25A 300mA TIPO AC	CFC225M	1	38,68

DIF.2P 40A 300mA TIPO AC	CFC240M	1		38,45
PROGR.SEM.1CANAL,1COEG071	EG071	2		60,03
PORTAFUSIBLE 10,3x38 32A 1P+N	L50600	2		5,78
FUS.ZR-0(10,3x38)16A CLASE gG	0101100	2		0,54
PUENTE UNION BIP.12MKB263A	KB263A	2		6,06
PICA 1500x14 (100MICRAS)	EC1514	4		5,25
GRAPA DE CONEXION 14d PATGA14	PATGA14	4		0,83
KGS.CABLE CU 50 MM. - ROLLO -	CCU50R	19		8,82
REGL.IND.RIDOS 55 136K AF 1x36W	5805302	2		6,01
TUBO LED PS120/10/6000/SMD	TUBO LED	2		76,46
LAMP. DICROICA LEDS 3W 200LM GU10 3200°K	LC60GU10BC60	6		8,40
PORTALAMP. H4 GU/GZ10 20cm teflon T180°	990420C	6		0,93
TERMINAL COBRE TULIPA TT-6/6	009230	20	xMIL	96,73
TERM.PR.HORQUILLA A4653G AMARILLO	0973051	50	xMIL	105,98
PUNT.PREAISLADA AI 6 VERDE	0779025	400	xMIL	63,77
M. CABLE L.H 1KV RZ1-K(AS)1x10	RZ1-K (AS)1x10	19	xMIL	1.051,33
HILO FLEX.H07V-K 6 MM2. GRIS	H07V-K 6 GR	100	xMIL	509,92
HILO FLEX. H07V-K 6 MM2. MARRON	H07V-K 6 MR	100	xMIL	509,92
HILO FLEX. H07V-K 6 MM2. NEGRO	H07V-K 6 NG	100	xMIL	509,92
HILO FLEX. H07V-K 6 MM2. AZUL	H07V-K 6 AZ	100	xMIL	509,92
HILO FLEX. H07V-K 6 MM2. A/V	H07V-K 6 A/V	100	xMIL	509,92

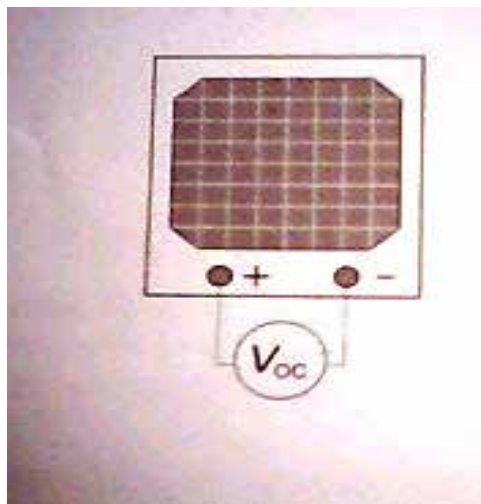
9.3 Laboratorio

9.3.1 Medición del voltaje de circuito abierto

La tensión V_{oc} constituye el voltaje máximo que puede atravesar la célula solar. La corriente que la atraviesa es nula.

La medición se realiza con un multímetro conectado como indica la imagen:

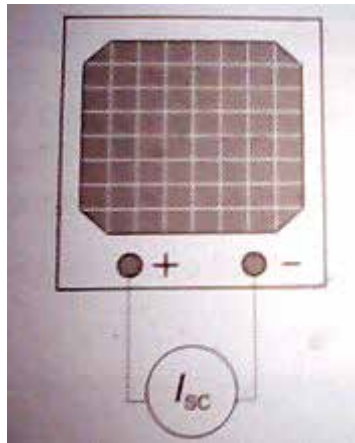
La superficie de la célula es de 95 cm²



$$V_{oc} = 0,57V$$

9.3.2 Medición de la corriente del cortocircuito

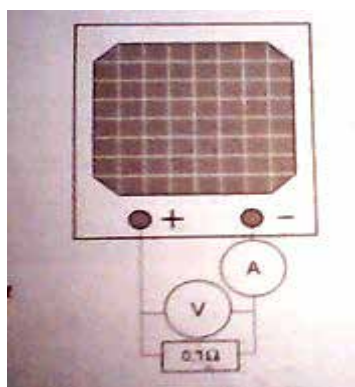
Constituye la corriente que podemos obtener de la célula cuando el voltaje es igual a cero voltios. Su valor es de entre 10 y 35 decenas de miliamperios por cada centímetro cuadrado de célula. La medición se realiza con un multímetro conectado como indica la imagen.



$$I_{sc} = 2,4A$$

9.3.3 Medición del voltaje de carga, intensidad de carga y potencia de carga

Esta medida se obtiene cuando la célula trabaja con una carga resistiva. La práctica se realizará con una carga de $R=0,1 \text{ ohm}/2w$. La carga no debe ser inferior a la potencia de la célula. La medición se realizará con dos multímetros conectados como indica la imagen. La potencia de la célula se obtiene a través de la fórmula $P \text{ (vatío)} = U \text{ (voltio)} \times I \text{ (amperio)}$



$$P = U \times I \text{ en la que } P \text{ está en vatios.}$$

9.3.4 Prueba de las variables fundamentales

Puede realizarse tanto en el interior como en el exterior.

En el interior con una lámpara Philip 38 (luz artificial)

En el exterior con la luz natural (el sol)

Necesitamos:

2 multímetros (voltaje, intensidad)

- 1 termómetro (temperatura)
- 1 piranómetro (medición de la radiación solar)
- 1 lámpara Philip 38
- 1 célula de 1 W y 0,5 V

PRUEBA EN EL INTERIOR

Habrá que comprender que la longitud de los cables para las conexiones con la célula y los contactos en los puntos de conexión con esta puede afectar (aumentar) a la resistencia total de la carga. Habrá que trabajar con una resistencia menor de 1 ohmio.

La variación de la intensidad de la lámpara se realizará mediante un reostato hasta alcanzar una radiación de 1000 W/m^2 . Esta radiación se marca en el piranómetro. La distancia entre la lámpara y la célula debe ser constante durante toda la prueba.



PRUEBA EN EL EXTERIOR

La radiación se toma en las horas de sol: efectuar las mediciones durante las horas solares entre (11h y 14h).

El piranómetro debe estar fijo, sin movimiento, a la misma inclinación que la célula fotovoltaica.

La lectura se realizará cada 15 o 20 mins.





9.3.5 Prueba con el módulo portátil

- Con una lámpara: analizar el efecto de cambiar el ángulo del módulo
- Con un potenciómetro: deducir la característica V-I

9.3.6 Prueba de una instalación completa

- Medición del estado del electrolito
- Prueba de medición de la irradiación
- Medición de la energía con contadores de energía



Sponsored by

