

## DIMENSIONADO INSTALACIÓN FV PARA OFICINA

DATOS DE LA DEMANDA DE LOS EQUIPOS:

	APARATO	Nº	P(W/udad.)	t (h)
c.c	lámpara int	1	10	4
	lámpara ext	1	20	2
c.a	computadora	1	200	4
	radio	1	50	4
	ventilador	1	100	2

Los pasos que vamos a seguir para el dimensionado son los siguientes:

- Paso 1** Estimación de la demanda media diaria de energía eléctrica.
- Paso 2** Estimación del ángulo óptimo de inclinación de los paneles y cálculo de la energía radiante incidente sobre los mismos.
- Paso 3** Dimensionado del generador fotovoltaico: determinación del número de paneles, definición de la tensión nominal de la instalación y propuesta de conexión entre los paneles.
- Paso 4** Dimensionado del sistema de acumulación: determinación de la capacidad útil de las baterías y conexionado de los vasos.
- Paso 5** Dimensionado del regulador de la carga, determinación de las corrientes máximas en el generador fotovoltaico y la carga.
- Paso 6** Dimensionado del inversor.
- Paso 7** Dimensionado del cableado.

## Paso 1: Estimación de la demanda media diaria de energía eléctrica.

El consumo medio diario de energía eléctrica se calcula a partir de las potencias y tiempo de utilización medio diario de cada aparato agrupando, por un lado, los aparatos en corriente continua (i), y por otro, los aparatos en corriente alterna (j), éstos últimos afectados por el rendimiento del inversor:

$$\left. \begin{aligned} E_{cc}(Wh) &= \sum P_{cc_i}(W) \cdot t_i(h) \\ E_{ca}(Wh) &= \sum P_{ca_j}(W) \cdot t_j(h) \end{aligned} \right\} E_{consumida} = E_{cc} + \frac{E_{ca}}{\eta_{inv}}$$

A partir de los siguientes datos de demanda:

	APARATO	Nº	P(W/udad.)	t (h)	días de uso
<b>c.c</b>	lámpara int	1	10	4	2
	lámpara ext	1	20	2	2
<b>c.a</b>	computadora	1	200	4	2
	radio	1	50	4	2
	ventilador	1	100	2	2

Construimos la tabla de demandas calculando las potencias en continua y en alterna y las energías consumidas por los equipos también en continua y en alterna:

	APARATO	Nº	P(W/udad.)	t (h)	días de uso	días a la semana	E (Wh)
<b>c.c</b>	lámpara int	1	x 10	x 4	x 2	/ 7	= 11,4285714
	lámpara ext	1	x 20	x 2	x 2	/ 7	= 11,4285714
	<b>Pcc</b>	=	30			<b>Ecc</b>	= 22,8571429
	APARATO	Nº	P(W/udad.)	t (h)	días de uso	días a la semana	E (Wh)
<b>c.a</b>	computadora	1	x 200	x 4	x 2	/ 7	= 228,571429
	radio	1	x 50	x 4	x 2	/ 7	= 57,1428571
	ventilador	1	x 100	x 2	x 2	/ 7	= 57,1428571
	<b>Pca</b>		350			<b>Eca</b>	342,857143

$$E_{consumida} = E_{cc} + \frac{E_{ca}}{\eta_{inv}} = 22,86 + \frac{342,85}{0,87} = 416,95 Wh$$

La energía media diaria demandada a la instalación fotovoltaica estará relacionada con la energía media diaria consumida por la vivienda a través del rendimiento del regulador de la carga:

$$E_{demandada} = \frac{E_{consumida}}{\eta_{reg}} = \frac{416,95}{0,95} = 438,89 Wh$$

## PASO 2: Ángulo de inclinación y energía radiante

El ángulo óptimo de inclinación de los paneles se determina de forma que durante el mes en el que la radiación incidente sobre una superficie horizontal es mínima, se capte la mayor energía radiante posible. Para ello, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1) Determinar la mínima radiación incidente sobre superficie horizontal en la localidad de estudio:

### DATOS DE RADIACIÓN EN KWh SEGÚN EL PROYECTO SWERA DE LA UCA

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
4,87	5,28	5,58	5,31	4,64	4,52	5,3	5,12	4,41	4,38	4,6	4,55	4,88

Se consideran las peores condiciones para la producción de energía, el peor mes en El Salvador es Septiembre.

Radiación media diaria sobre superficie horizontal de  $4,38 \cdot 3,6 = 15,768 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$

- 2) Determinar el ángulo de inclinación para el cual el factor corrector “k” es máximo:

El ángulo de inclinación óptimo se encuentra entre 5 y 10° menos que la latitud, en este caso entre 4 y 9°. Sin embargo el mínimo ángulo de inclinación para que la lluvia arrastre la suciedad que se posa sobre las placas es de 15°, así que el ángulo de inclinación elegido es de 15°. Según la inclinación de los módulos se debe aplicar un factor de corrección que en este caso es de  $k=1,2$ .

La energía radiante media diaria que incide sobre los paneles inclinados 15° será:

$$E_{\text{incidente}} = 15,768 \cdot 1,2 = 18,92 \text{ MJ} / \text{m}^2 \text{ día}$$

### PASO 3: Dimensionado del generador fotovoltaico

#### 1) Cálculo de las horas de sol pico:

Las horas de sol pico se definen como el número de horas equivalentes de funcionamiento del panel bajo condiciones de ensayo normalizado durante las cuales el panel recibiría la misma energía radiante que en un día real.

En el ensayo normalizado la radiación incide perpendicularmente a la superficie del panel con una intensidad de 1000 W/m<sup>2</sup>, por tanto:

$$HSP(h) = \frac{E_{\text{incidente}}(J/m^2 \text{ día})}{1000 \text{ W/m}^2} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{3.600 \text{ s}} = \frac{18,92 \cdot 10^6}{1.000} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3.600} = 5,2 \text{ horas}$$

#### 2) Energía que debe producir la instalación fotovoltaica

Los datos del fabricante de los módulos fotovoltaicos son los que siguen:

CARACT. FABRICANTE	
Vnom (V)	12
Vpico (V)	17,5
Ppico (W)	75
rend panel	85

La instalación fotovoltaica debe producir la energía media diaria que demanda la vivienda, afectada por el rendimiento del panel (85%):

$$E_{\text{producida}} = \frac{E_{\text{demandada}}}{\eta_{\text{panel}}} = \frac{438,89}{0,85} = 516,34 \text{ Wh}$$

#### 3) Cálculo del número de paneles necesarios

Cada panel estará produciendo la potencia pico durante las horas de sol pico (condiciones de ensayo normalizado), por tanto, el número de paneles necesarios para producir la energía demandada por la vivienda se calcula:

$$N_{\text{paneles}} = \frac{E_{\text{producida}}(Wh)}{P_{\text{pico}}\left(\frac{W}{\text{panel}}\right) \cdot HSP(h)} = \frac{516,34}{75 \cdot 5,2} = 2 \text{ paneles}$$

#### 4) Conexión de los paneles

Los paneles se conectan en serie formando filas y las filas se conectan en paralelo entre sí. Vamos a

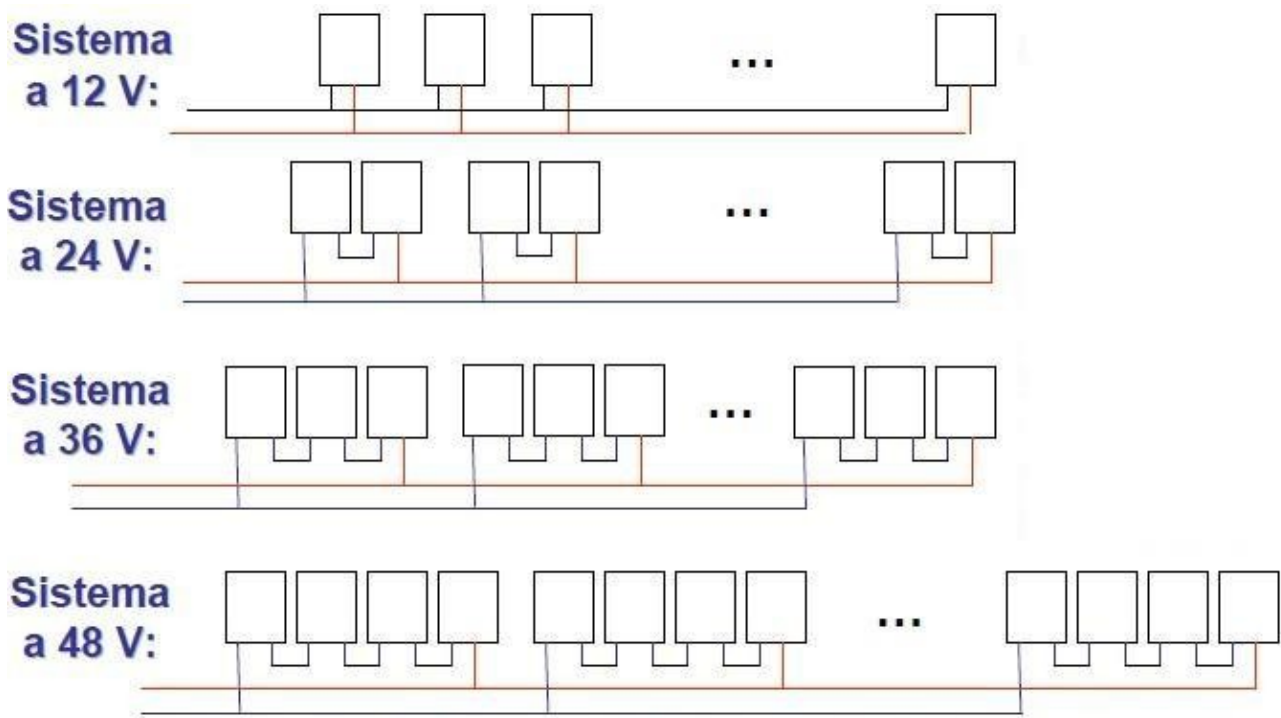
hacer el cálculo para una tensión nominal del sistema de 12 V:

$$N^{\circ} \text{ paneles / fila} = \frac{V_{nom, inst} (V)}{V_{nom, panel} (V)} = \frac{12}{12} = 1 \text{ panel / fila}$$

$$N^{\circ} \text{ filas} = \frac{N_{paneles}}{N^{\circ} \text{ paneles / fila}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ filas}$$

5) La tensión nominal del generador fotovoltaico debe ser múltiplo de 12V, que es la *tensión nominal de cada panel* Tensiones habituales: 12V, 24V, 36V, 48V

Ver siguiente figura de configuraciones típicas:



*Configuraciones típicas de conexión de paneles*

Criterio de selección; el que asegure una mayor vida de las baterías y un menor número de estas. Se recomienda que el número mínimo de paneles en serie deben ser 3 así que se descartan las dos primeras opciones.

## PASO 4: Dimensionado del sistema de acumulación (baterías)

### 1) Parámetros nominales de las baterías

- Capacidad nominal ( $C_n$ ): cantidad de carga (Ah) que puede extraerse de la batería en un número de horas determinado de funcionamiento continuado.
- Profundidad de descarga: Cociente, en %, entre la carga extraída de la batería y su capacidad nominal
- Capacidad útil: Capacidad, en Ah, disponible o utilizable en función de la profundidad de descarga máxima y del rendimiento de la batería. Se calcula:

$$C_u = C_n \cdot P_{f, \text{máx}} \cdot \eta_{bat}$$

### 2) Condiciones de funcionamiento de la instalación

- Energía media diaria demandada por la instalación: Energía demandada (Wh)
- Autonomía de las baterías: Máximo nº de días seguidos que la instalación es capaz de satisfacer Eproducida a expensas de las baterías.

### 3) Fórmulas para los cálculos

Capacidad útil:

$$C_u (Ah) = \frac{E_{demandada} (Wh/día) \cdot A (días)}{V_{nom, inst} (V)}$$

Capacidad nominal:

$$C_n (Ah) = \frac{C_u (Ah)}{P_{f, \text{máx}} \cdot \eta_{bat}} = \frac{E_{demandada} (Wh/día) \cdot A (días)}{V_{nom, inst} (V) \cdot P_{f, \text{máx}} \cdot \eta_{bat}}$$

Nº vasos en serie/fila:

$$N^{\circ} \text{ vasos/fila} = \frac{V_{nom, inst} (V)}{V_{nom, vaso} (V)}$$

Nº filas en paralelo:

$$N^{\circ} \text{ filas} = \frac{C_n (Ah)}{C_{100} (Ah)}$$

Nº vasos total:

$$N^{\circ} \text{ vasos total} = (N^{\circ} \text{ vasos/fila}) \cdot (N^{\circ} \text{ filas en paralelo})$$

CARACT. FABRICANTE	
Vnom (V/vaso)	12
C100 (Ah)	120
Pf desc, máx(%)	0,6
Autonomía	3
Rend (%)	0,9

Vnom,sist 12V	
Cn, 12 V	203,189967
nº filas	2
vasos/fila	1
nº vasos tota	2

### Paso 5: Dimensionado del regulador de la carga, determinación de las corrientes máximas en el generador fotovoltaico y la carga.

El regulador de la carga debe soportar la intensidad máxima que pueda circular por la instalación, tanto en el circuito del generador fotovoltaico como en el de las cargas.

La intensidad máxima que produce el generador fotovoltaico será la suma de las intensidades que circulan por cada fila de paneles cuando éstos están funcionando a pleno rendimiento, es decir, en el punto de máxima potencia. Por cada fila de paneles circulará la intensidad pico del panel, por tanto:

$$V_{nom,inst} = 12 \text{ V} \rightarrow I_{m\acute{a}x, generador} (A) = n^{\circ} \text{ filas} \cdot \frac{P_{pico, panel} (W)}{V_{pico, panel} (V)} = 2 \cdot \frac{75}{17,5} = 8,57 \text{ A}$$

La intensidad máxima que consume la carga se determina teniendo en cuenta todos los consumos simultáneamente:

$$V_{nom,inst} = 12 \text{ V} \rightarrow I_{m\acute{a}x, carga} (A) = \frac{P_{cc} (W)}{V_{nom,inst} (V)} + \frac{P_{ca} (W)}{110 \text{ V}} = \frac{30}{12} + \frac{350}{110} = 5,68 \text{ A}$$

### Paso 6: Dimensionado del inversor

Las características de funcionamiento que definen un inversor o convertidor CC/CA son:

- Potencia nominal
- Tensión nominal de entrada (CC): rango  $\pm 15\%$
- Tensión nominal de salida (CA)
- Frecuencia de operación
- Rendimiento

El inversor sólo está afectado por las cargas en corriente alterna, por tanto, conocido su rendimiento y la potencia instalada en alterna, la potencia mínima del inversor se estima según:

$$P_{inv}(W) = \frac{P_{ca}(W)}{\eta_{inv}} = \frac{350}{0,87} = 402,3 W$$

**NOTA: Debe evitarse sobredimensionar el inversor para que el rendimiento en el rango de trabajo sea bueno.**

### Paso 7: Dimensionado del cableado

El dimensionado del cableado en corriente continua es importante porque para tensiones de 12V÷48V las intensidades son considerables y las pérdidas en los conductores eléctricos pueden ser demasiado elevadas.

La resistencia eléctrica por unidad de longitud de un conductor, R, se expresa en función de la resistividad del material conductor,  $\rho$ , y de su sección, S, según:

$$R(\Omega/m) = \frac{\rho(\Omega \cdot mm^2/m)}{S(mm^2)}$$

Para el cobre:

$$\rho_{Cu, 20^\circ C} = \frac{1}{56} \Omega \cdot mm^2/m$$

La caída de tensión en una longitud de conductor de 2L será:

$$\Delta V(V) = 2 \cdot L(m) \cdot I(A) \cdot R(\Omega/m)$$

Por tanto, la sección mínima que debe tener un conductor de longitud 2L para que la máxima caída de tensión sea  $\Delta V_{m\acute{a}x}$  se calcula (suponemos una L = 5m):

$$S_{min}(mm^2) = \frac{2 \cdot L(m) \cdot I_{m\acute{a}x}(A) \cdot \rho(\Omega \cdot mm^2/m)}{\Delta V_{m\acute{a}x}(V)}$$

$$\left\{ I_{m\acute{a}x} = \frac{P_{pico, panel}}{V_{pico, panel}} \quad y \quad \Delta V_{m\acute{a}x}(V) = 0,02 \cdot V_{nom, inst} \right\}$$

$$\rho_{Cu, 32^\circ C} = \frac{1}{56} \cdot [1 + 0,0392 \cdot (32 - 20)] = 0,02626 \Omega \cdot mm^2/m$$

$$S_{min}(mm^2) = \frac{2 \cdot L(m) \cdot I_{m\acute{a}x}(A) \cdot \rho(\Omega \cdot mm^2/m)}{\Delta V_{m\acute{a}x}(V)} = \frac{2 \cdot 5 \cdot \frac{75}{17,5} \cdot 0,02626}{0,02 \cdot 12} = 9,4 mm^2$$

### Recopilación de datos

Según la siguiente demanda energética:

	APARATO	Nº	P(W/udad.)	t (h)	días de uso
c.c	lámpara int	1	10	4	2
	lámpara ext	1	20	2	2
c.a	computadora	1	200	4	2
	radio	1	50	4	2
	ventilador	1	100	2	2

Los resultados de demanda energética, las horas sol pico, la energía que se debe producir y el número de paneles necesarios es lo que sigue:

Pcc	30
Pca	350
Ecc	22,8571429
Eca	342,857143
Econsumida	416,945813
Edemandada	438,890329
Eincidente	18,9216
HSP	5,256
Eproducida	516,341564

Los resultados de dimensionamiento de los principales componentes de la instalación con una tensión nominal de la instalación es de 12 V son los que siguen: