

Instalacion FV

Informes

DIMENSIONADO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

I. Estimación del consumo diario de energía

1 Generalidades

- 1.1 La estimación correcta de la energía consumida por el sistema fotovoltaico sólo es sencilla en aquellas aplicaciones en las que se conocen exactamente las características de la carga (por ejemplo, sistemas de telecomunicación). Sin embargo, en otras aplicaciones, como puede ser la electrificación de viviendas, la tarea no resulta fácil pues intervienen multitud de factores que afectan al consumo final de electricidad: tamaño y composición de las familias (edad, formación, etc.), hábitos de los usuarios, capacidad para administrar la energía disponible, etc.

Placeholder

- 1.2 El objeto de este apartado es estimar la energía media diaria consumida por el sistema, E_D (Wh/día).
- 1.3 El cálculo de la energía consumida incluirá las pérdidas diarias de energía causadas por el autoconsumo de los equipos (regulador, inversor, etc.).
- 1.4 El consumo de energía de las cargas incluirá el servicio de energía eléctrica ofrecido al usuario para distintas aplicaciones (iluminación, TV, frigorífico, bombeo de agua, etc.).
- 1.5 Para propósitos de dimensionado del acumulador, se calculará el consumo medio diario en Ah/día, L_D , como:

$$L_D (\text{Ah/día}) = \frac{E_D (\text{Wh/día})}{V_{\text{NOM}} (\text{V})}$$

donde V_{NOM} (V) es la tensión nominal del acumulador.

- 1.6 Los parámetros requeridos en la Memoria de Solicitud para una aplicación destinada al bombeo de agua serán calculados por el instalador usando los métodos y herramientas que estime oportunos. En su defecto, el apartado 2 describe un procedimiento aproximado de cálculo que permite considerar las características dinámicas del pozo.

2 Bombeo de agua

2.1 DEFINICIONES

- 2.1.1 Altura de fricción: H_f (m). Contribución equivalente en altura de las pérdidas por fricción en las tuberías para un caudal determinado.
- 2.1.2 Altura del depósito: H_D (m). Altura entre el depósito de agua y el suelo.
- 2.1.3 Altura total equivalente: H_{TE} (m). Altura fija (constante).
- 2.1.4 Volumen diario de agua requerido: Q_d (m³/día). Cantidad de agua que debe ser bombeada diariamente por el sistema fotovoltaico.
- 2.1.5 Caudal medio o aparente: Q_{AP} (m³/h). Valor medio del volumen diario de agua requerido ($Q_{AP} = Q_d / 24$).
- 2.1.6 Eficiencia de la motobomba: η_{MB} . Cociente entre la energía hidráulica y la energía eléctrica consumida por la motobomba.
- 2.1.7 Energía eléctrica consumida por la motobomba: E_{MB} (Wh/día).
- 2.1.8 Energía hidráulica: E_H (Wh/día). Energía necesaria para bombear el volumen diario de agua requerido.
- 2.1.9 Prueba de bombeo. Experimento que permite determinar el descenso de nivel de agua de un pozo al extraer un determinado caudal de prueba. Mediante este ensayo de bombeo se caracteriza el pozo con la medida de tres parámetros:
 - – Nivel estático del agua: H_{ST} (m). Distancia vertical entre el nivel del suelo y el nivel del agua antes de la prueba de bombeo.
 - – Nivel dinámico del agua: H_{DT} (m). Distancia vertical entre el nivel del suelo y el nivel final del agua después de la prueba de bombeo.
 - – Caudal de prueba: Q_T (m³/h). Caudal de agua extraído durante la prueba de bombeo.

2.2 CÁLCULO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA REQUERIDA POR LA MOTOBOMBA

- 2.2.1 Se estimará la energía eléctrica consumida por la motobomba como:

$$E_{MB} \text{ (Wh/día)} = \frac{E_H \text{ (Wh/día)}}{\eta_{MB}} = \frac{2,725 Q_d \text{ (m}^3\text{/día)} \cdot H_{TE} \text{ (m)}}{\eta_{MB}}$$

- 2.2.2 Para sistemas de bombeo de corriente alterna, la eficiencia de la motobomba es un parámetro que suele estar incluido en el rendimiento del conjunto inversor-motobomba. Habitualmente, el fabricante proporciona herramientas gráficas para el cálculo del rendimiento global del sistema, incluyendo el propio generador fotovoltaico. Por defecto, puede utilizarse un rendimiento típico $\eta_{MB} = 0,4$ para bombas superiores a 500 W.
- 2.2.3 La altura equivalente de bombeo, H_{TE} , es un parámetro ficticio que incluye las características físicas del pozo y del depósito, las pérdidas por fricción en las tuberías

(contribución equivalente en altura) y la variación del nivel dinámico del agua durante el bombeo. Para su cálculo puede utilizarse la fórmula siguiente:

$$H_{TE} = H_D + H_{ST} + \left(\frac{H_{DT} - H_{ST}}{Q_T} \right) Q_{AP} + H_f$$

La suma de los dos primeros términos es la altura desde la salida de la bomba en el depósito hasta el nivel estático del agua (figura 3). El tercer término es una corrección para tener en cuenta el descenso de agua durante el bombeo y el cuarto es la contribución equivalente en altura de las pérdidas por fricción en las tuberías y en otros accesorios del sistema hidráulico (válvulas, codos, grifos, etc.). Estas pérdidas, de acuerdo con el PCT, serán inferiores al 10 % de la energía hidráulica útil (es decir, $H_f < 0,1 H_{TE}$).

II. Dimensionado del sistema

1 Generalidades

- 1.1 El objeto de este apartado es evaluar el dimensionado del generador fotovoltaico llevado a cabo por el instalador, con independencia de los métodos que el instalador utilice para esta tarea.
- 1.2 Para ello se le pedirá que indique la eficiencia energética esperada para la instalación.

2 Definiciones

- 2.1 Ángulo de inclinación β .

Ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal (figura 1). Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para verticales.

- 2.2 Ángulo de azimut α . Ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar (figura 2). Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste.

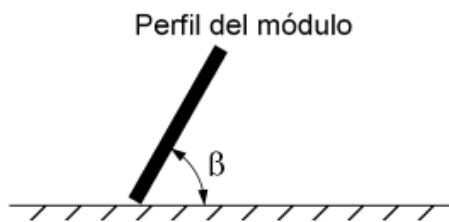


Fig. 1

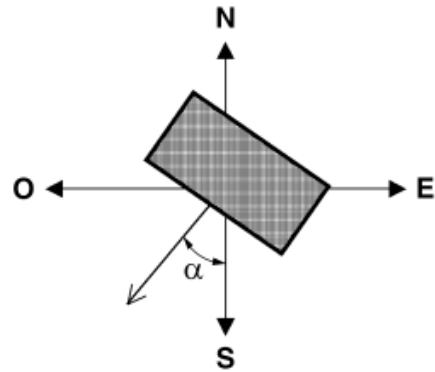


Fig. 2

- 2.3 $G_{dm}(0)$. Valor medio mensual o anual de la irradiación diaria sobre superficie horizontal en $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ A día})$.
- 2.4 $G_{dm}(\theta_{opt}, \phi_{opt})$. Valor medio mensual o anual de la irradiación diaria sobre el plano del generador orientado de forma óptima $(\theta_{opt}, \phi_{opt})$, en $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ A día})$. Se considera orientación óptima aquella que hace que la energía colectada sea máxima en un período.
- 2.5 $G_{dm}(\theta, \phi)$. Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador en $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ A día})$ y en el que se hayan descontado las pérdidas por sombreado.
- 2.6 Factor de irradiación (FI). Porcentaje de radiación incidente para un generador de orientación e inclinación (α, β) respecto a la correspondiente para una orientación e inclinación óptimas $(\alpha=0^\circ, \beta_{opt})$. Las pérdidas de radiación respecto a la orientación e inclinación óptimas vienen dadas por $(1 - FI)$.
- 2.7 Factor de sombreado (FS). Porcentaje de radiación incidente sobre el generador respecto al caso de ausencia total de sombras. Las pérdidas por sombreado vienen dadas por $(1 - FS)$.
- 2.8 Rendimiento energético de la instalación o "performance ratio", (PR) . Eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo para el período de diseño, de acuerdo con la ecuación:

$$PR = \frac{E_D \cdot G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) \cdot P_{mp}}$$

donde:

$$G_{CEM} = 1 \text{ kW/m}^2$$

$$P_{mp}: \text{Potencia pico del generador (kWp)}$$

$$E_D: \text{Consumo expresado en kWh/día}$$

Este factor considera las pérdidas en la eficiencia energética debido a:

- La temperatura.
- El cableado.

- Las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad.
- Las pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia.
- La eficiencia energética, η_{rb} , de otros elementos en operación como el regulador, batería, etc.
- La eficiencia energética del inversor, η_{inv} .
- Otros.

Valores típicos son, en sistemas con inversor, $(PR \approx 0,7)$ y, con inversor y batería, $(PR \approx 0,6)$. A efectos de cálculo y por simplicidad, se utilizarán en sistemas con inversor $(PR = 0,7)$ y con inversor y batería $(PR = 0,6)$. Si se utilizase otro valor de PR, deberá justificarse el valor elegido desglosando los diferentes factores de pérdidas utilizados para su estimación. En caso de acople directo de cargas al generador (por ejemplo, una bomba), se

3 Procedimiento

3.1 PERÍODO DE DISEÑO

Se establecerá un período de diseño para calcular el dimensionado del generador en función de las necesidades de consumo y la radiación. Se indicará cuál es el período para el que se realiza el diseño y los motivos de la elección. Algunos ejemplos son:

- En escenarios de consumo constante a lo largo del año, el criterio de “mes peor” corresponde con el de menor radiación.
- En instalaciones de bombeo, dependiendo de la localidad y disponibilidad de agua, el “mes peor” corresponde a veces con el verano.
- Para maximizar la producción anual, el período de diseño es todo el año.

3.2 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN ÓPTIMAS. PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

Se determinará la orientación e inclinación óptimas ($\alpha = 0^\circ$, β_{opt}) para el período de diseño elegido. En la tabla III se presentan períodos de diseño habituales y la correspondiente inclinación (β) del generador que hace que la colección de energía sea máxima.

Tabla III

Período de diseño	β_{opt}	$K = \frac{G_{dm}(\alpha=0, \beta_{opt})}{G_{dm}(0)}$
Diciembre	$\phi + 10$	1,7
Julio	$\phi - 20$	1
Anual	$\phi - 10$	1,15

ϕ = Latitud del lugar en grados

El diseñador buscará, en la medida de lo posible, orientar el generador de forma que la energía captada sea máxima en el período de diseño ($\alpha = 0^\circ$, β_{opt}). Sin embargo, no será siempre posible orientar e inclinar el generador de forma óptima, ya que pueden influir otros factores como son la acumulación de suciedad en los módulos, la resistencia al viento, las sombras, etc. Para calcular el factor de irradiación para la orientación e inclinación elegidas se utilizará la expresión aproximada:

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2] \quad \text{para } \beta \leq 15^\circ$$

[Nota: α , β se expresan en grados]

3.3 IRRADIACIÓN SOBRE EL GENERADOR

Deberán presentarse los siguientes datos:

- $G_{dm}(0)$ Obtenida a partir de alguna de las siguientes fuentes: – Instituto Nacional de Meteorología – Organismo autonómico oficial
- $G_{dm}(\alpha, \beta)$ Calculado a partir de la expresión:

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \cdot K \cdot FI \cdot FS$$

donde:

$$K = \frac{G_{dm}(\alpha = 0, \beta_{opt})}{G_{dm}(0)}$$

Este parámetro puede obtenerse de la tabla III para el período de diseño elegido.

3.4 DIMENSIONADO DEL GENERADOR

El dimensionado mínimo del generador, en primera instancia, se realizará de acuerdo con los datos anteriores, según la expresión:

$$P_{mp, min} = \frac{E_D G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) PR}$$

$$G_{CEM} = 1 \text{ kW/m}^2$$

E_D : Consumo expresado en kWh/día.

Para el cálculo, se utilizarán los valores de PR especificados en el punto 2.8 de este anexo.

3.5 DISEÑO DEL SISTEMA

El instalador podrá elegir el tamaño del generador y del acumulador en función de las necesidades de autonomía del sistema, de la probabilidad de pérdida de carga requerida y cualquier otro factor que quiera considerar, respetando los límites estipulados en el PCT:

- La potencia nominal del generador será, como máximo, un 20 % superior al valor $P_{mp, min}$ para el caso general (ver 4.2.4 de este PTC).

- – La autonomía mínima del sistema será de tres días.
- – Como caso general, la capacidad nominal de la batería no excederá en 25 veces la corriente de cortocircuito en CEM del generador fotovoltaico. La autonomía del sistema se calculará mediante la expresión:

$$A = \frac{C_{20} PD_{\max}}{L_D} \eta_{\text{inv}} \eta_{\text{rb}}$$

A = Autonomía del sistema en días

C_{20} = Capacidad del acumulador en Ah (*)

PD_{\max} = Profundidad de descarga máxima

η_{inv} = Rendimiento energético del inversor

η_{rb} = Rendimiento energético del acumulador + regulador

L_D = Consumo diario medio de la carga en Ah

III. Ejemplo de cálculo

1 ESTUDIO DE LA CARGA

Se pretende electrificar una vivienda rural de una familia formada por 4 personas, situada en el término municipal de San Agustín de Guadalix (latitud = 41°). El servicio de energía eléctrica ofrecido a los usuarios está recogido en la tabla IV. El servicio proporcionado incluye la electrificación de la vivienda y un sistema de bombeo de agua (para uso personal y una pequeña granja). Las pérdidas de autoconsumo de los equipos incluyen las del regulador (24 h × 1 W = 24 Wh) y las del inversor, para el que se ha estimado que funcionará 11 horas en vacío con un consumo medio de 2 W (11 h × 2W = 22 Wh). Tabla IV. Consumo diario de energía

Tabla IV. Consumo diario de energía eléctrica.

<i>Servicio</i>	<i>Energía diaria (Wh/día)</i>
Iluminación	160
TV y radio	140
Frigorífico	350
Bombeo de agua	204
Autoconsumo de los equipos	46
E_D (Wh/día)	900

eléctrica.

La bomba de agua extrae diariamente 1500 litros de un pozo (figura 3), cuya altura equivalente de bombeo se ha estimado en 20 metros, con una motobomba que tiene un rendimiento energético del 40 %. La prueba de bombeo realizada al pozo permitió obtener los siguientes parámetros: H ST = 15 metros H DT = 30 metros

(*) La utilización de C 20 en lugar de la C 100 lleva a sobredimensionar el acumulador un 25 %, pero se compensa con la pérdida de capacidad con el tiempo.

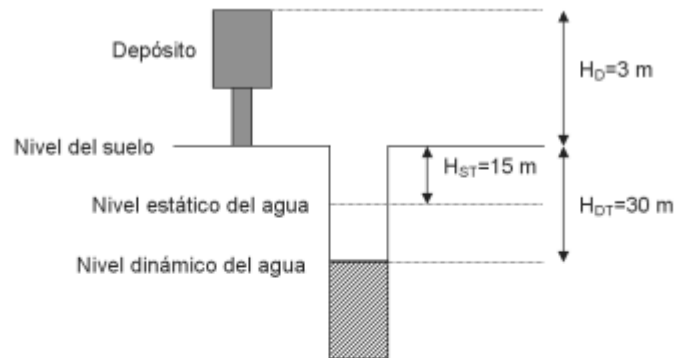


Fig. 3. Esquema del sistema de bombeo.

Por tanto, la energía eléctrica necesaria para el bombeo tiene como valor:

$$E_{MB} = E_H / \eta_{MB} = (2,725 \times 1,5 \times 20) / 0,4 = 204 \text{ Wh/día}$$

La altura equivalente de bombeo se ha calculado como:

$$H_{TE} = 3 + 15 + [(30 - 15) / 10] \times (1,5 / 24) + 2 = 3 + 15 + 0,094 + 2 \approx 20 \text{ metros}$$

Como se puede comprobar, el factor que corrige la variación dinámica del nivel del pozo es insignificante frente a la altura entre el nivel estático del agua y el depósito, debido a que el caudal bombeado es pequeño.

2 DISEÑO DEL SISTEMA

Tabla V. Cálculo de la potencia mínima del generador.

Parámetro	Unidades	Valor	Comentario
Localidad		S. Agustín de Guadalix	
Latitud ϕ		41°	
E_D	kWh/día	0,9	Consumo constante a lo largo del año
Período diseño		Diciembre	Mes de peor radiación y consumo constante ($k = 1,7$)
$(\alpha_{opt}, \beta_{opt})$		(0°, 51°)	
(α, β)		(20°, 45°)	Orientación e inclinación del tejado
$G_{dn}(0)_{diciembre}$	kWh/(m²·día)	1,67	Fuente: Instituto Nacional de Meteorología
FI		0,98	$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2]$
FS		0,92	Sombra chimenea de un 8 % en diciembre
$PR_{diciembre}$		0,60	Eficiencia energética global del sistema
$G_{dn}(\alpha, \beta)_{diciembre}$	kWh/(m²·día)	2,56	$G_{dn}(\alpha, \beta)_{diciembre} = G_{dn}(0)_{diciembre} \cdot K \cdot FI \cdot FS$
$P_{mp, min}$	kWp	0,586	$P_{mp, min} = \frac{E_D G_{CEM}}{G_{dn}(\alpha, \beta) PR}$

Para diseñar el generador se dispone de un módulo fotovoltaico cuyos parámetros en CEM tienen los siguientes valores:

- Potencia máxima = 110 Wp
- Corriente de cortocircuito = 6,76 A
- Corriente en el punto de máxima potencia = 6,32 A
- Tensión de circuito abierto = 21,6 V
- Tensión en el punto de máxima potencia = 17,4 V

Se elige un generador de 660 Wp (formado por dos módulos en serie y tres ramas en paralelo) y un acumulador con una capacidad nominal de 340 Ah en 20 horas. La tensión nominal del sistema es de 24 V. Ambos valores se han elegido para asegurar una probabilidad de pérdida de carga inferior a 10^{-2} (*). Las tensiones del regulador se ajustan de forma que la profundidad de descarga máxima sea del 70 %. La eficiencia energética del inversor se estima en el 85 %, y la del regulador + acumulador en el 81 %.

Tabla VI

Parámetro	Unidades	Valor	Comentario
P_{mp}	Wp	660	$P_{mp} < 1,2 P_{mp, min}$ (requisito obligatorio para el caso general)
C_{20}	Ah	340	Capacidad nominal del acumulador
PD_{max}		0,7	Profundidad de descarga máx. permitida por el regulador
η_{inv}		0,85	Rendimiento energético del inversor
η_{rb}		0,81	Rendimiento energético regulador-acumulador
V_{NOM}	V	24	Tensión nominal del acumulador
L_D	Ah	37,5	Consumo diario de la carga ($L_D = E_D/V_{NOM}$)
A	Días	4,37	Autonomía: $A = \frac{C_{20} PD_{max}}{L_D} \eta_{inv} \eta_{rb}$
C_{20}/I_{sc}	h	16,77	$C_{20}/I_{sc} < 25$ (requisito obligatorio para el caso general) I_{sc} (generador, CEM) = 20,28 A

DOCUMENTACIÓN QUE SE DEBE INCLUIR EN LAS MEMORIAS

1. Consumo diario de energía eléctrica

1. Consumo diario de energía eléctrica

<i>Servicio</i>	<i>Energía diaria (Wh/día)</i>
E_D (Wh/día)	

2. Sistemas de bombeo de agua

2. Sistemas de bombeo de agua

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Volumen de agua diario requerido Q_d (m ³ /día)	
Altura del depósito H_D (m)	
Profundidad del pozo (m)	
Altura total equivalente H_{TE} (m)	
Rendimiento de la motobomba η_{MB}	
<i>Prueba de bombeo</i>	
Nivel estático del agua H_{ST} (m)	
Nivel dinámico del agua H_{DT} (m)	
Caudal de prueba Q_T (m ³ /h)	

3. Dimensionado del generador

3. Dimensionado del generador

<i>Parámetro</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>	<i>Comentario</i>
Localidad			
Latitud ϕ			
E_D	kWh/día		Consumo de la carga
Período diseño			Razón:
$(\alpha_{opt}, \beta_{opt})$			
(α, β)			
$G_{dm}(0)$	kWh/(m ² ·día)		Fuente:
FI			$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2]$
FS			Causa:
PR			
$G_{dm}(\alpha, \beta)$	kWh/(m ² ·día)		$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) \cdot K \cdot FI \cdot FS$
$P_{mp, min}$	kWp		$P_{mp, min} = \frac{E_D G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) PR}$

4. Dimensionado final del sistema

4. Dimensionado final del sistema

<i>Parámetro</i>	<i>Unidades</i>	<i>Valor</i>	<i>Comentario</i>
P_{mp}	Wp		Potencia pico del generador
C_{20}	Ah		Capacidad nominal del acumulador
PD_{max}			Profundidad de descarga máx. permitida por el regulador
η_{inv}			Rendimiento energético del inversor
η_{rb}			Rendimiento energético del regulador-acumulador
V_{NOM}	V		Tensión nominal del acumulador
L_D	Ah		Consumo diario de la carga ($L_D = E_D/V_{NOM}$)
A	Días		Autonomía: $A = \frac{C_{20} PD_{max}}{L_D} \eta_{inv} \eta_{rb}$
C_{20}/I_{sc}	h		$C_{20}/I_{sc} < 25$ para el caso general

Referencias:

Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red .PCT-C-REV - julio 2011 (*)
y PCT-A-REV - febrero 2009)