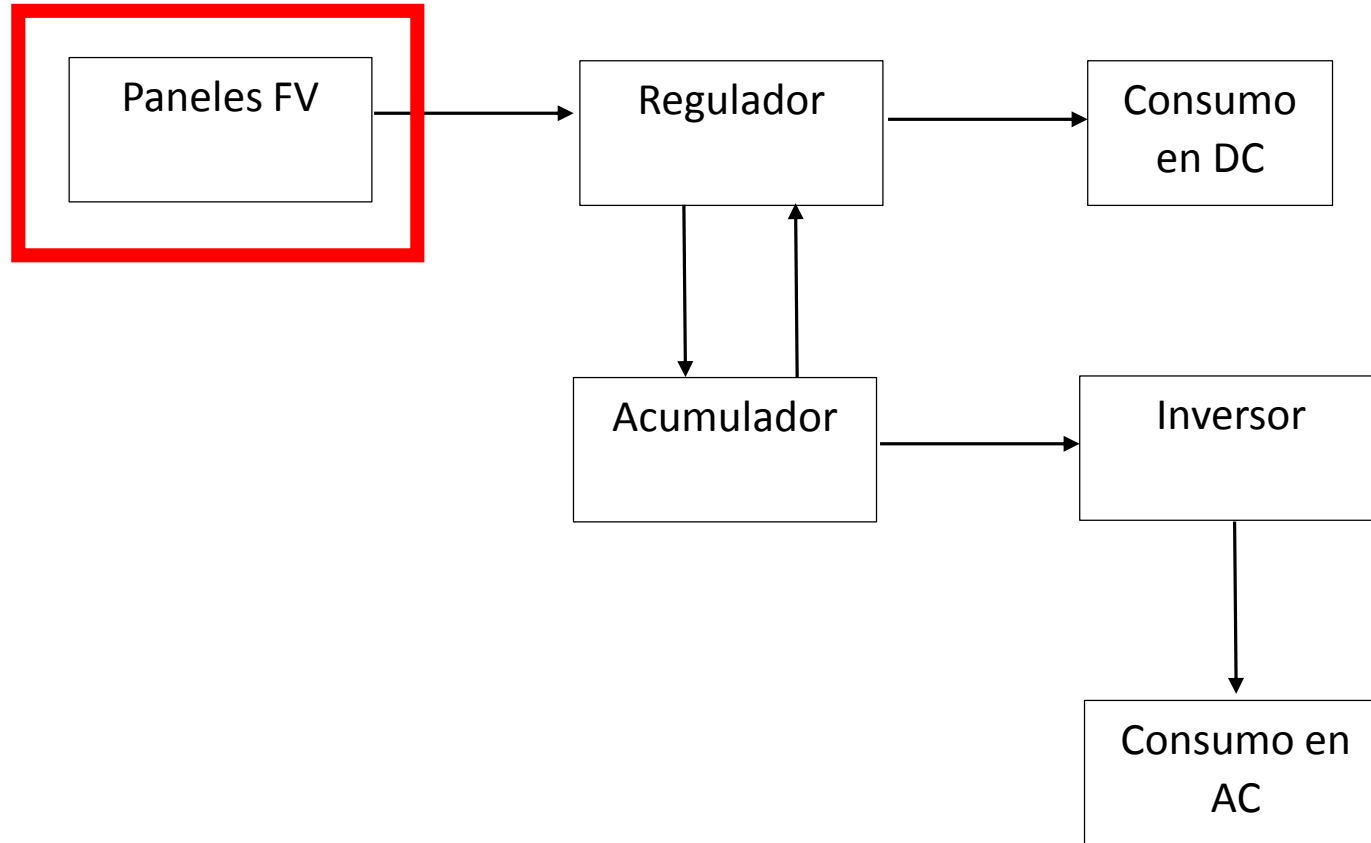


# FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACION

BLOQUE I: Principios de generación y diseño de instalaciones  
fotovoltaica. Clase III

# 3. Componentes de la instalación

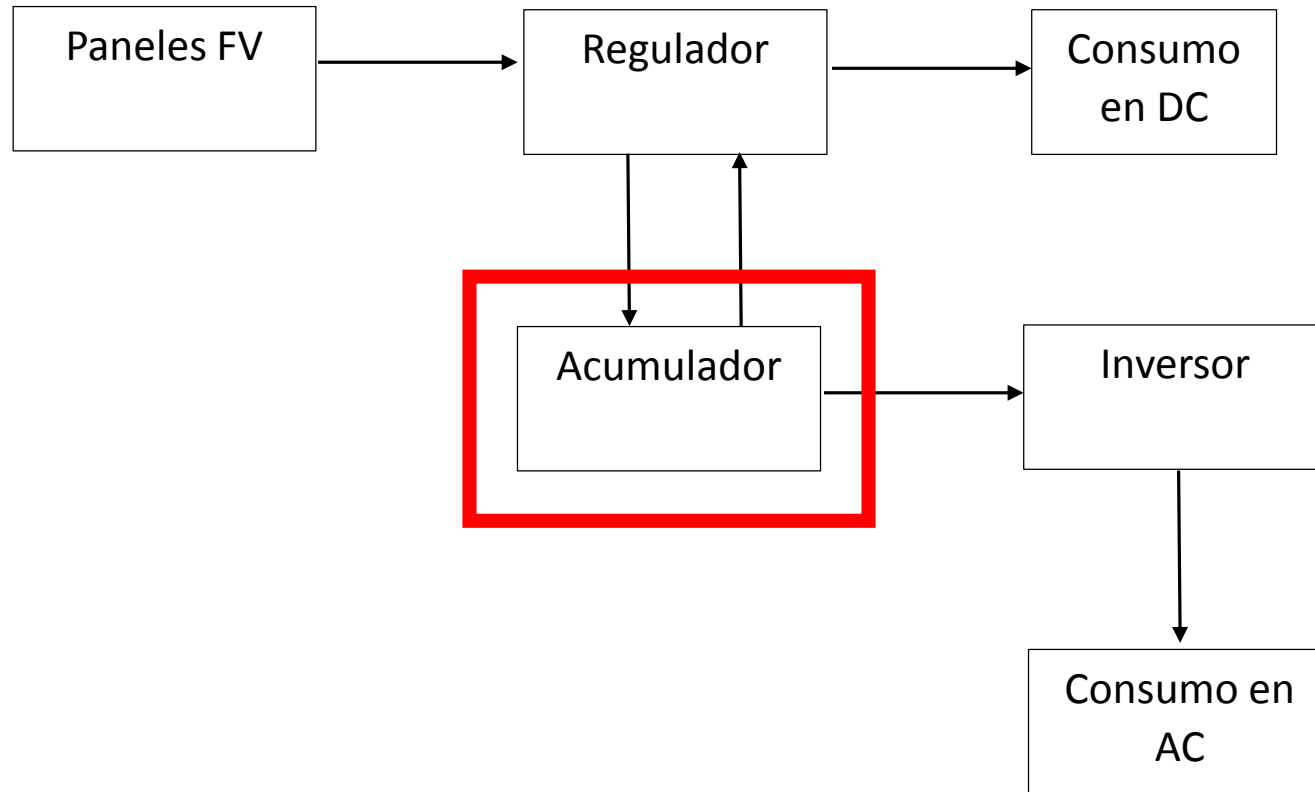
## 3.1 Introducción (I/IV)



*Esquema de componentes de una instalación FV*

# 3. Componentes de la instalación

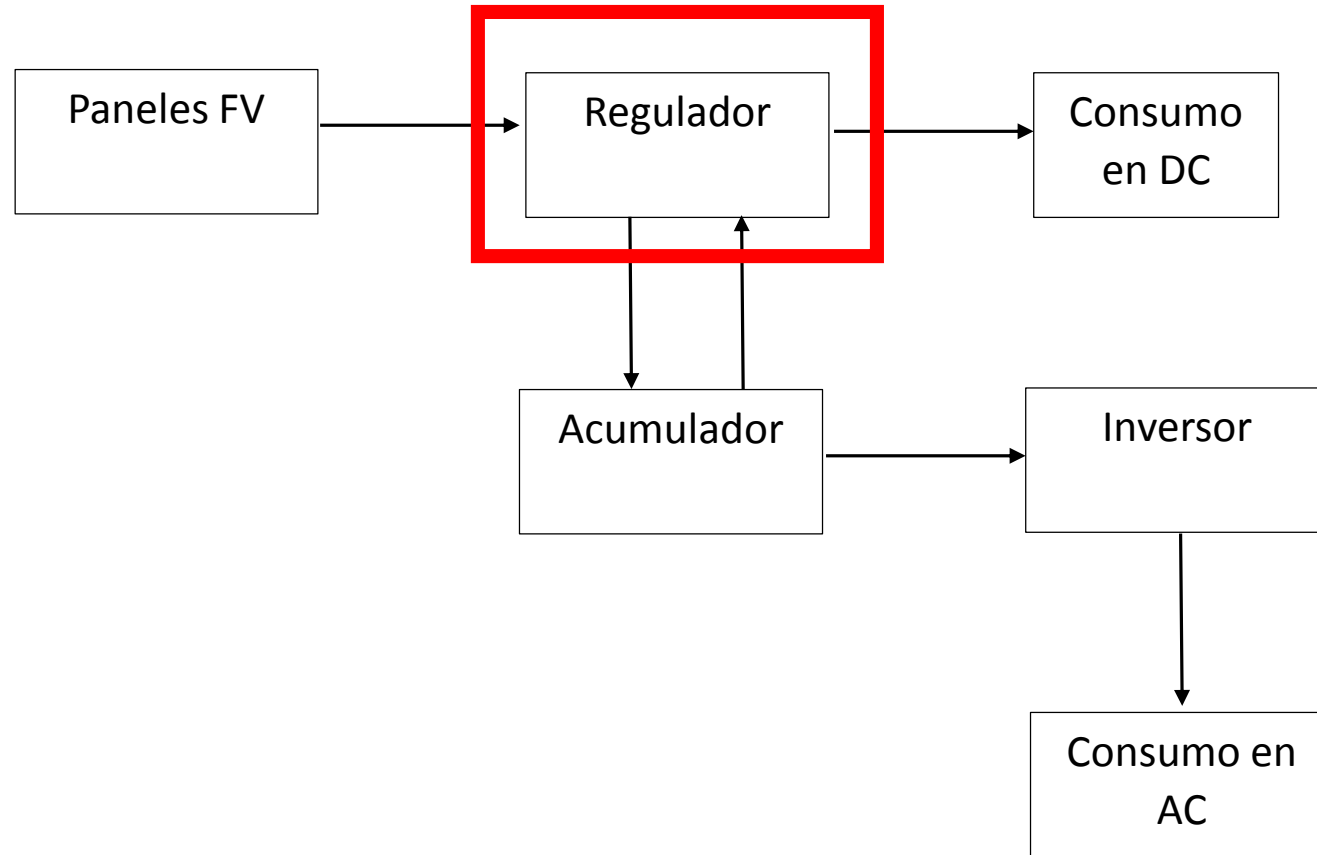
## 3.1 Introducción (II/IV)



*Esquema de componentes de una instalación FV*

# 3. Componentes de la instalación

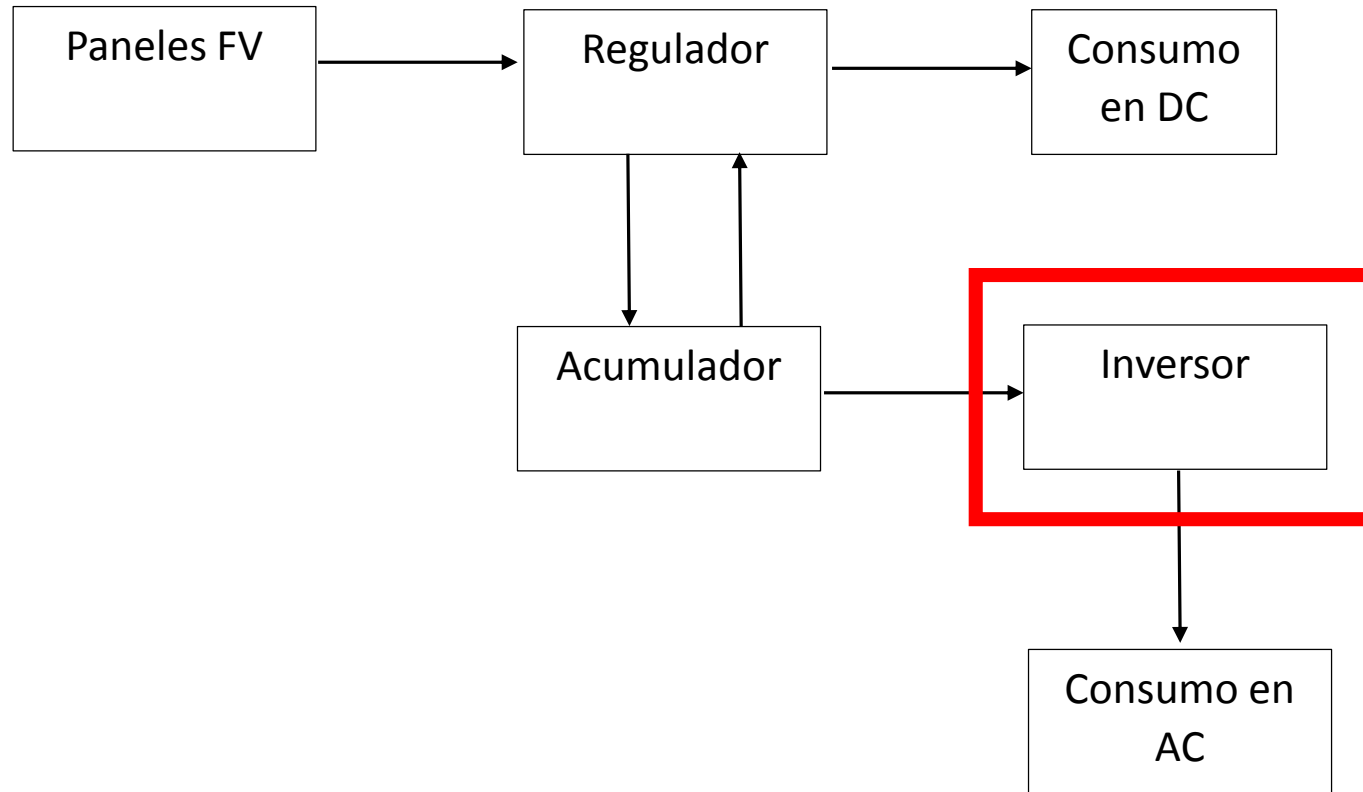
## 3.1 Introducción (III/IV)



*Esquema de componentes de una instalación FV*

# 3. Componentes de la instalación

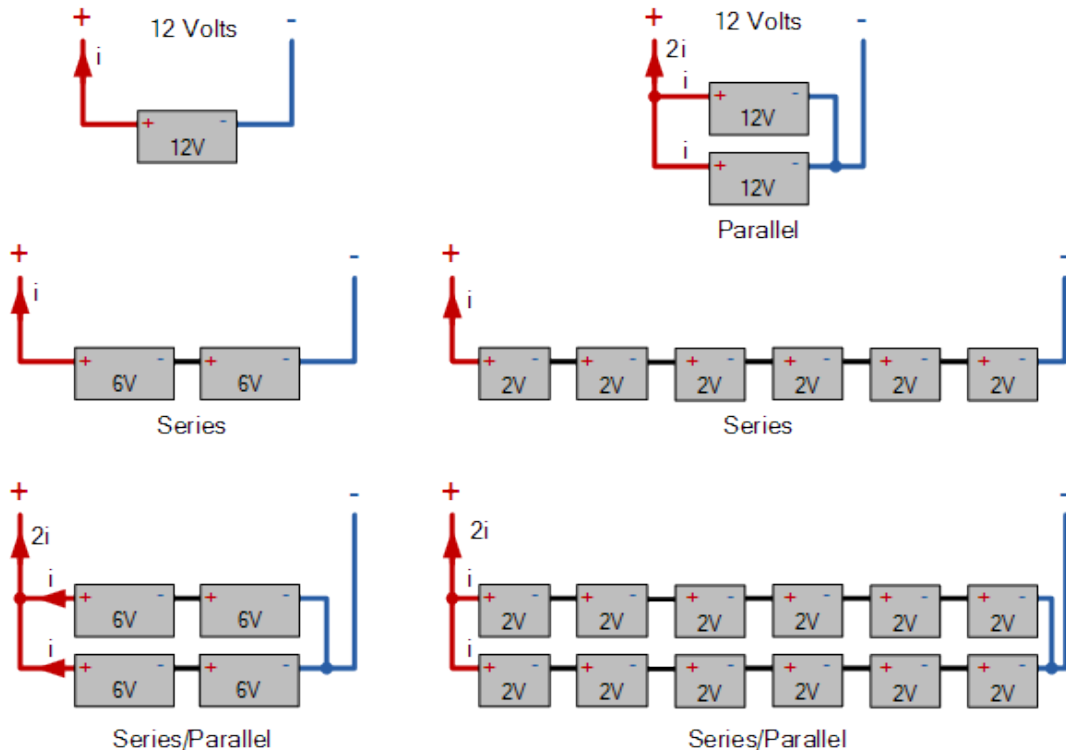
## 3.1 Introducción (IV/IV)



*Esquema de componentes de una instalación FV*

# 3. Componentes de la instalación

## 3.2 Conexión de las baterías y dimensionado de la carga de acumulación



Formas de conexión de células

Conexión en serie:  $I = I_i$  y  $V = N \cdot V_i$   
Conexión en paralelo:  $I = N \cdot I_i$  y  $V = V_i$   
Conexión mixta:  $I = N_p \cdot I_i$  y  $V = N_S \cdot V_i$

donde

- $I$  intensidad total (en A)
- $I_i$  intensidad de una de las unidades (en A)
- $V$  tensión total (en V)
- $N$  unidades del grupo
- $V_i$  tensión de una de las unidades (en V)
- $N_p$  número de grupos conectados en paralelo; y
- $N_S$  número de unidades que constituyen un grupo

### 3. Componentes de la instalación

#### 3.2 Conexión de las baterías y dimensionado de la carga de acumulación (Ejemplo 1)

- Se estima que una instalación autónoma tiene las características que se indican a continuación: potencia media diaria de 600 W y tensión 24 V. Para la zona la previsión de días nubladas es 3 al mes.
- Calcular la capacidad del banco acumulador y el número de unidades necesarias, si se dispone de las baterías de los modelos de batería de la tabla.

<b>Modelo</b>	<b>Capacidad Ah (100 h)</b>	<b>Precio €</b>
<b>A</b>	530	510
<b>B</b>	770	950
<b>C</b>	960	1300
<b>D</b>	1160	1640
<b>Tensión 12 V</b>		

*Modelos de baterías*

# 3. Componentes de la instalación

## 3.2 Conexión de las baterías y dimensionado de la carga de acumulación (Ejemplo 1; Pasos)

Paso 1: Cálculo de la intensidad total (en A);  $I = P/V$

Paso 2: Cálculo de la energía eléctrica demandada durante un día (en Ah);  $E = I \cdot t$

Paso 3: Cálculo de la capacidad de acumulación (en Ah);  $C = E \cdot n$  (se asumirá que  $n$  es 3 días)

Paso 4: Hacer una comparativa de varias opciones atendiendo al modelo, configuración propuesta, capacidad a las 100 h, % de descarga y precio.

donde:

- $I$  intensidad total (en A)
- $P$  potencia media diaria (en W)
- $V$  tensión total (en V)
- $E$  energía eléctrica demandada durante un día (en Ah)
- $t$  tiempo en un día (en horas)
- $C$  capacidad de acumulación (en Ah)
- $n$  número de días consecutivos que las baterías deberán acumular la energía demandada



### 3. Componentes de la instalación

#### 3.2 Conexión de las baterías y dimensionado de la carga de acumulación (Ejemplo 1; Solución I/II)

$$I = \frac{P}{V} = \frac{600}{24} = 25 \text{ A}$$

$$E = I \cdot t = 25 \cdot 24 = 600 \text{ Ah}$$

$$C = E \cdot n = 600 \cdot 3 = 1800 \text{ Ah}$$

donde:

$I$  intensidad total (en A)

$P$  potencia media diaria (en W)

$V$  tensión total (en V)

$E$  energía eléctrica demandada durante un día (en Ah)

$t$  tiempo en un día (en horas)

$C$  capacidad de acumulación (en Ah)

$n$  número de días consecutivos que las baterías deberán acumular la energía demandada

### 3. Componentes de la instalación

#### 3.2 Conexión de las baterías y dimensionado de la carga de acumulación (Ejemplo 1; Solución II/II)

Opción	Modelo	Asociación	Capacidad Ah (100 h)	Descarga %	Precio €
1	A	Dos grupos en paralelo formados por dos baterías conectadas en serie	$530 \cdot 4 = 2120$	85	$510 \cdot 4 = 2040$
2	B	Dos baterías conectadas en serie	$770 \cdot 2 = 1540$	117	$950 \cdot 2 = 1900$
3	B	Dos grupos en paralelo formados por dos baterías conectadas en serie	$770 \cdot 4 = 3080$	58	$950 \cdot 4 = 3800$
4	C	Dos baterías conectadas en serie	$960 \cdot 2 = 1920$	94	$1300 \cdot 2 = 2600$
5	D	Dos baterías conectadas en serie	$1160 \cdot 2 = 2320$	78	$1640 \cdot 2 = 3280$

*Opciones contempladas*

## 3. Componentes de la instalación

### 3.3 Regulador de carga de las baterías (I/II)

- Función del equipo regulador: proteger los acumuladores a fin de alargar su vida y asegurar el correcto funcionamiento de la instalación
- Función 1 del regulador: Sobredescarga
- Controla el nivel de carga del banco de baterías.
  - La sobredescarga no debe superar el 80% de la carga total
  - Se recomienda que las descargas habituales se sitúen alrededor del 30%.

## 3. Componentes de la instalación

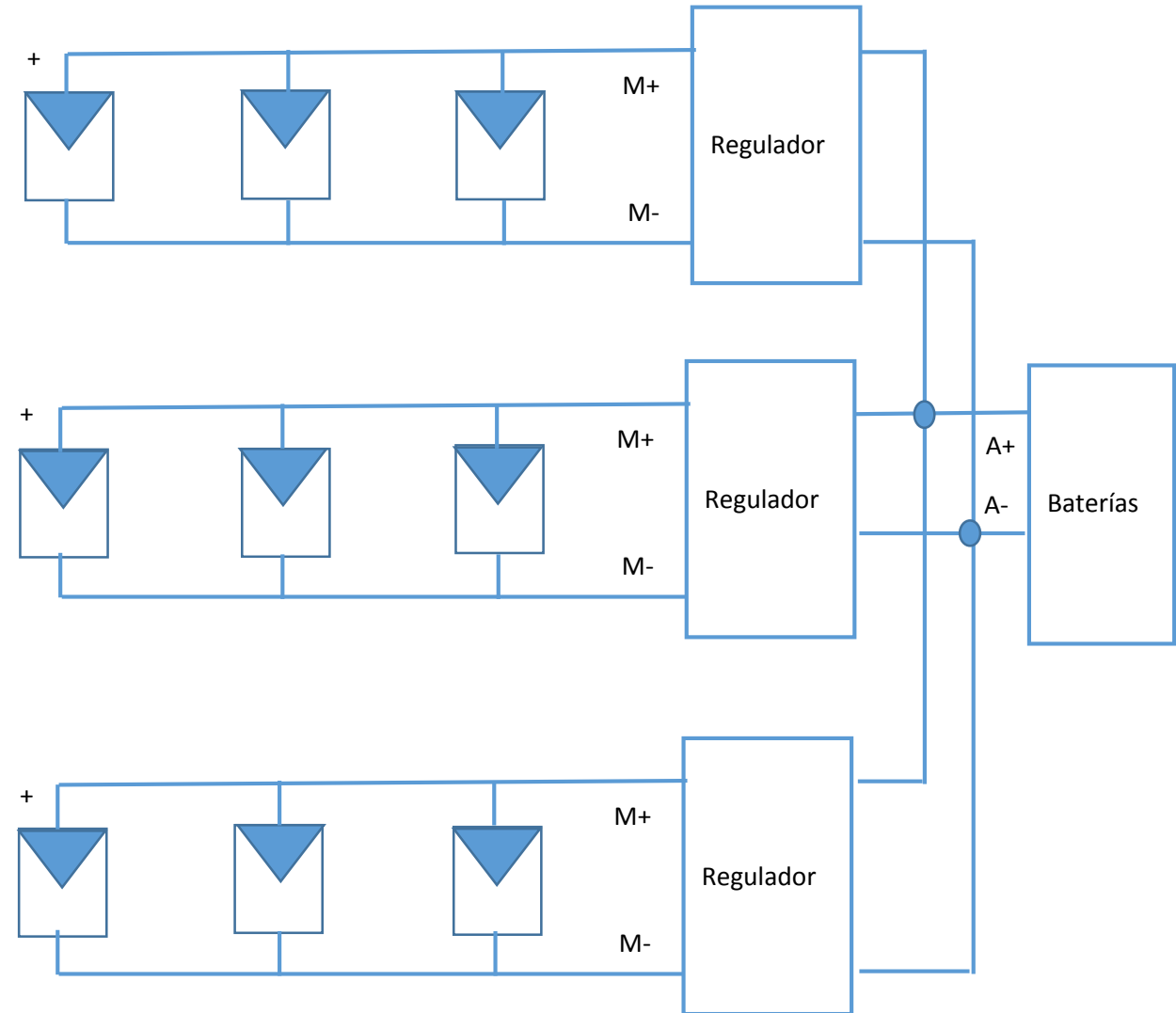
### 3.3 Regulador de carga de las baterías (II/II)

- Función del equipo regulador: proteger los acumuladores a fin de alargar su vida y asegurar el correcto funcionamiento de la instalación
- Función 2 del regulador: Sobrecarga
  - Controla el nivel de carga, en fase de carga, para evitar sobrecargas que provoquen excesiva emisión de gases y de electrolito.

# 3. Componentes de la instalación

## 3.3.1 Asociación de los reguladores y dimensionado

- Utilización un regulador para cada grupo de módulos y asociación de los reguladores en paralelo
- La tensión nominal de trabajo del regulador debe ser superior a la máxima creada por los módulos
- La intensidad nominal del regulador debe ser mayor que la máxima generada multiplicada por 1.1



## 3. Componentes de la instalación

### 3.3.1 Asociación de los reguladores y dimensionado (Ejemplo 2)

- El campo de colectores de una instalación FV está formado por 10 paneles iguales cuya tensión de circuito abierto es 22 V y la intensidad de cortocircuito 3.8 A. Si se dispone de una gama de reguladores de 48 V de tensión nominal, calcular la intensidad nominal que deberá tener el modelo elegido.

### 3. Componentes de la instalación

#### 3.3.1 Asociación de los reguladores y dimensionado (Ejemplo 2; Solución)

Tensión de cada grupo  $V = 22 \cdot 2 = 44 V$

Intensidad de cada grupo  $I = 3.8 A$

Intensidad total de los 5 grupos  $I = 3.8 \cdot 5 = 19 A$

Teniendo en cuenta que la intensidad nominal del regulador debe ser mayor que la máxima generada por el campo

$$I \geq 19 \cdot 1.1 = 21 A$$

## 3. Componentes de la instalación

### 3.4 Asociación de los convertidores y dimensionado

- En la mayoría de las instalaciones se instala un único convertidor que atiende a toda la instalación
- En las instalaciones autónomas, la potencia del convertidor se escoge teniendo en cuenta que debe ser capaz de cubrir la demanda máxima
- En las instalaciones conectadas a la red, el criterio de elección para la potencia se basa en la máxima que puede generar el sistema FV



# FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACION

*FIN*

*¿¿¿¿PREGUNTAS????*

*GRACIAS POR SU ATENCIÓN*



# FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACION

BLOQUE I: Principios de generación y diseño de instalaciones  
fotovoltaica. Clase IV

# 4. Campo de colectores

## 4.1 Introducción (I/IV)

- Integrados



# 4. Campo de colectores

## 4.1 Introducción (II/IV)

- Estáticos



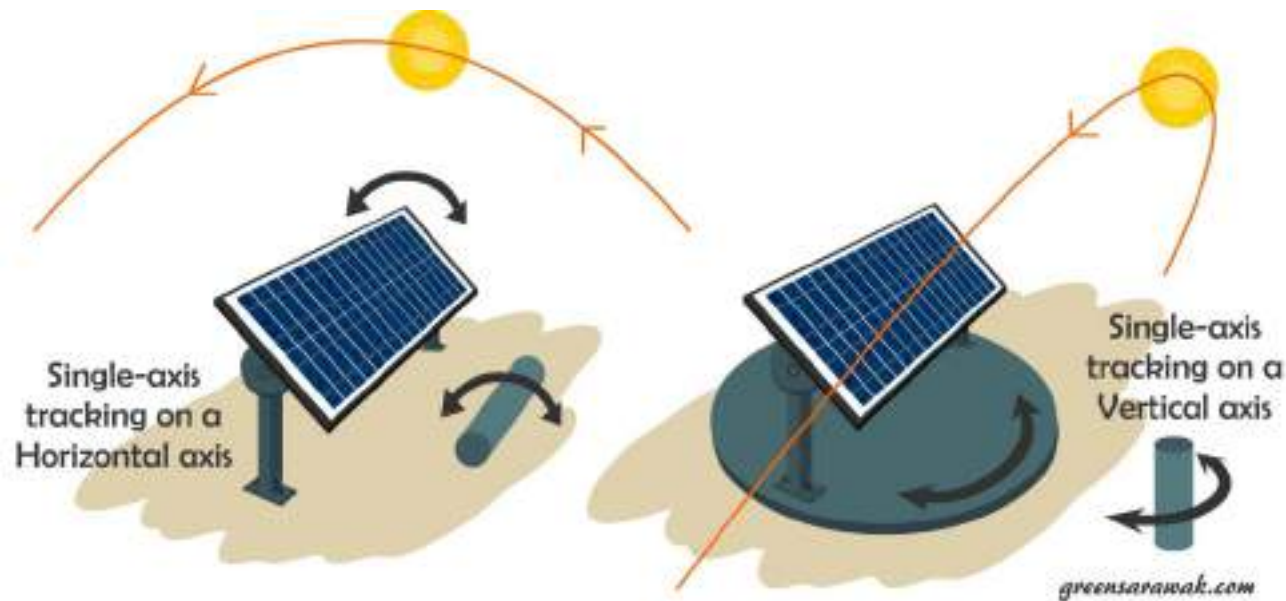
# 4. Campo de colectores

## 4.1 Introducción (III/IV)

- Orientables en una dirección

Posibilidades en función de la inclinación del giro

- Horizontal y orientado de Este a Oeste
- Inclinado y orientado de Sur a Norte en el hemisferio norte y al revés en el hemisferio Sur

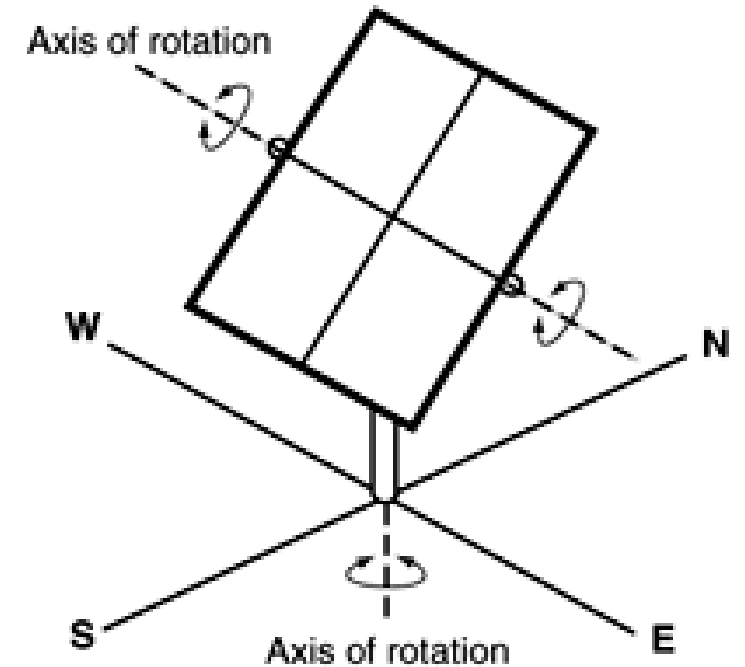
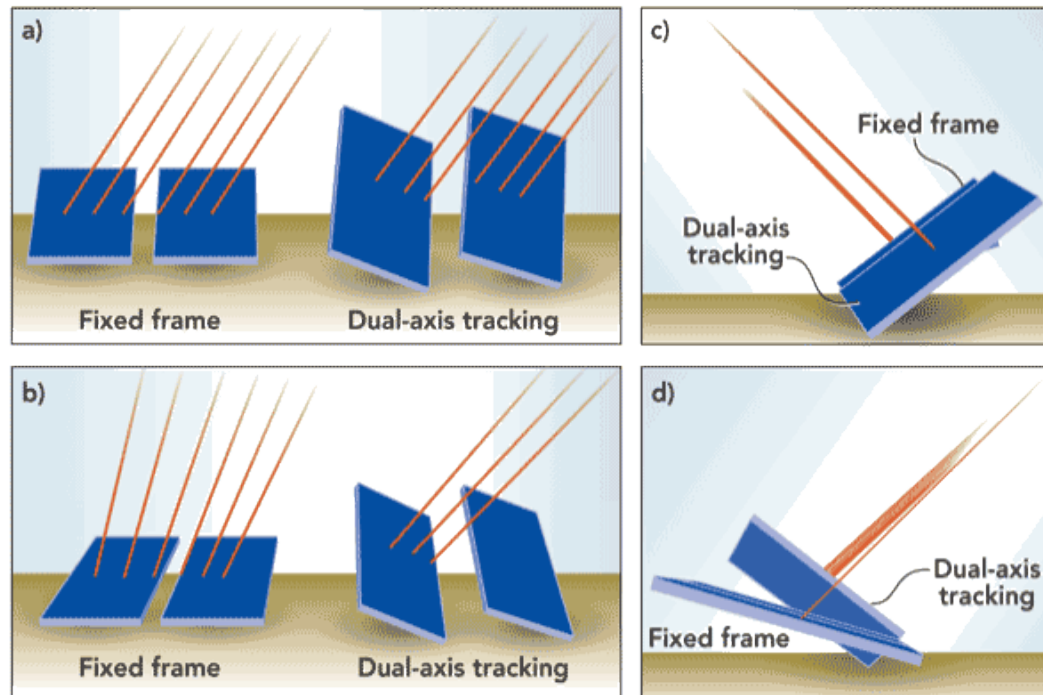


# 4. Campo de colectores

## 4.1 Introducción (IV/IV)

- Orientables en dos direcciones

Los paneles se montan sobre un chasis que puede girar alrededor de dos ejes, uno horizontal y otro vertical



**Two-axis tracking PV array**



## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

- BIPV (Building Integrated Photovoltaics)
- Instalaciones totalmente integradas y las superpuestas

## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio (I/IV)

- Cubiertas



Cubierta opaca



Cubierta translúcida y lucernarios



## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio (II/IV)

- Cerramientos verticales



- 1) Orientación fijada por el urbanismo de la zona
- 2) La sombras de edificios es más acusada
- 3) Superficie disponible muy considerable



## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio (III/IV)

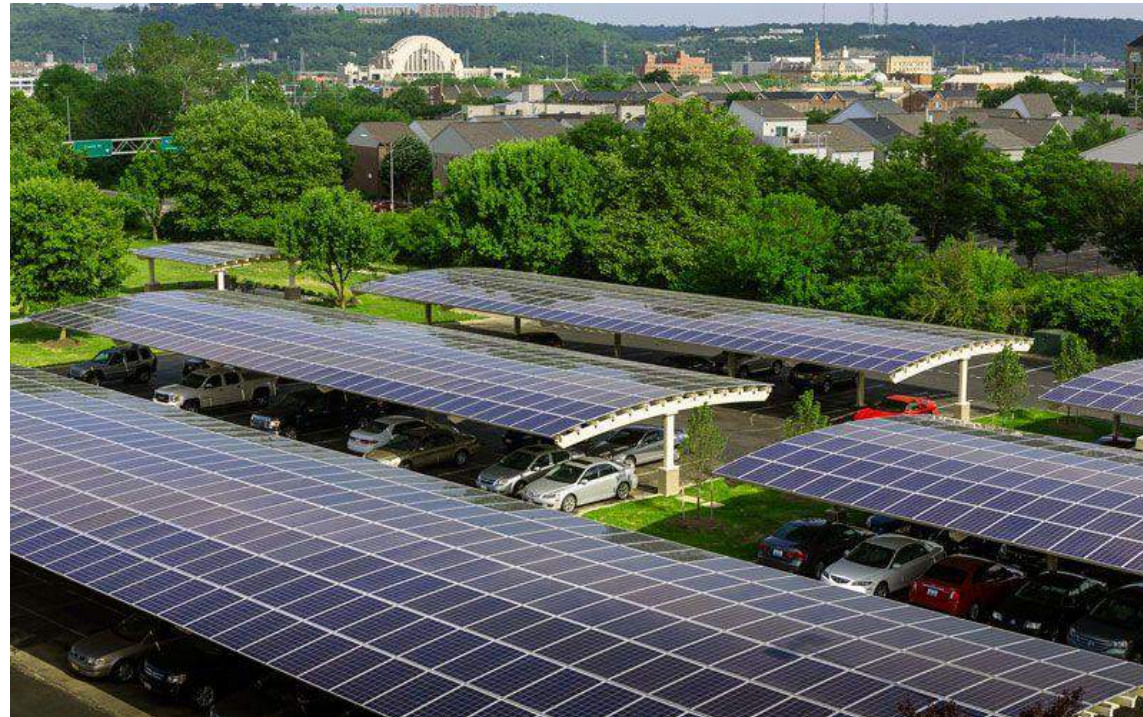
- Viseras



## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio (IV/IV)

- Tejadillos y marquesinas



## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.1 Cubiertas de edificios

Frecuentemente la única finalidad de la cubierta del edificio es protegerlo de las inclemencias del tiempo.

## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.1 Cubiertas de edificios. Cubierta opaca inclinada (I/II)

Paneles adosados a cubierta inclinada



Dirección Sur

## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.1 Cubiertas de edificios. Cubierta opaca inclinada (II/II)

Misión doble:

- Protección de las inclemencias del tiempo
- Captación de la energía solar



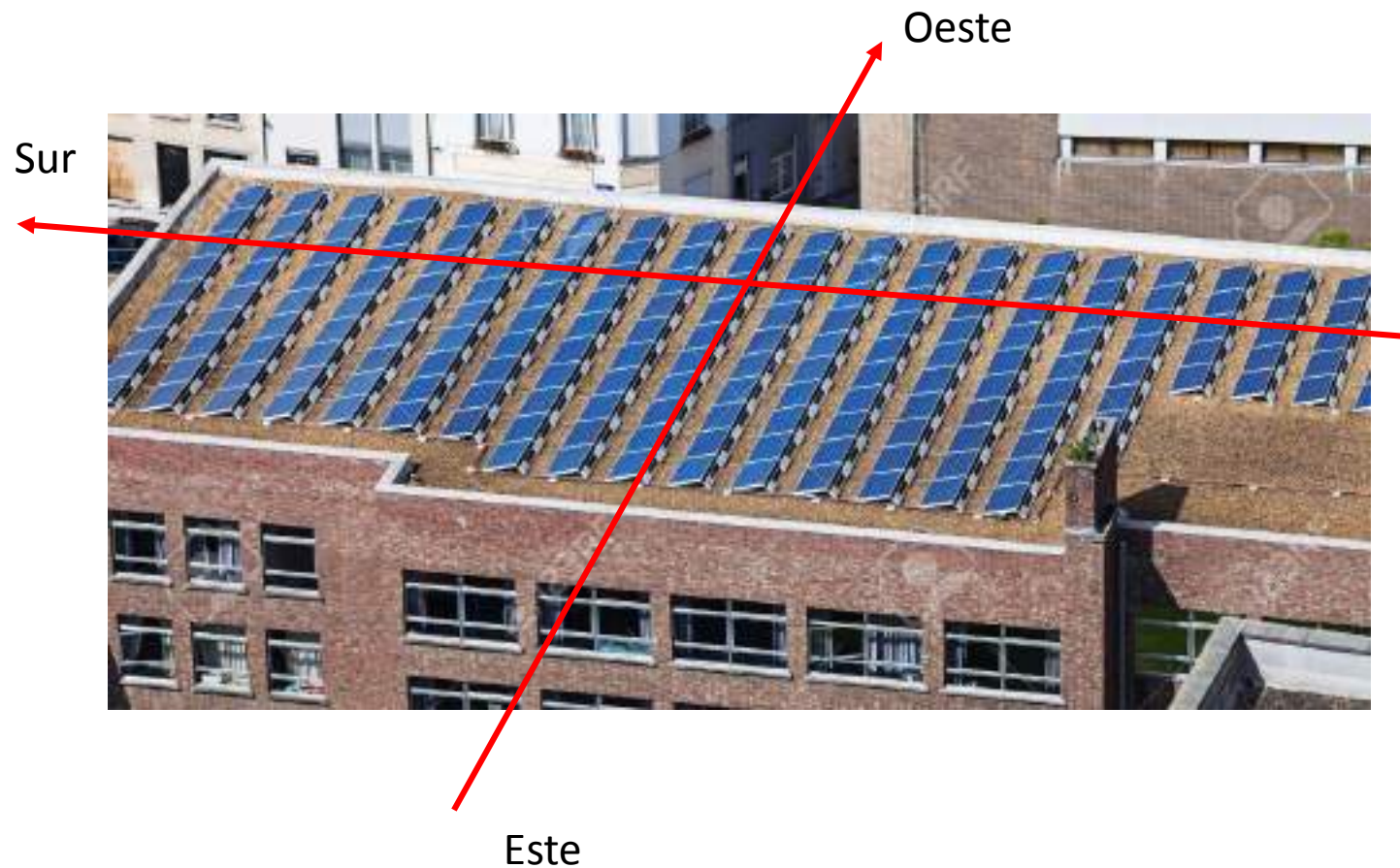
Paneles totalmente integrados en cubierta inclinada



## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.1 Cubiertas de edificios. Cubierta horizontal (I/II)



## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.1 Cubiertas de edificios. Cubierta horizontal (II/II)

$$z = (s - d) \cdot \tan(\beta_s) \quad (23)$$

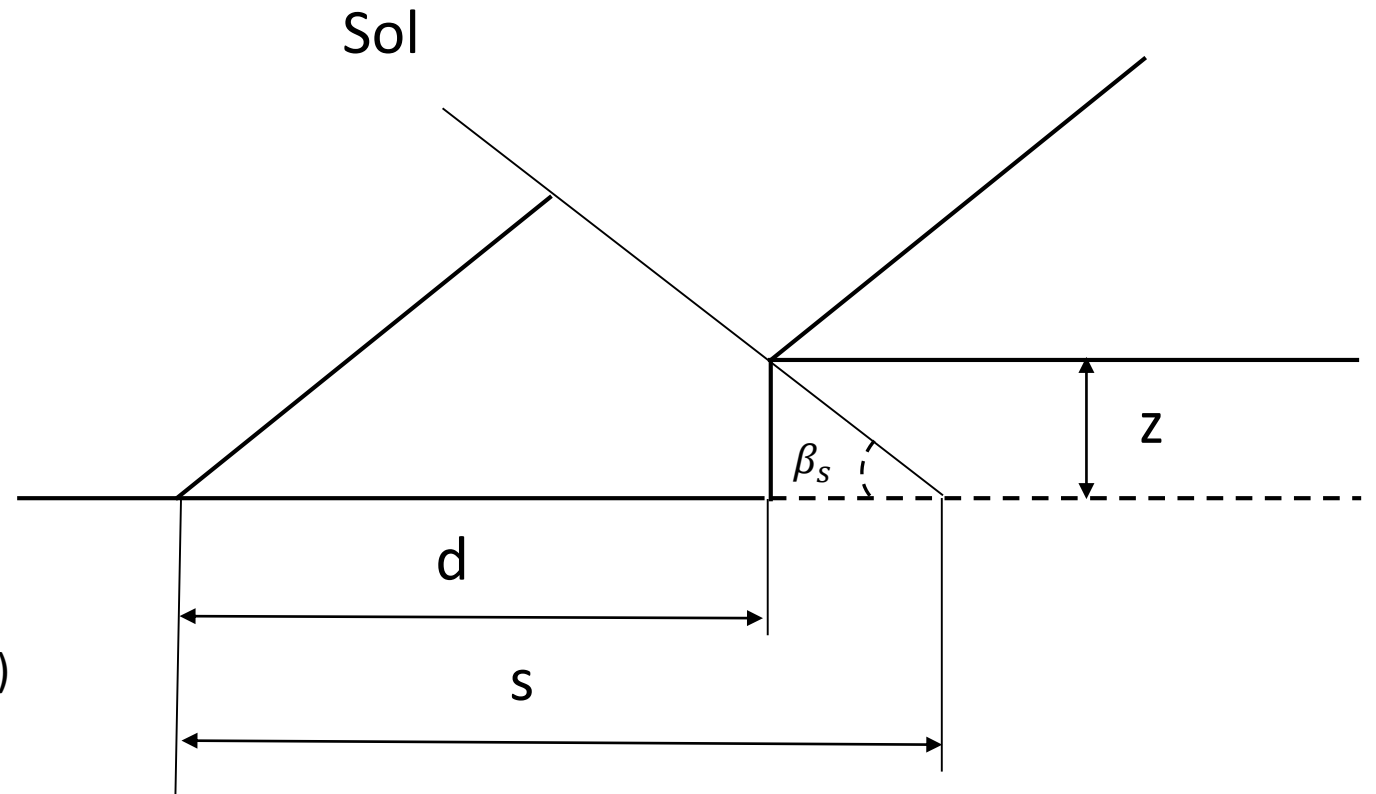
donde

$z$  = desplazamiento hacia arriba de la segunda fila (en m)

$d$  = separación entre las dos filas (en m)

$s$  = longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de la 1ª fila (en m)

$\beta_s$  = altura del Sol sobre el horizonte





## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.1 Cubiertas de edificios. Cubierta translúcida

Aplicación: almacenes, garajes, centros comerciales, instalaciones deportivas, etc.



## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.2 Cerramientos verticales

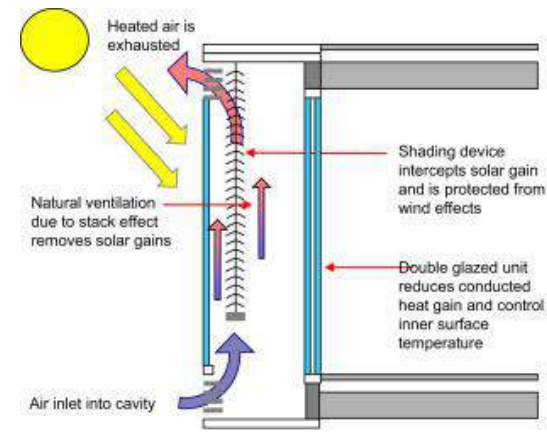
- Muro de doble pared ventilada
- Muro cortina

# 4. Campo de colectores

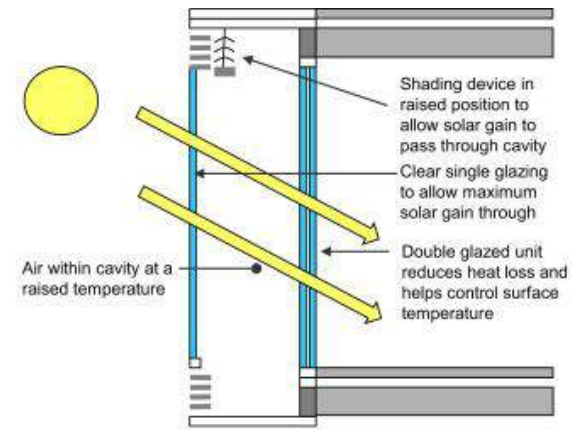
## 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

### 4.2.2 Cerramientos verticales.

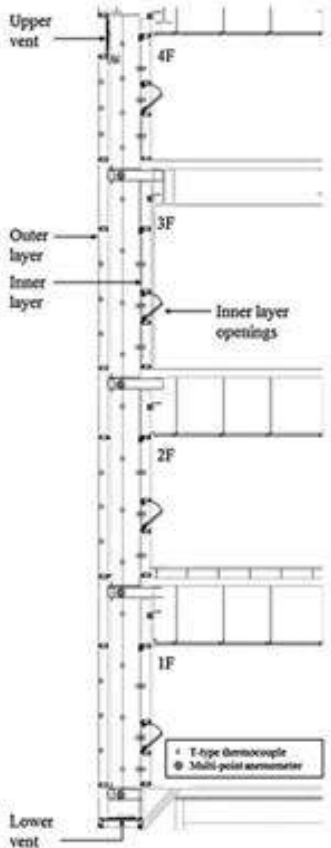
#### Muro de doble pared ventilada (I/II)



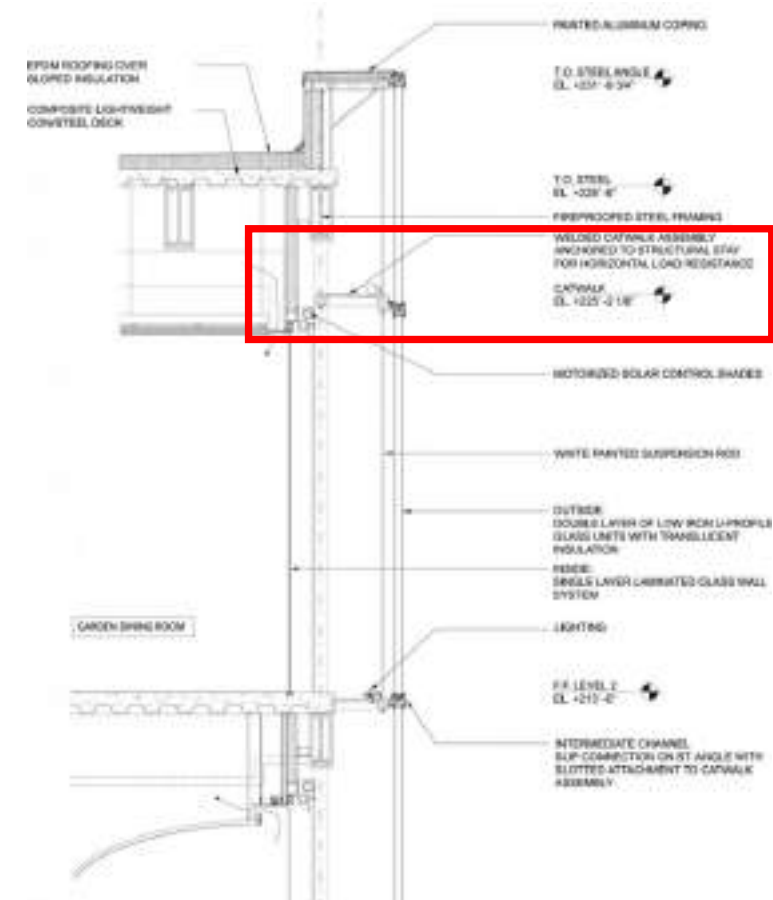
Summer Day Operation



Winter Operation



- Muro de obra
- Capa aislante térmico y barrera de vapor
- Cámara de aire
- Piel exterior

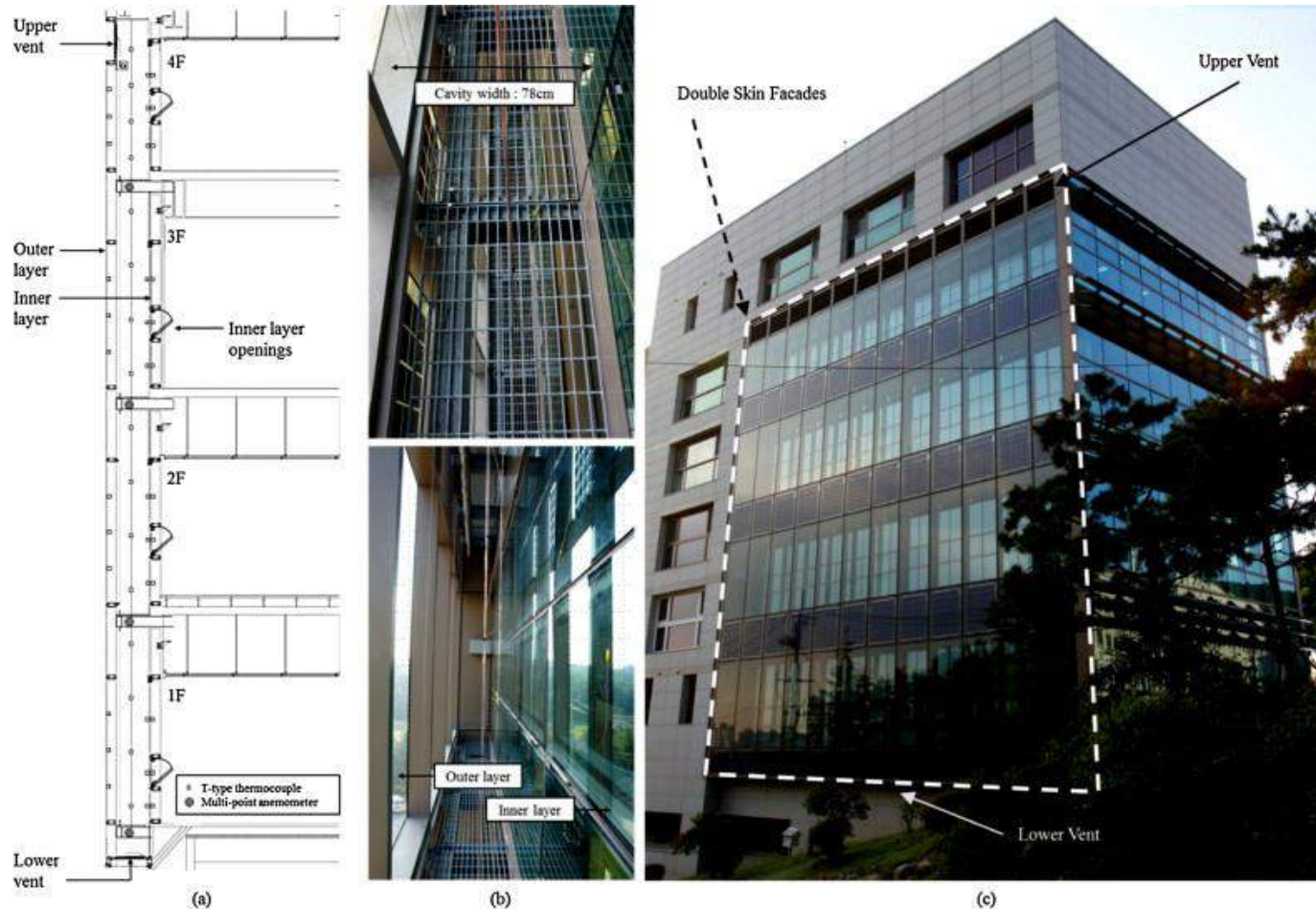


## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.2 Cerramientos verticales.

##### Muro de doble pared ventilada (II/II)



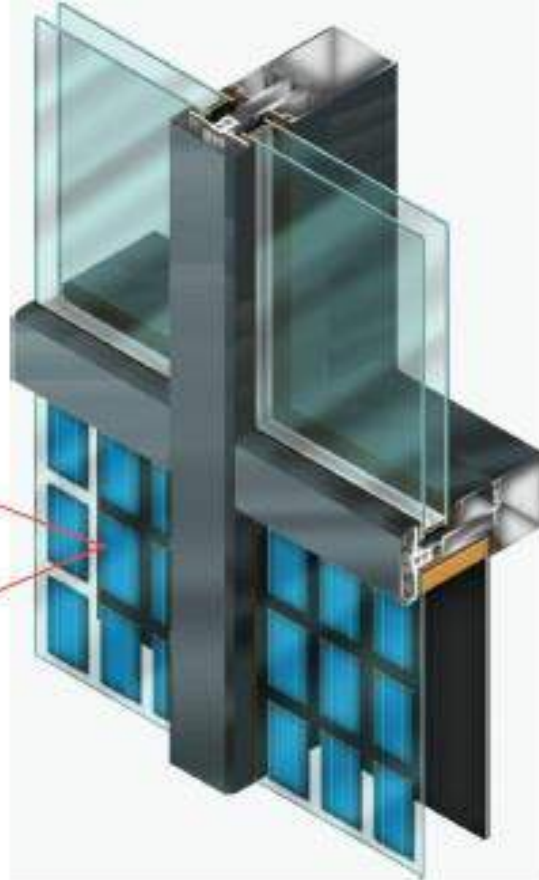
- La piel exterior protege la capa de aislante térmico
- La cámara de aire contribuye a mejorar el aislamiento térmico
- La capa de aislante térmico se mantiene seca

## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.2 Cerramientos verticales.

##### Muro cortina(I/II)



- 1) Estructura ligera
- 2) No debe soportar esfuerzos debidos a peso y tensiones de la estructura del edificio
- 3) Solo debe soportar esfuerzos debidos a la acción del viento y a su propio peso

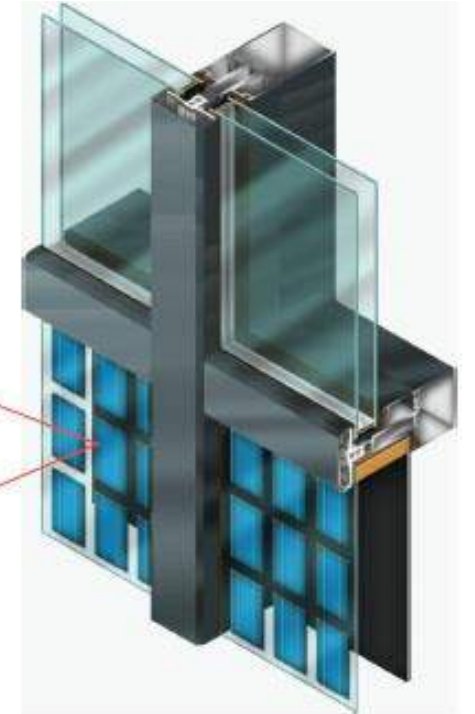
## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.2 Cerramientos verticales.

##### Muro cortina(II/II)

- Reduce la carga del edificio
- Reducción del tiempo empleado en la construcción del edificio
- Reducción de la carga térmica
- Reducción del gasto en iluminación artificial
- La capa exterior es un buen soporte de los paneles fotovoltaicos



## 4. Campo de colectores

### 4.2 Instalación integrada (BIPV) o superpuesta a un edificio

#### 4.2.3 Datos de sistemas integrados construidos

Edificio	Características	Potencia (kWp)	Energía (MWh/año)	Horas/año	Horas/día
<b>Bahía de Cádiz (San Fernando)</b>	Paneles en fachada	6.9	8.72	1264	3.46
<b>Edificio Bioclimático Trasluz (Madrid)</b>	Paneles en cubierta	20	20	1000	2.74
<b>Centro comercial (Madrid)</b>	Cubierta y lucernarios	100.388	141	1410	3.86
<b>Torre Gaena (Alcalá de Henares)</b>	Lamas en fachada-cubierta	75.84	98.6	1300	3.56
<b>CEIP Falguera (St. Feliu de Llobregat)</b>	Lamas en fachada	3.4	4.925	1450	3.977
<b>Estación de Servicio (Tona, Osona)</b>	Cubierta	12.9	19.5	1512	4.14
<b>IES Agustí Ballera (Granollers)</b>	Lamas en fachada	3.06	3.8	1242	3.40
<b>Museu de la Ciència i de la Técnica (Terrasa)</b>	Paneles en fachada	39.7	40	1008	2.76
<b>Parking Bergé i Cia (Puerto de Tarragona)</b>	Paneles en cubierta	317.2	390	1230	3.37
<b>Ayuntamiento (Barcelona)</b>	Cubierta	39.5	40	1013	2.78

## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

- 1) Ubicación de los paneles
- 2) Estimación de la generación anual de energía
- 3) Anclaje de los paneles



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (I/II)

- En una superficie horizontal una fila hará sombra sobre la que está situada detrás
- Si las filas se sitúan muy separadas se ocupará una gran superficie horizontal
- Si las filas están más juntas aumentará el número de horas de sombra
- Solución de compromiso

## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (II/II)

- Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a la red del IDAE
- [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_5654\\_FV\\_pliego\\_condiciones\\_tecnicas\\_instalaciones\\_conectadas\\_a\\_red\\_C20\\_Julio\\_2011\\_3498eaaf.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf)
- En el solsticio de invierno y durante cuatro horas alrededor de las 12 horas solares, una fila no proyecte sombra sobre la siguiente

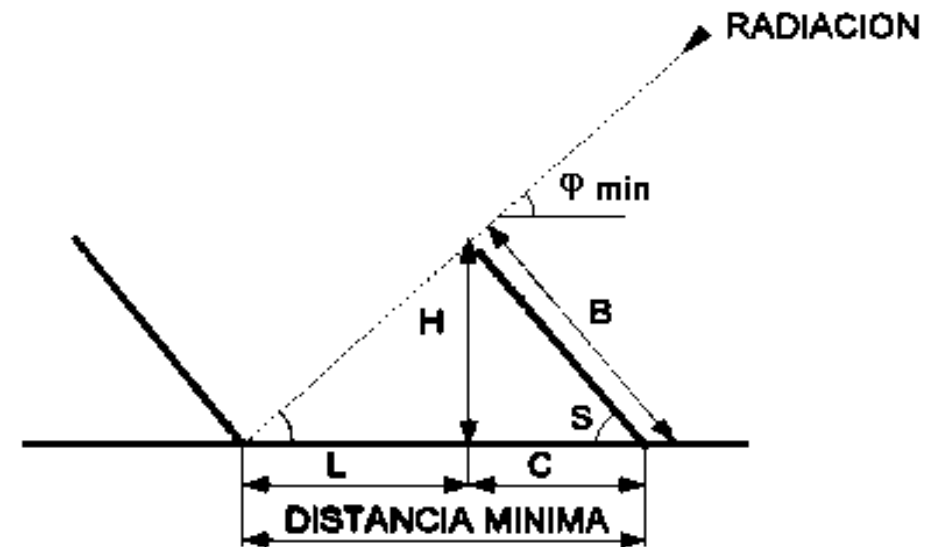
$$I = h / \tan(61 - \textit{latitud}) \quad (1)$$

donde

$I$  separación entre filas (en m)

$h$  distancia entre el vértice más elevado de la fila anterior y el suelo (en m)

$\textit{latitud}$  latitud expresada en grados sexagesimales



Separación entre placas

4. Campo de colectores

4.3 Separación entre paneles estáticos

4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal  
(Ejemplo numérico 1)

**Calcular la separación entre filas de paneles FV, si todos ellos tienen una altura de 1.8 m y están instalados, sobre un chasis, a 0.20 m del suelo, orientados a sur y con una inclinación de  $32^\circ$  respecto de la horizontal. La latitud del lugar es  $42^\circ$ .**

## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 1; Pasos)

##### MÉTODO IDAE

Paso 1:  $h = B \cdot \sin(s)$

Paso 2:  $I = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})}$

donde

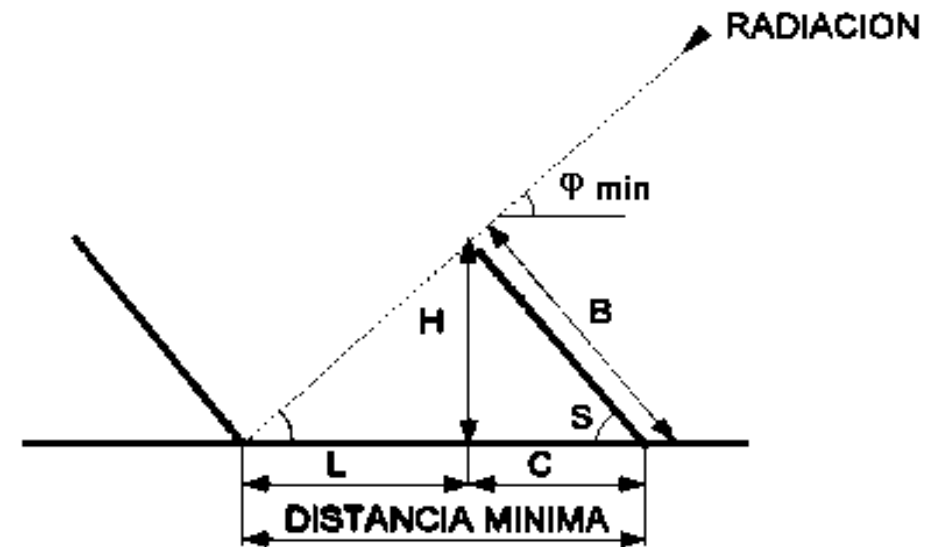
$I$  separación entre filas (en m)

$h$  distancia entre el vértice más elevado de la fila anterior y el suelo (en m)

$\text{latitud}$  latitud expresada en grados sexagesimales

$B$  altura del panel (en m)

$s$  inclinación del panel respecto de la horizontal (en grados sexagesimales)



Separación entre placas

## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 1; Pasos)

##### MÉTODO CLASES ANTERIORES

Paso 3:  $h = a \cdot \sin(\beta) = 1.8 \cdot \sin(32) = 0.954 \text{ m}$  (17)

Paso 4:  $c = a \cdot \cos(\beta) = 1.8 \cdot \cos(32) = 1.526 \text{ m}$  (18)

Paso 5:  $s = a \cdot [\cos(\beta) + \sin(\beta)/\tan(\beta_s)]$  (19)

Paso 6:  $\text{Distancia} = s - c$

donde:

$h$  (= A – C) altura de la fila de paneles (en m)

$a$  (= A – B) altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

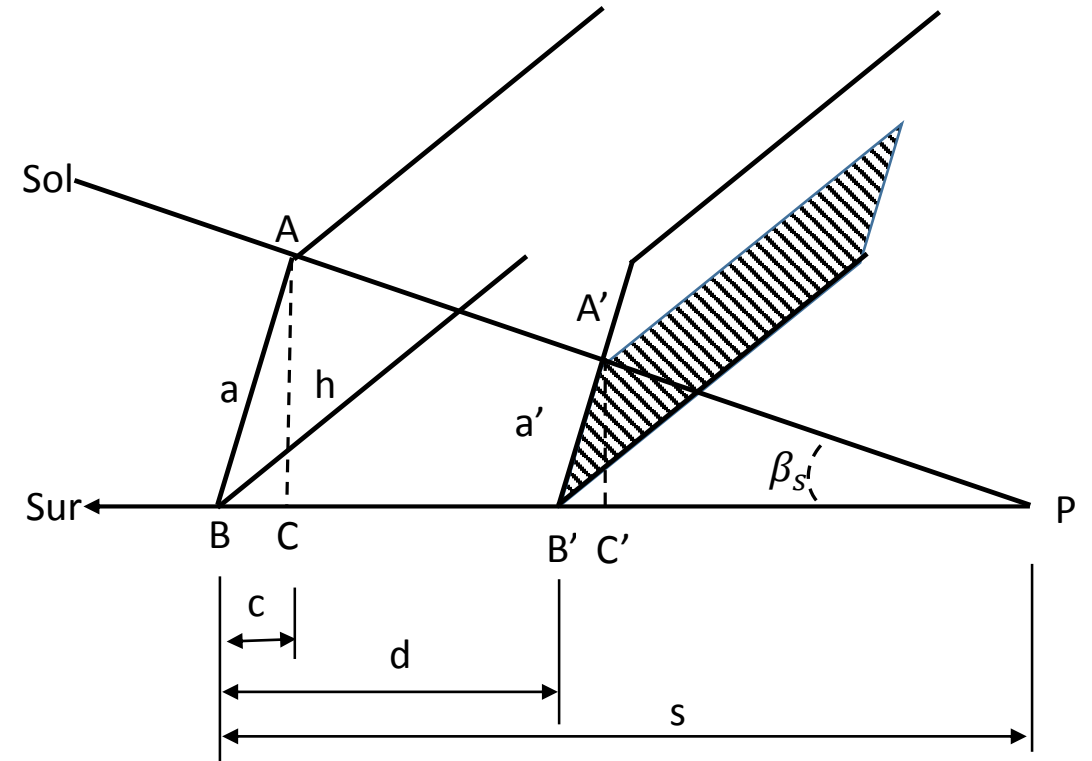
$c$  (= B – C) ancho de la base de la fila de paneles

$s$  (= B – P) longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de la 1ª fila

$\beta_s$  (=) altura del Sol sobre el horizonte

$a'$  (= A' – B') altura de la sombra medida sobre el plano de la 2ª fila de paneles

$d$  (= B – B') separación entre las dos filas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 1; Pasos)

##### MÉTODO IDAE

Paso 1:  $h = B \cdot \sin(s)$

Paso 2:  $I = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})}$

donde

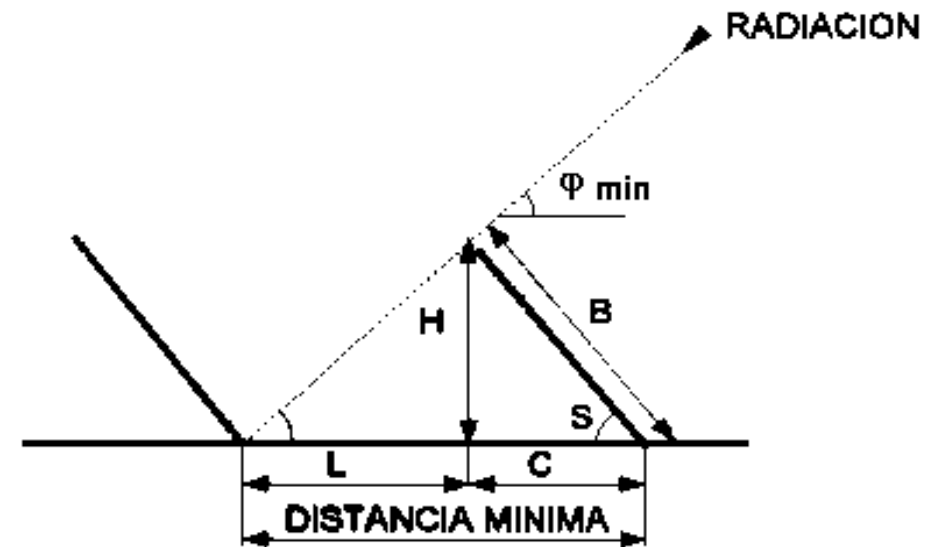
$I$  separación entre filas (en m)

$h$  distancia entre el vértice más elevado de la fila anterior y el suelo (en m)

$\text{latitud}$  latitud expresada en grados sexagesimales

$B$  altura del panel (en m)

$s$  inclinación del panel respecto de la horizontal (en grados sexagesimales)



Separación entre placas

## 4. Campo de colectores

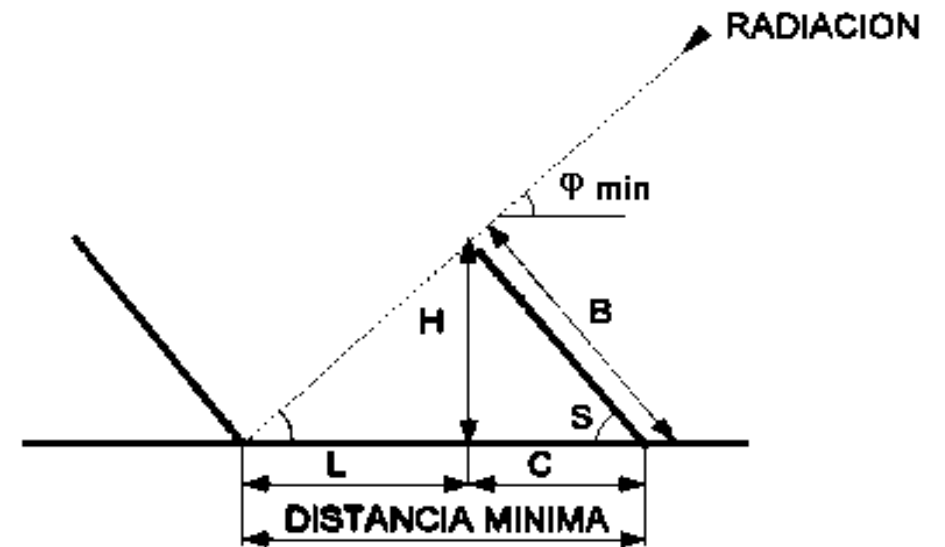
### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 1; Solución I/III)

$$h = B \cdot \sin s = 1.8 \cdot \sin(32) = 0.954 \text{ m}$$

donde

- $I$  separación entre filas (en m)
- $h$  distancia entre el vértice más elevado de la fila anterior y el suelo (en m)
- $latitud$  latitud expresada en grados sexagesimales
- $B$  altura del panel (en m)
- $s$  inclinación del panel respecto de la horizontal (en grados sexagesimales)



Separación entre placas

## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 1; Pasos)

##### MÉTODO IDAE

Paso 1:  $h = B \cdot \sin(s)$

Paso 2:  $I = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})}$

donde

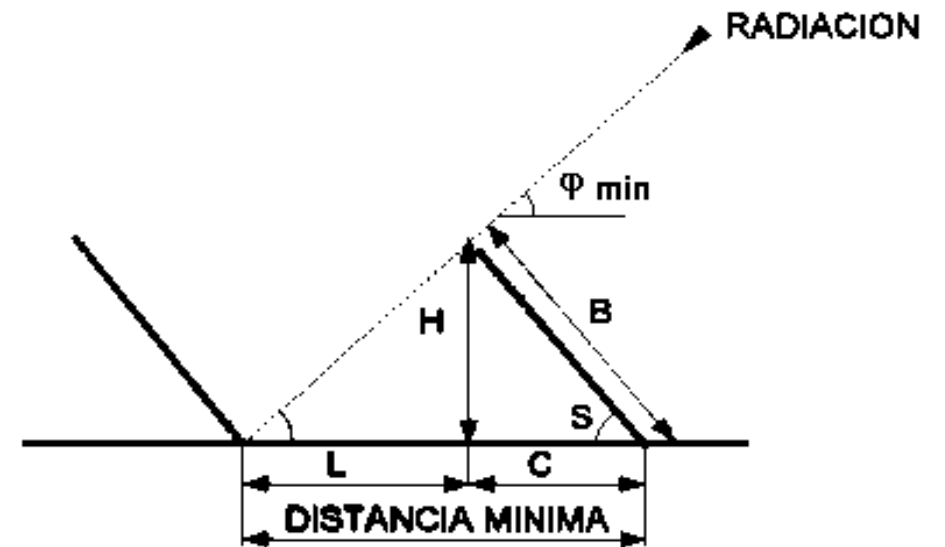
$I$  separación entre filas (en m)

$h$  distancia entre el vértice más elevado de la fila anterior y el suelo (en m)

$\text{latitud}$  latitud expresada en grados sexagesimales

$B$  altura del panel (en m)

$s$  inclinación del panel respecto de la horizontal (en grados sexagesimales)



Separación entre placas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 1; Solución II/III)

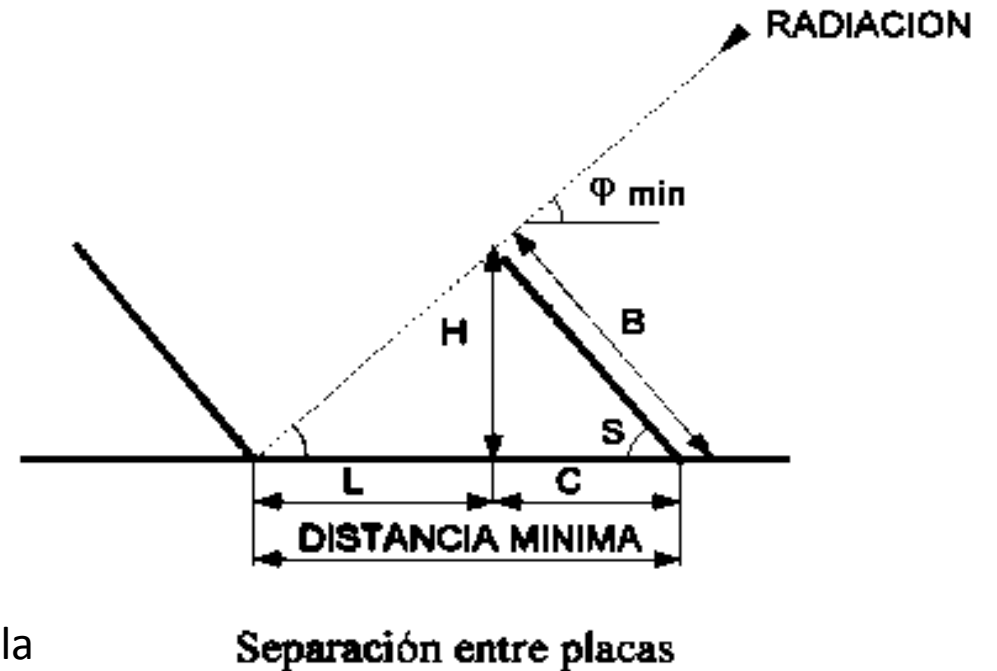
$$I = \frac{h}{\tan(61 - \textit{latitud})} = \frac{0.954}{\tan(61 - 42)} = 2.771 \text{ m} \quad (1)$$

donde

$I$  separación entre filas (en m)

$h$  distancia entre el vértice más elevado de la fila anterior y el suelo (en m)

$\textit{latitud}$  latitud expresada en grados sexagesimales



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 1; Pasos)

##### MÉTODO CLASES ANTERIORES

Paso 3:  $h = a \cdot \sin(\beta) = 1.8 \cdot \sin(32) = 0.954 \text{ m}$  (17)

Paso 4:  $c = a \cdot \cos(\beta) = 1.8 \cdot \cos(32) = 1.526 \text{ m}$  (18)

Paso 5:  $s = a \cdot [\cos(\beta) + \sin(\beta)/\tan(\beta_s)]$  (19)

Paso 6:  $\text{Distancia} = s - c$

donde:

$h$  (= A – C) altura de la fila de paneles (en m)

$a$  (= A – B) altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

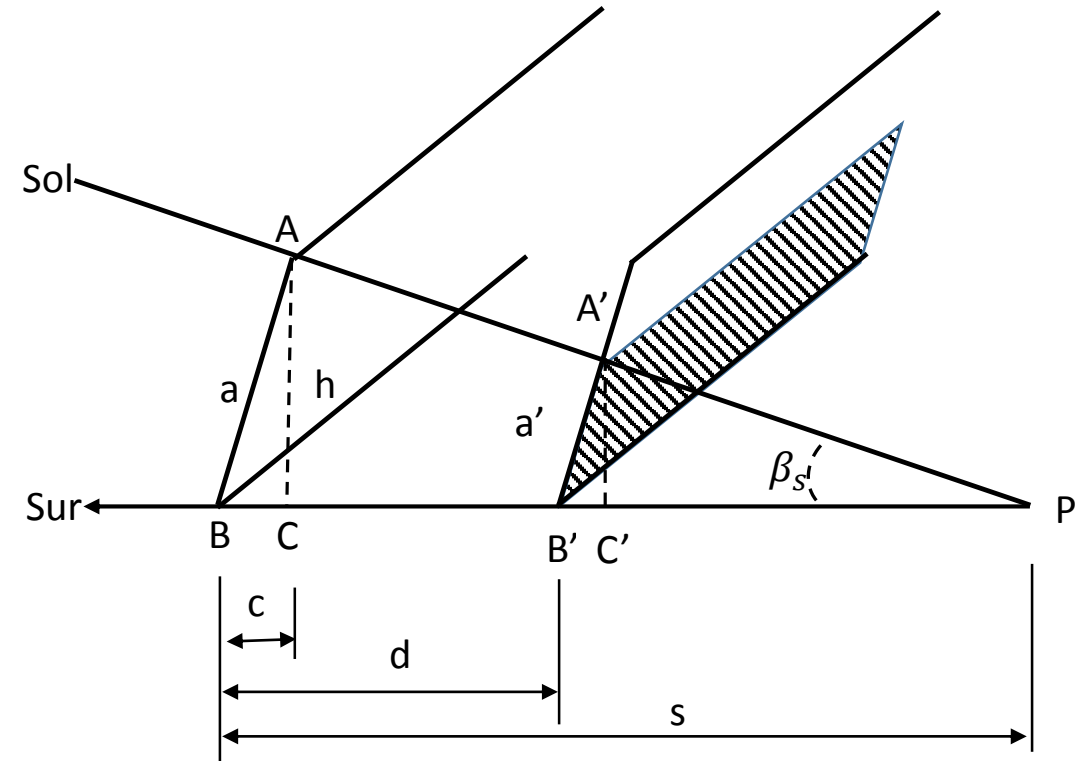
$c$  (= B – C) ancho de la base de la fila de paneles

$s$  (= B – P) longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de la 1ª fila

$\beta_s$  (=) altura del Sol sobre el horizonte

$a'$  (= A' – B') altura de la sombra medida sobre el plano de la 2ª fila de paneles

$d$  (= B – B') separación entre las dos filas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal

(Ejemplo numérico 1; Solución III/III)

$$h = a \cdot \sin(\beta) = 1.8 \cdot \sin(32) = 0.954 \text{ m} \quad (17)$$

$$c = a \cdot \cos(\beta) = 1.8 \cdot \cos(32) = 1.526 \text{ m} \quad (18)$$

donde:

$h$  (= A – C) altura de la fila de paneles (en m)

$a$  (= A – B) altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

$c$  (= B – C) ancho de la base de la fila de paneles

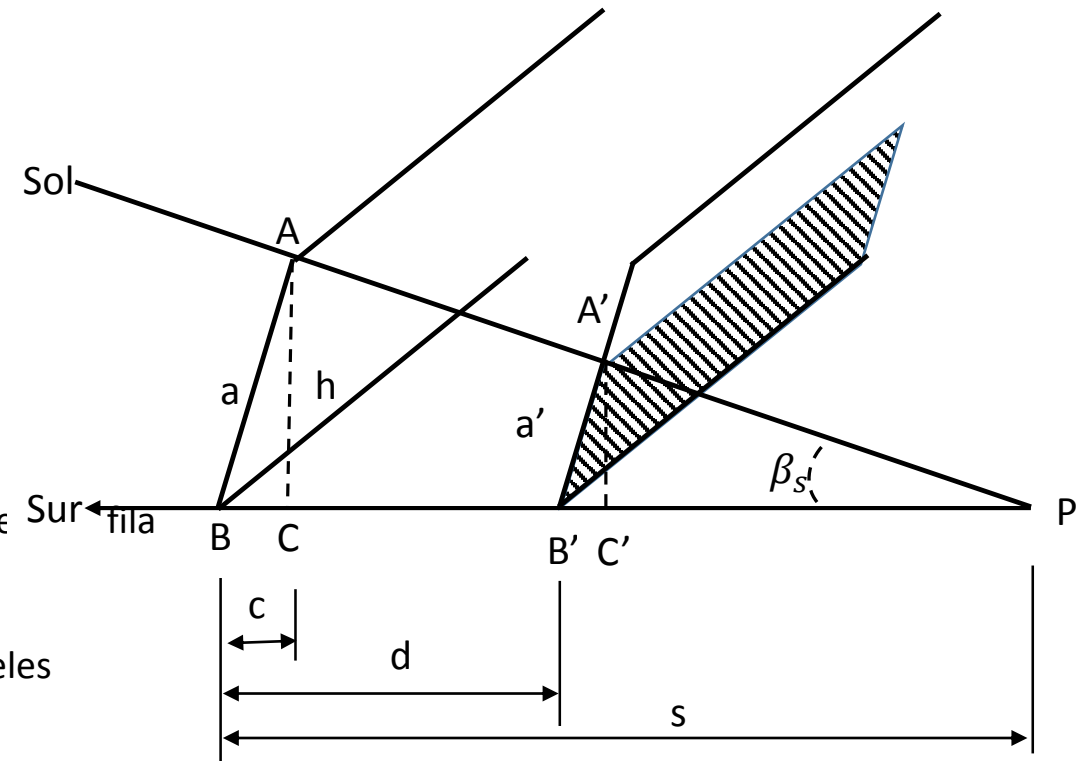
$s$  (= B – P) longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de Sur ← fila

$\beta_s$  (=) altura del Sol sobre el horizonte

$a'$  (= A' – B') altura de la sombra medida sobre el plano de la 2ª fila de paneles

$d$  (= B – B') separación entre las dos filas

$$\text{Distancia} = s - c = 4.147 - 1.526 = 2.621 \text{ m}$$



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 1; Pasos)

##### MÉTODO CLASES ANTERIORES

Paso 3:  $h = a \cdot \sin(\beta) = 1.8 \cdot \sin(32) = 0.954 \text{ m}$  (17)

Paso 4:  $c = a \cdot \cos(\beta) = 1.8 \cdot \cos(32) = 1.526 \text{ m}$  (18)

Paso 5:  $s = a \cdot [\cos(\beta) + \sin(\beta)/\tan(\beta_s)]$  (19)

Paso 6: *Distancia* =  $s - c$

donde:

$h$  (= A – C) altura de la fila de paneles (en m)

$a$  (= A – B) altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

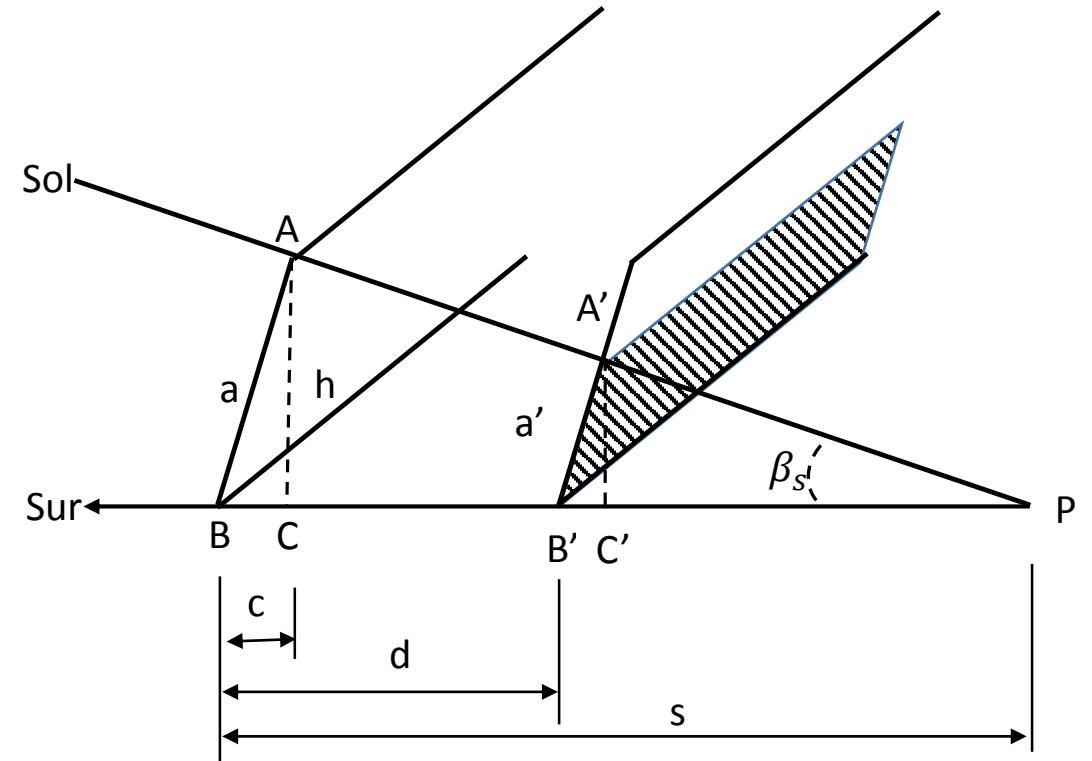
$c$  (= B – C) ancho de la base de la fila de paneles

$s$  (= B – P) longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de la 1ª fila

$\beta_s$  (=) altura del Sol sobre el horizonte

$a'$  (= A' – B') altura de la sombra medida sobre el plano de la 2ª fila de paneles

$d$  (= B – B') separación entre las dos filas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal

(Ejemplo numérico 1; Solución III/III)

$$s = a \cdot [\cos(\beta) + \sin(\beta)/\tan(\beta_s)] \quad (19)$$

$$s = 1.8 \cdot [\cos(32) + \sin(32)/\tan(20)] = 4.147 \text{ m}$$

$$a' = a \cdot (1 - d/s) \quad (20)$$

donde:

$h$  (= A - C) altura de la fila de paneles (en m)

$a$  (= A - B) altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

$c$  (= B - C) ancho de la base de la fila de paneles

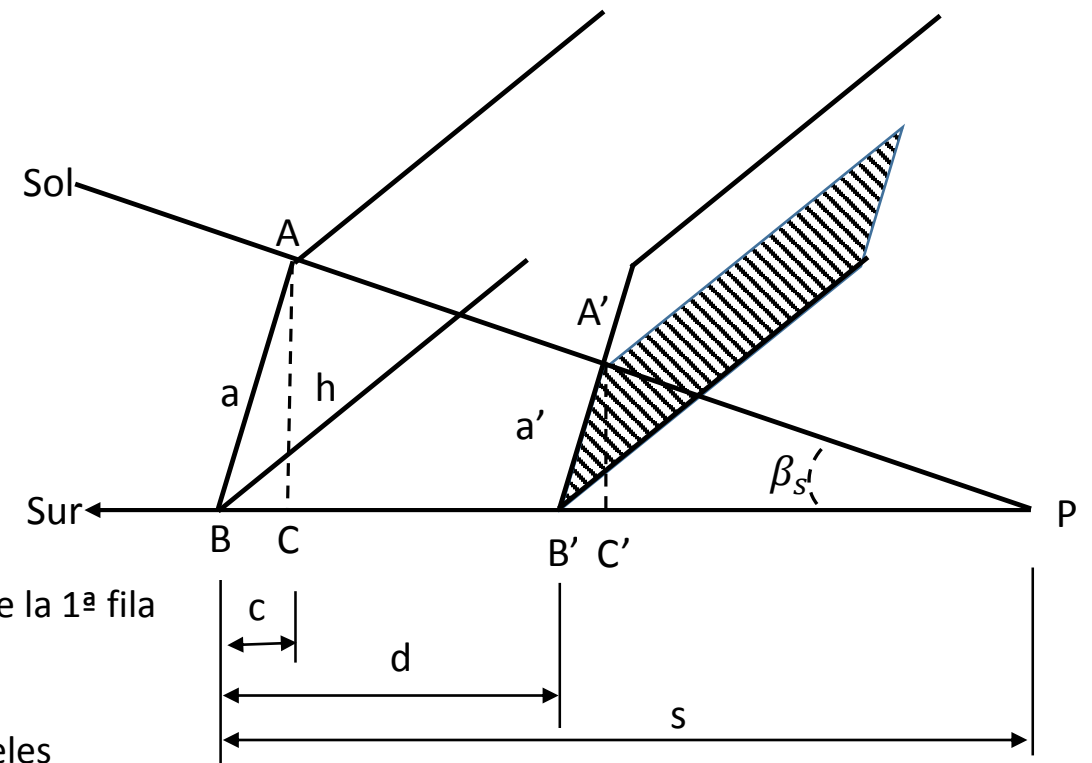
$s$  (= B - P) longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de la 1ª fila

$\beta_s$  (=) altura del Sol sobre el horizonte

$a'$  (= A' - B') altura de la sombra medida sobre el plano de la 2ª fila de paneles

$d$  (= B - B') separación entre las dos filas

$$\text{Distancia} = s - c = 4.147 - 1.526 = 2.621 \text{ m}$$



4. Campo de colectores

4.3 Separación entre paneles estáticos

4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal  
(Ejemplo numérico 2)

**En la instalación del ejemplo numérico anterior, se dispone de una longitud de 12 m para instalar 4 filas de paneles. Calcular si este número de filas caben en esta longitud y el escalonamiento entre filas, si no caben.**

## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Pasos I/III)

**Paso 1:**  $c = a \cdot \cos(\beta)$

**Paso 2:**  $d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})}$

**Paso 3:**  $L = (c + d) \cdot (n - 1) + c$

donde:

$c$  ancho de la base de la fila de paneles

$a$  altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

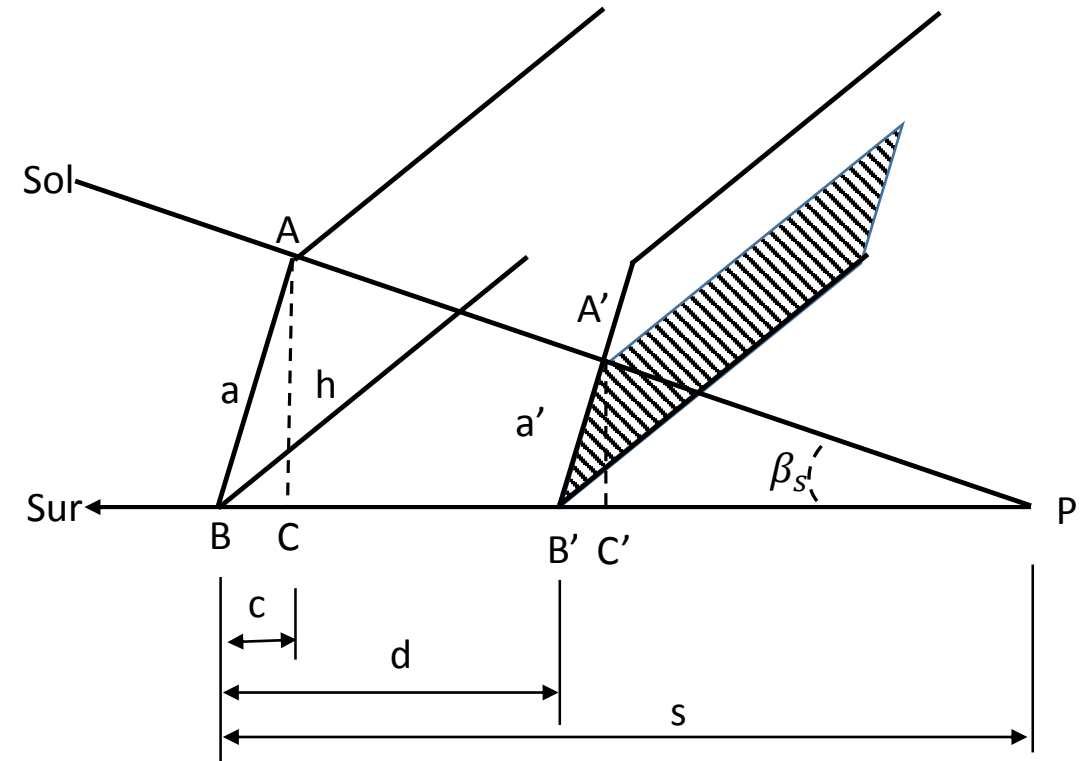
$d$  separación entre las dos filas

$h$  altura de la fila de paneles (en m)

$L$  longitud ocupada por todas las filas (en m)

$d$  separación entre las dos filas (en m)

$n$  número de filas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Pasos II/III)

**Paso 4:**  $d = (li - c)/(n - 1)$

**Paso 5:**  $l = d - c$

donde:

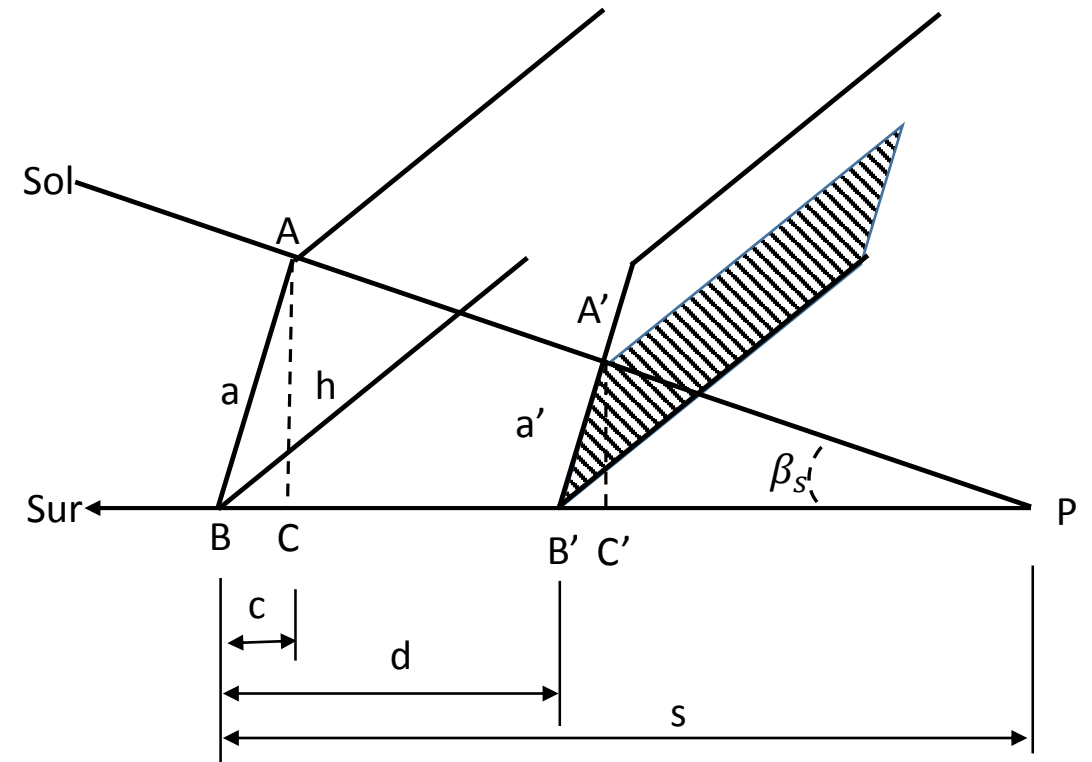
$d (= B - B')$  separación entre las dos filas (en m)

$li$  longitud para instalar las filas de los paneles (en m)

$c (= B - C)$  ancho de la base de la fila de paneles (en m)

$n$  número de filas

$l$  distancia entre filas (en m)





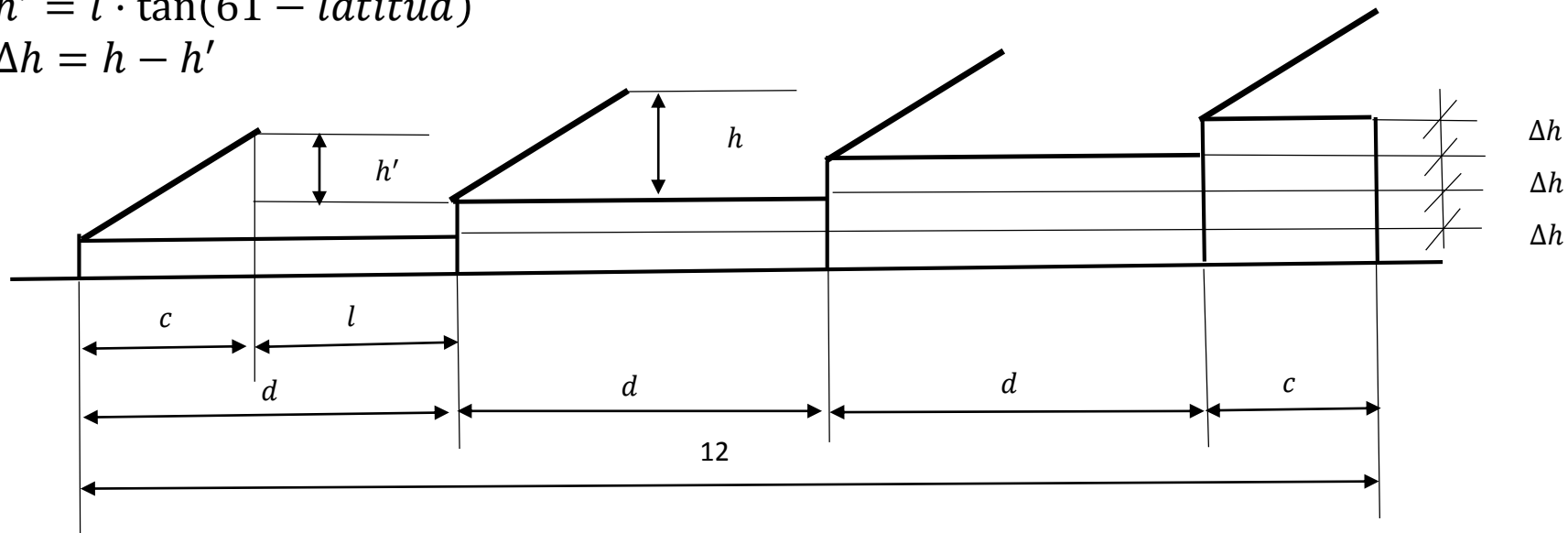
## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Pasos III/III)

**Paso 6:**  $h' = l \cdot \tan(61 - \text{latitud})$

**Paso 7:**  $\Delta h = h - h'$



donde

$h'$  altura ficticia del panel (en m)

$l$  separación entre filas (en m)

$\Delta h$  altura del escalón entre una fila y la siguiente (en m)

$h$  altura de la fila de paneles (en m)

## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Pasos I/III)

**Paso 1:**  $c = a \cdot \cos(\beta)$

**Paso 2:**  $d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})}$

**Paso 3:**  $L = (c + d) \cdot (n - 1) + c$

donde:

$c$  ancho de la base de la fila de paneles

$a$  altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

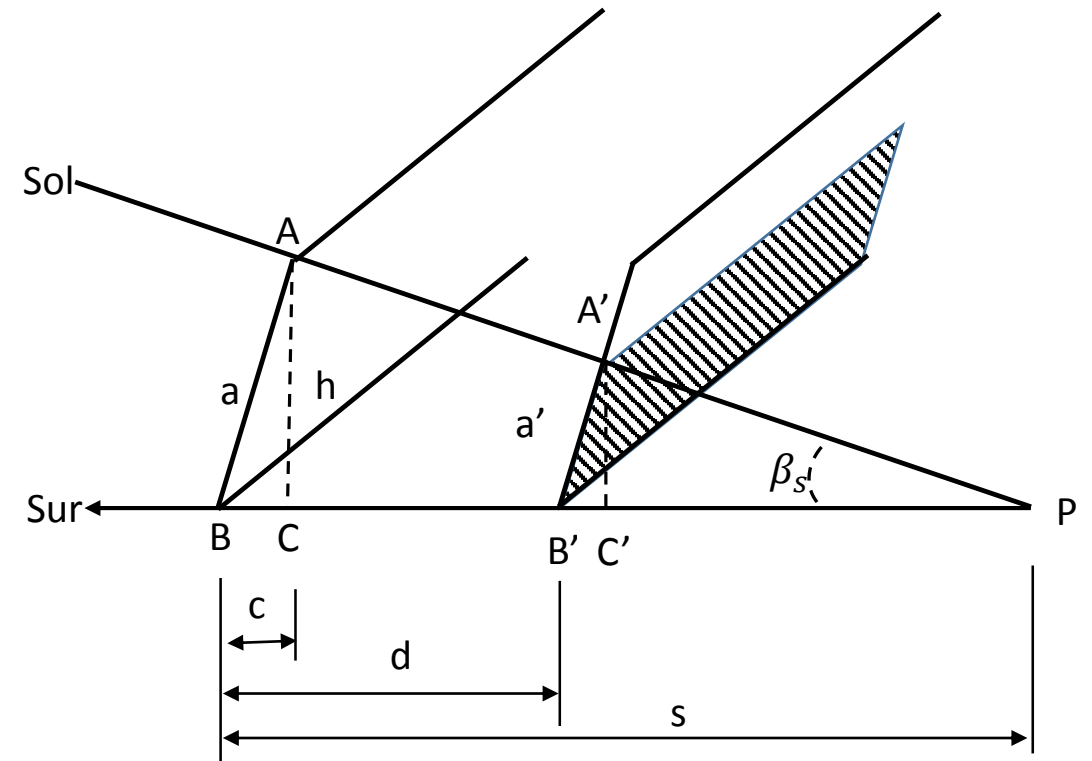
$d$  separación entre las dos filas

$h$  altura de la fila de paneles (en m)

$L$  longitud ocupada por todas las filas (en m)

$d$  separación entre las dos filas (en m)

$n$  número de filas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Solución I/VII)

$$c = a \cdot \cos(\beta) = 1.8 \cdot \cos(32) = 1.526 \text{ m} \quad (18)$$

donde:

$c$  (= B – C) ancho de la base de la fila de paneles

$a$  (= A – B) altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

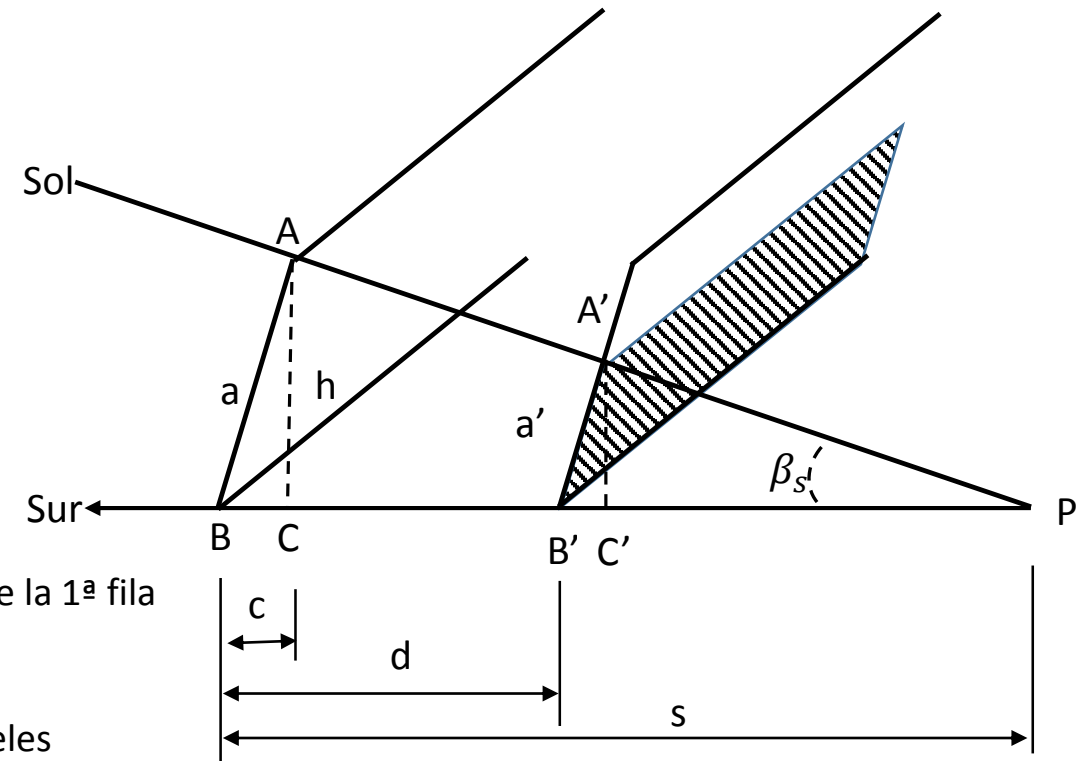
$h$  (= A – C) altura de la fila de paneles (en m)

$s$  (= B – P) longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de la 1ª fila

$\beta_s$  (=) altura del Sol sobre el horizonte

$a'$  (= A' – B') altura de la sombra medida sobre el plano de la 2ª fila de paneles

$d$  (= B – B') separación entre las dos filas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Pasos I/III)

**Paso 1:**  $c = a \cdot \cos(\beta)$

**Paso 2:**  $d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})}$

**Paso 3:**  $L = (c + d) \cdot (n - 1) + c$

donde:

$c$  ancho de la base de la fila de paneles

$a$  altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

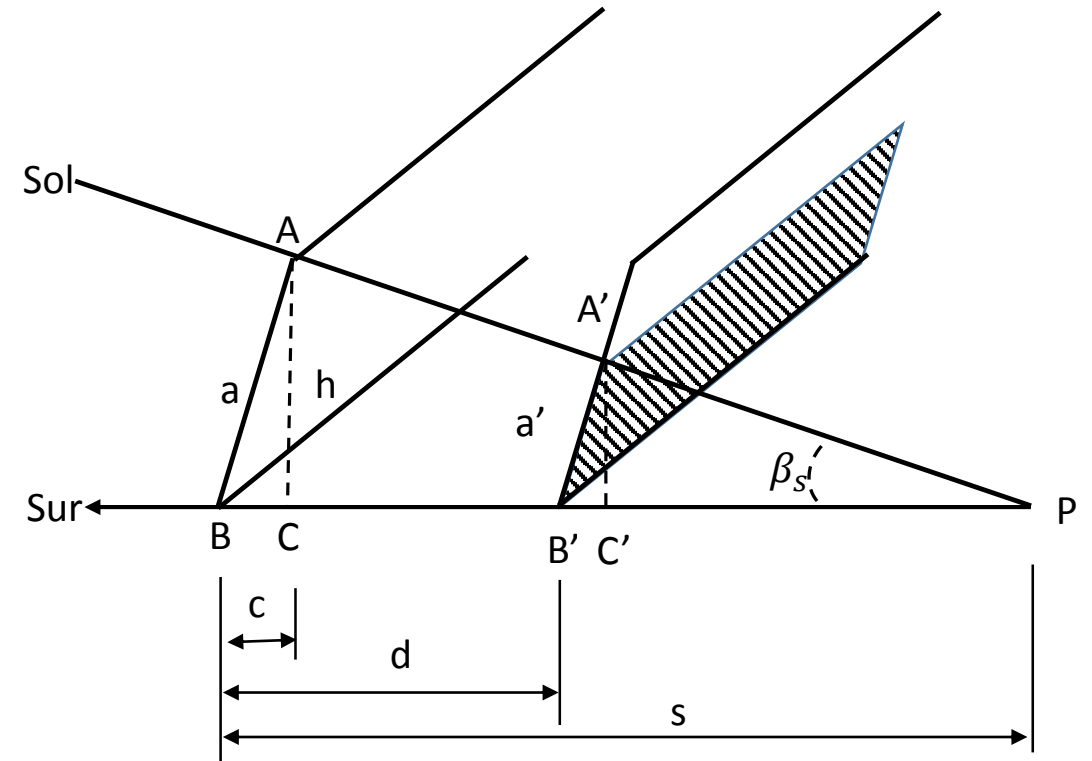
$d$  separación entre las dos filas

$h$  altura de la fila de paneles (en m)

$L$  longitud ocupada por todas las filas (en m)

$d$  separación entre las dos filas (en m)

$n$  número de filas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Solución II/VII)

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})} = \frac{0.954}{\tan(61 - 42)} = 2.771 \text{ m}$$

donde:

$d$  (=  $B - B'$ ) separación entre las dos filas

$h$  (=  $A - C$ ) altura de la fila de paneles (en m)

$a$  (=  $A - B$ ) altura del panel (en m)

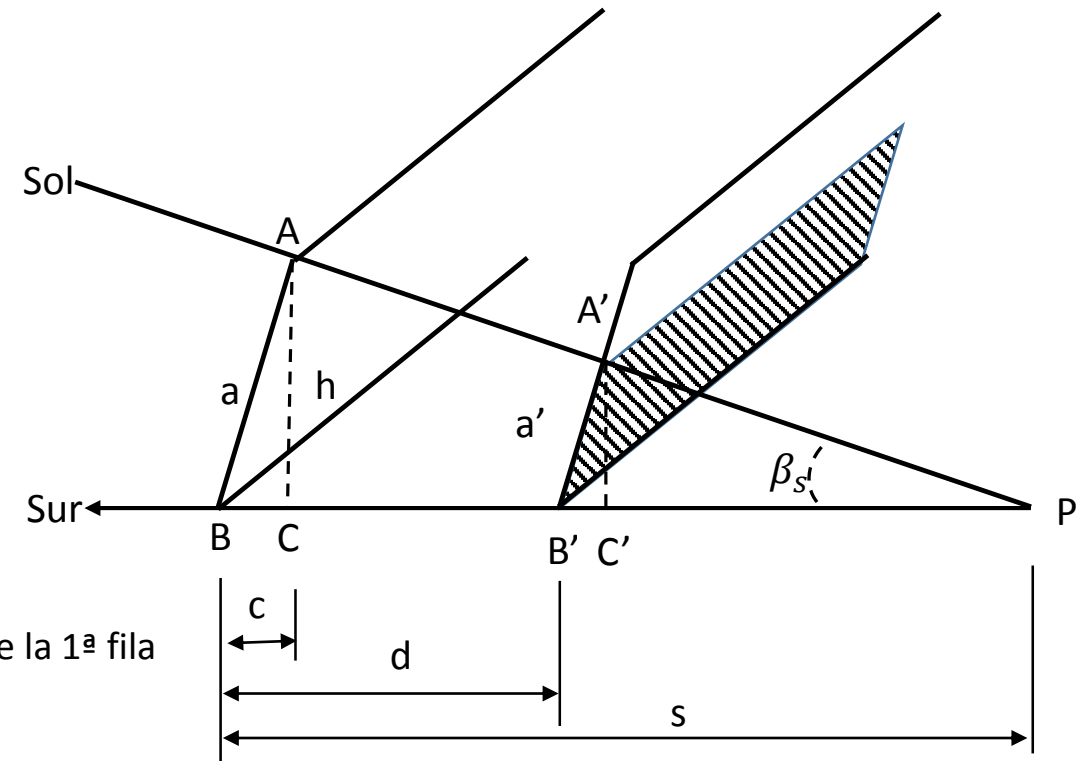
$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

$c$  (=  $B - C$ ) ancho de la base de la fila de paneles

$s$  (=  $B - P$ ) longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de la 1ª fila

$\beta_s$  (=) altura del Sol sobre el horizonte

$a'$  (=  $A' - B'$ ) altura de la sombra medida sobre el plano de la 2ª fila de paneles



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Pasos I/III)

**Paso 1:**  $c = a \cdot \cos(\beta)$

**Paso 2:**  $d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})}$

**Paso 3:**  $L = (c + d) \cdot (n - 1) + c$

donde:

$c$  ancho de la base de la fila de paneles

$a$  altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

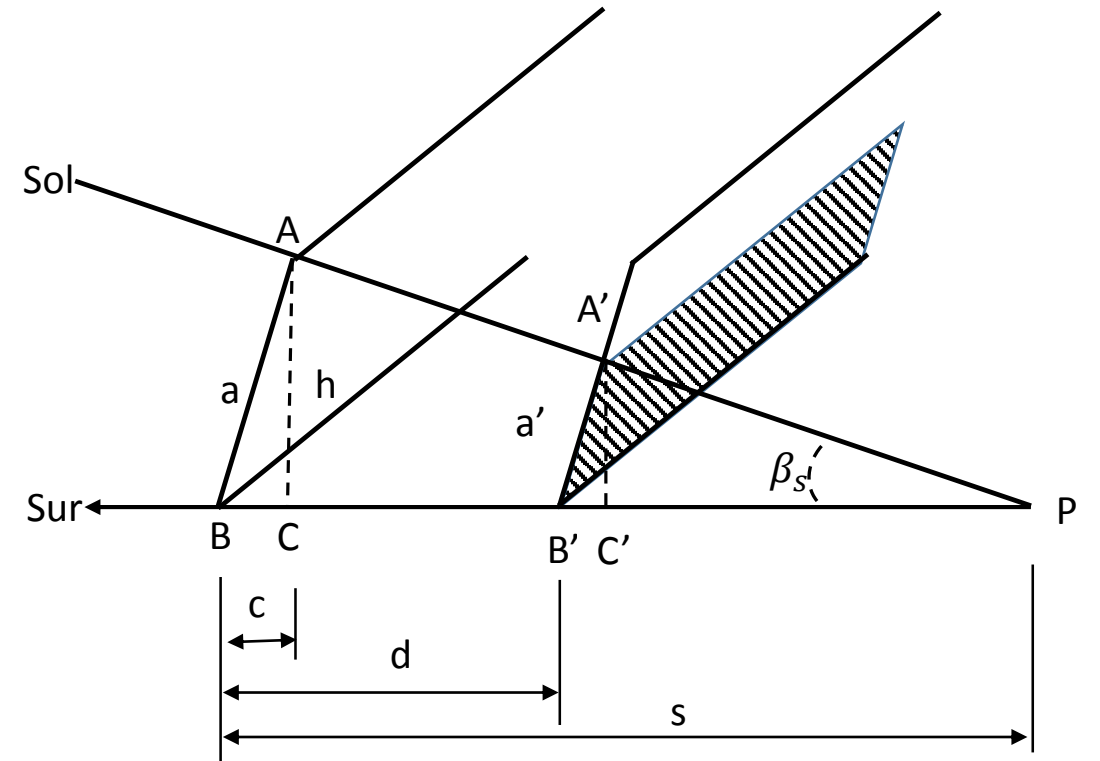
$d$  separación entre las dos filas

$h$  altura de la fila de paneles (en m)

$L$  longitud ocupada por todas las filas (en m)

$d$  separación entre las dos filas (en m)

$n$  número de filas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Solución III/VII)

$$L = (c + d) \cdot (n - 1) + c$$

$$L = (1.526 + 2.771) \cdot (4 - 1) + 1.526$$

$$L = 14.525 \text{ m} > 12 \text{ m}$$

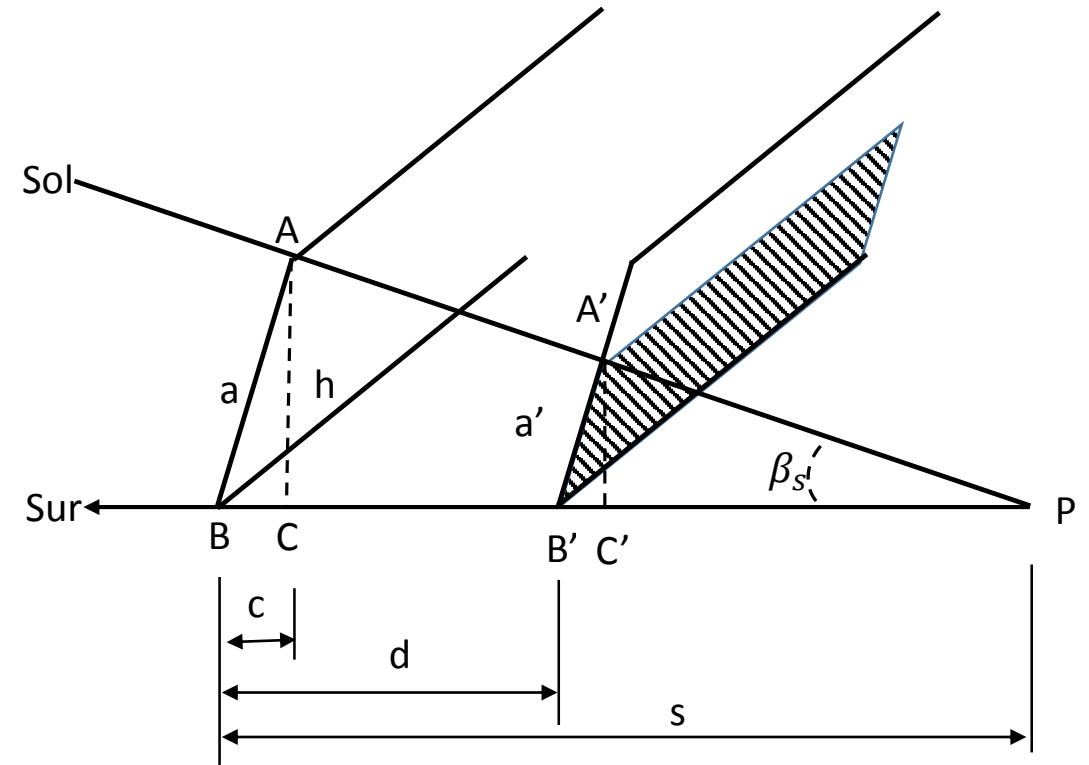
donde:

$L$  longitud ocupada por todas las filas (en m)

$c$  (=  $B - C$ ) ancho de la base de la fila de paneles (en m)

$d$  (=  $B - B'$ ) separación entre las dos filas (en m)

$n$  número de filas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Pasos II/III)

**Paso 4:**  $d = (li - c)/(n - 1)$

**Paso 5:**  $l = d - c$

donde:

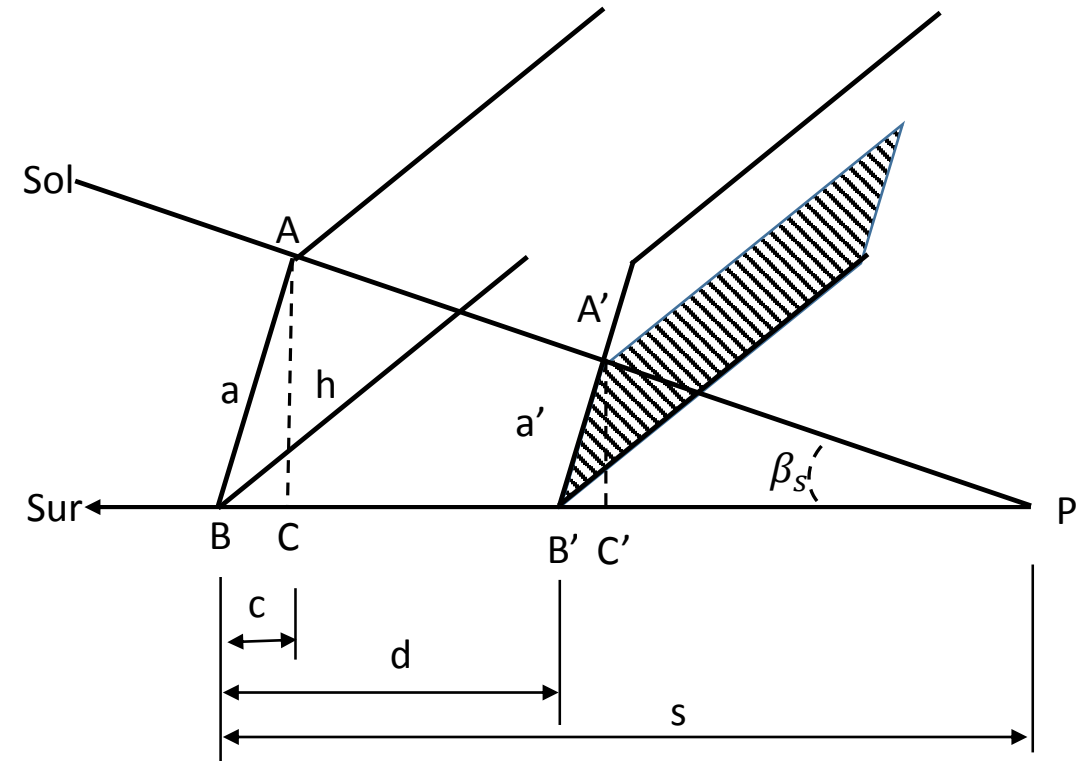
$d (= B - B')$  separación entre las dos filas (en m)

$li$  longitud para instalar las filas de los paneles (en m)

$c (= B - C)$  ancho de la base de la fila de paneles (en m)

$n$  número de filas

$l$  distancia entre filas (en m)





## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Solución IV/VII)

$$L = 14.525 \text{ m} > 12 \text{ m}$$

$$d = (li - c)/(n - 1)$$

$$d = \frac{12 - 1.526}{4 - 1} = 3.491 \text{ m}$$

donde:

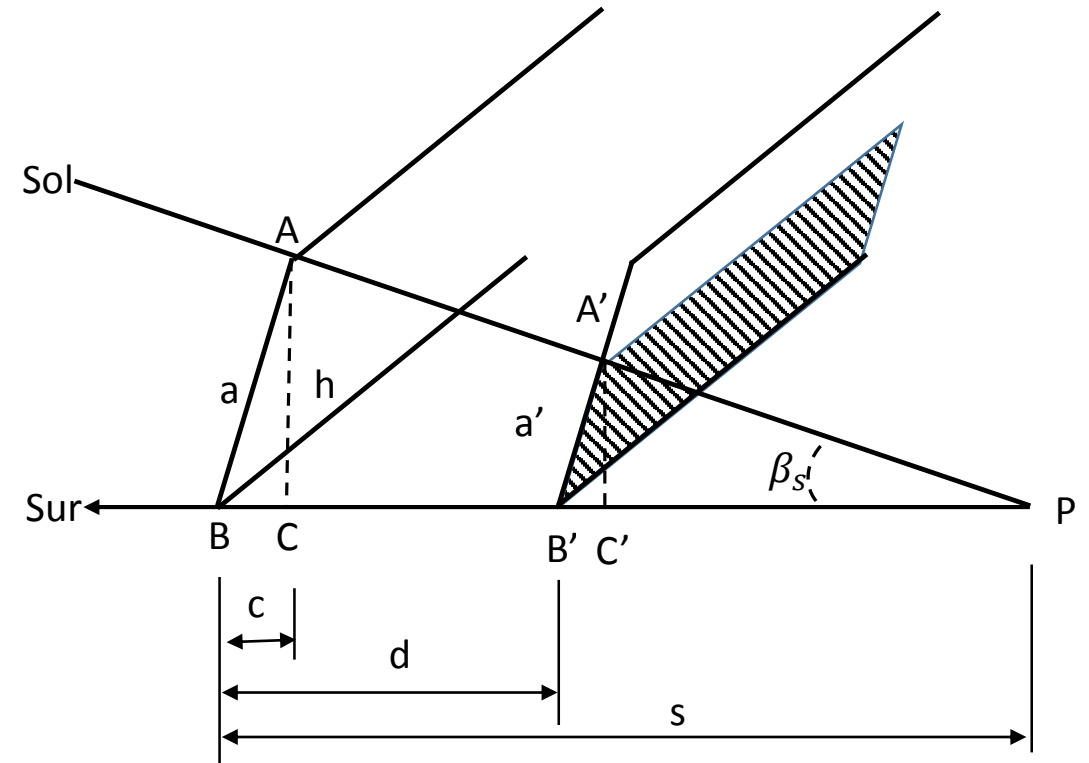
$L$  longitud ocupada por todas las filas (en m)

$d (= B - B')$  separación entre las dos filas (en m)

$li$  longitud para instalar las filas de los paneles (en m)

$c (= B - C)$  ancho de la base de la fila de paneles (en m)

$n$  número de filas



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Pasos II/III)

**Paso 4:**  $d = (li - c)/(n - 1)$

**Paso 5:**  $l = d - c$

donde:

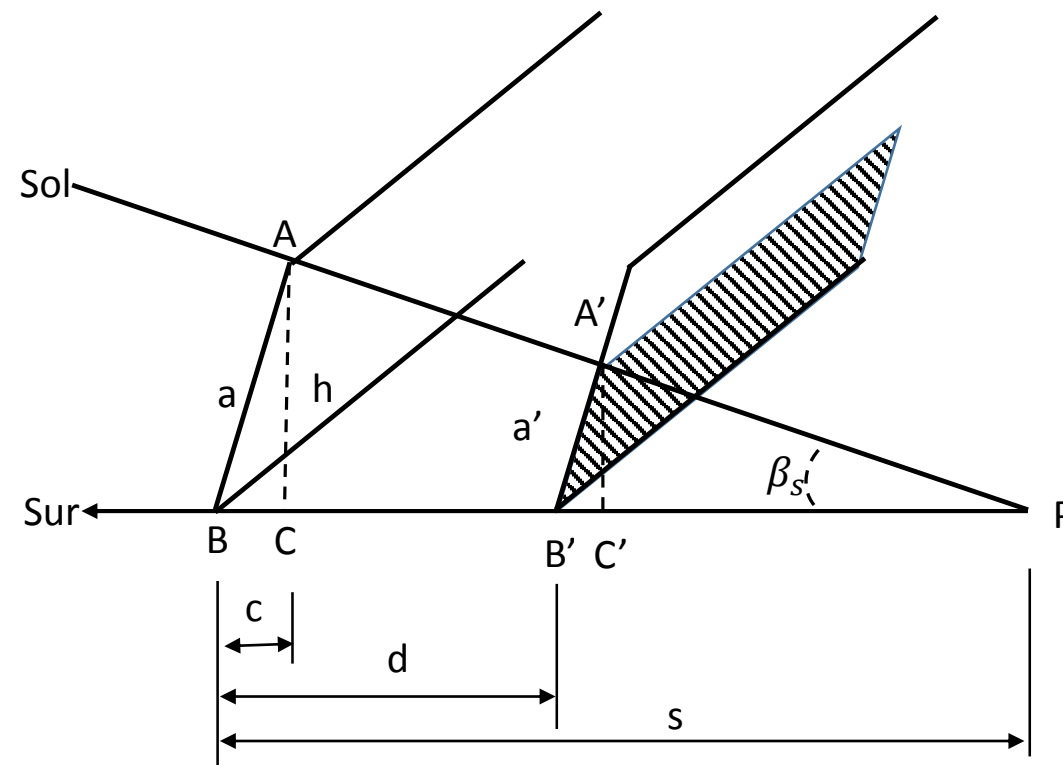
$d (= B - B')$  separación entre las dos filas (en m)

$li$  longitud para instalar las filas de los paneles (en m)

$c (= B - C)$  ancho de la base de la fila de paneles (en m)

$n$  número de filas

$l$  distancia entre filas (en m)



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Solución V/VII)

$$l = d - c$$

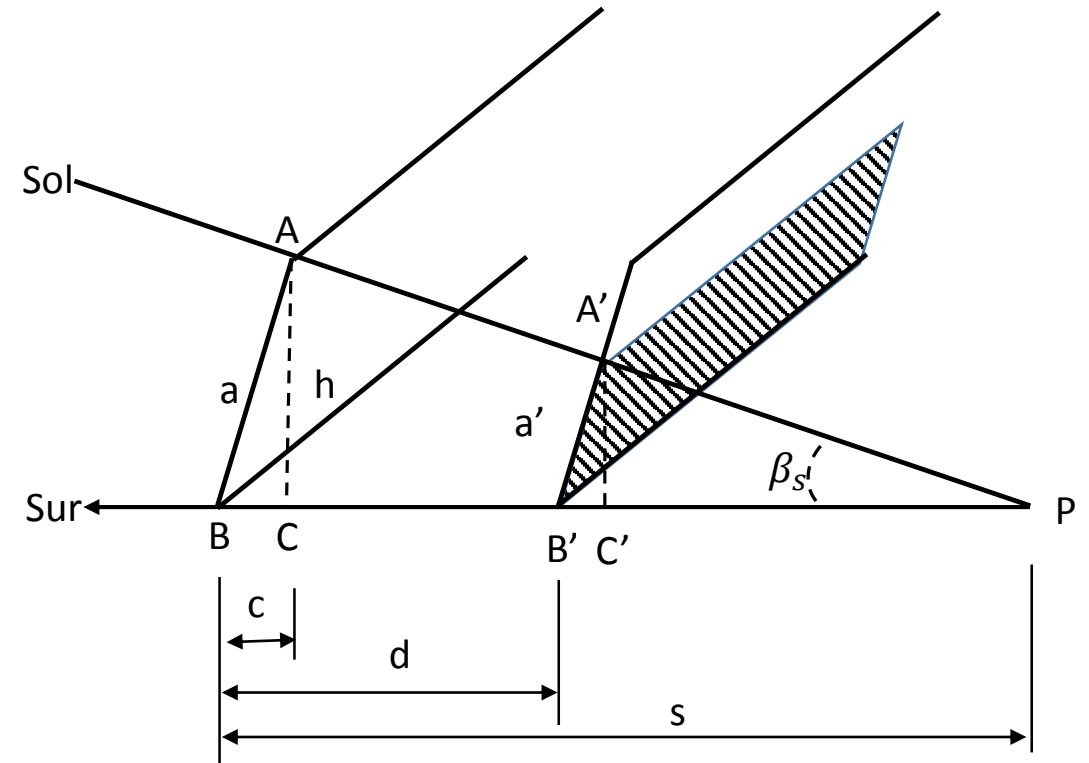
$$l = 3.491 - 1.526 = 1.965 \text{ m}$$

donde:

$l$  distancia entre filas (en m)

$d (= B - B')$  separación entre las dos filas (en m)

$c (= B - C)$  ancho de la base de la fila de paneles (en m)



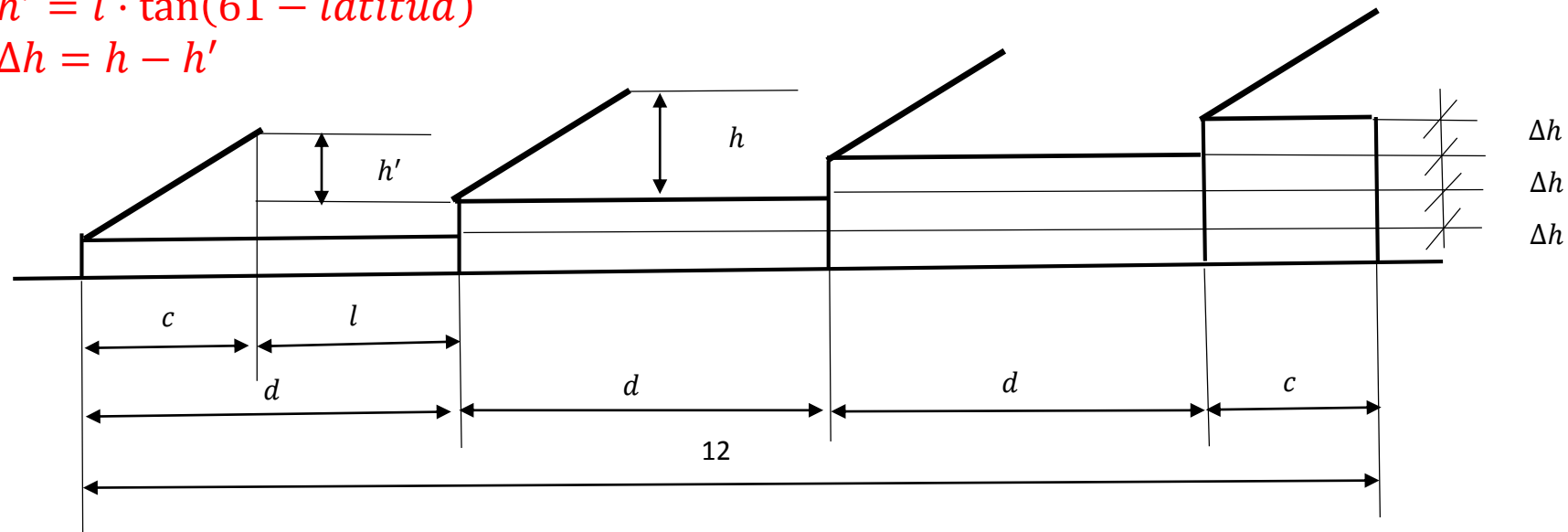
## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Pasos III/III)

**Paso 6:**  $h' = l \cdot \tan(61 - \text{latitud})$

**Paso 7:**  $\Delta h = h - h'$



donde

$h'$  altura ficticia del panel (en m)

$l$  separación entre filas (en m)

$\Delta h$  altura del escalón entre una fila y la siguiente (en m)

$h$  altura de la fila de paneles (en m)

## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Solución VI/VII)

$$l = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})} \quad (1)$$

$$h' = l \cdot \tan(61 - \text{latitud}) = 1.965 \cdot \tan(61 - 42) = 0.677 \text{ m} \quad (1)$$

$$\Delta h = h - h' = 0.954 - 0.677 = 0.277 \text{ m}$$

donde

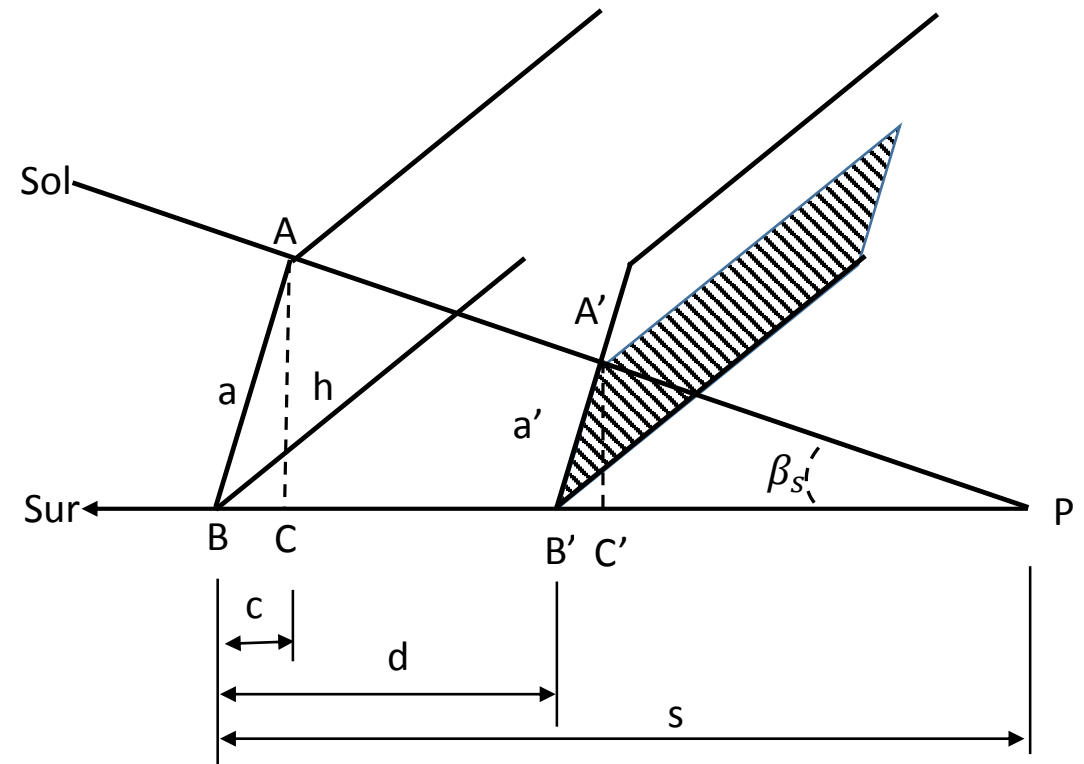
$l$  separación entre filas (en m)

$h$   $h (= A - C)$  altura de la fila de paneles (en m)

$\text{latitud}$  latitud expresada en grados sexagesimales

$h'$  altura ficticia del panel (en m)

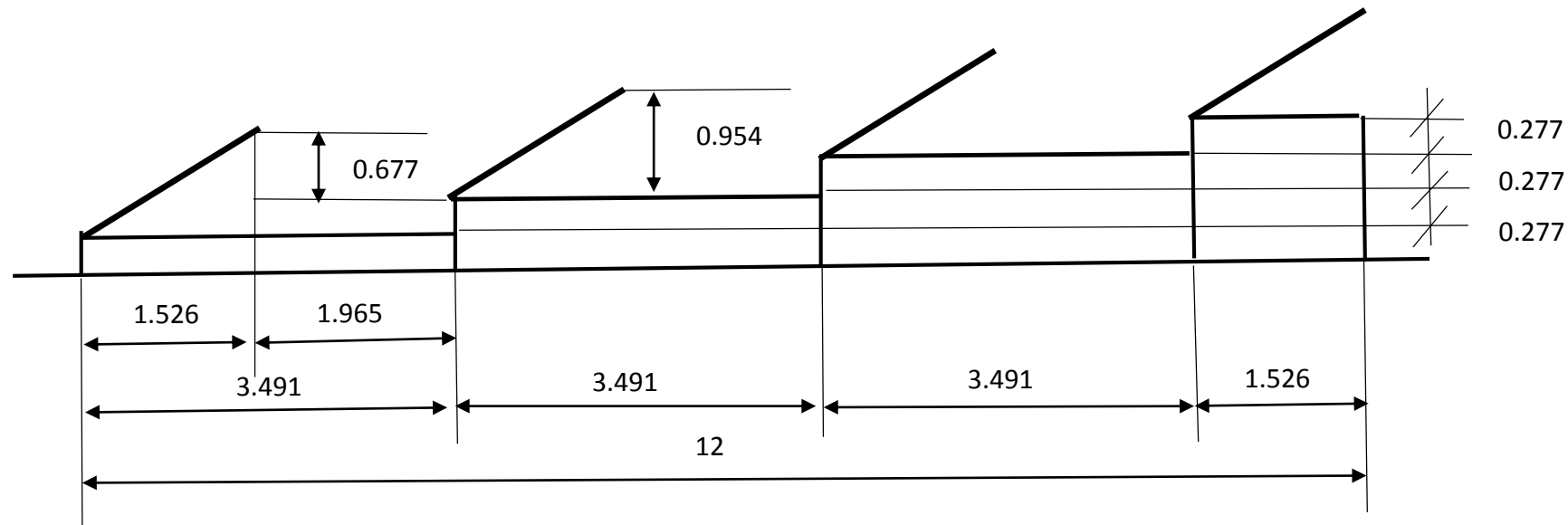
$\Delta h$  altura del escalón entre una fila y la siguiente (en m)



## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.1 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano horizontal (Ejemplo numérico 2; Solución VII/VII)



$$h' = 0.677 \text{ m} \quad c = 1.526 \text{ m}$$

$$h = 0.954 \text{ m} \quad l = 1.965 \text{ m}$$

$$\Delta h = 0.277 \text{ m} \quad d = 3.491 \text{ m}$$

$h'$  altura ficticia del panel (en m)

$h$  altura de la fila de paneles (en m)

$\Delta h$  altura del escalón entre una fila y la siguiente (en m)

$l$  separación entre filas (en m)

$c$  ancho de la base de la fila de paneles (en m)

$d$  separación entre las dos filas (en m)

4. Campo de colectores

4.3 Separación entre paneles estáticos

4.3.2 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano inclinado.

Ejemplo numérico 3.

**Las cuatro filas de paneles del ejemplo numérico 2, se instalan sobre una cubierta que tiene una pendiente de  $15^\circ$  y orientada hacia el Sur. Calcular la separación entre filas de paneles: medida sobre la horizontal y medida sobre la cubierta.**

## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

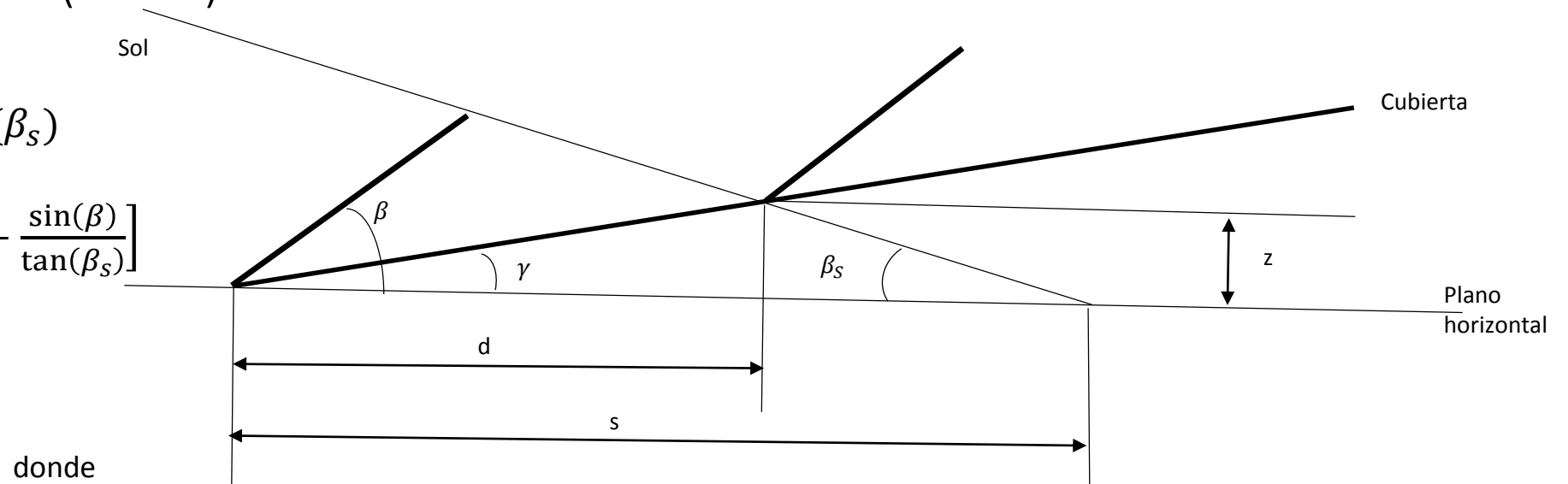
#### 4.3.2 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano inclinado.

##### Ejemplo numérico 3 (Pasos)

- **Paso 1:**  $k = \tan(\gamma) / \tan(\beta_s)$

- **Paso 2:**  $s = a \cdot \left[ \cos(\beta) + \frac{\sin(\beta)}{\tan(\beta_s)} \right]$

- **Paso 3:**  $d = s / (1 + k)$



donde

$\gamma$  ángulo de incidencia

$\beta_s$  altura del Sol sobre el horizonte

$s$  longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de la 1ª fila (en m)

$a$  altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

$d$  separación entre las dos filas (en m)

$z$  desplazamiento hacia arriba de la segunda fila (en m)



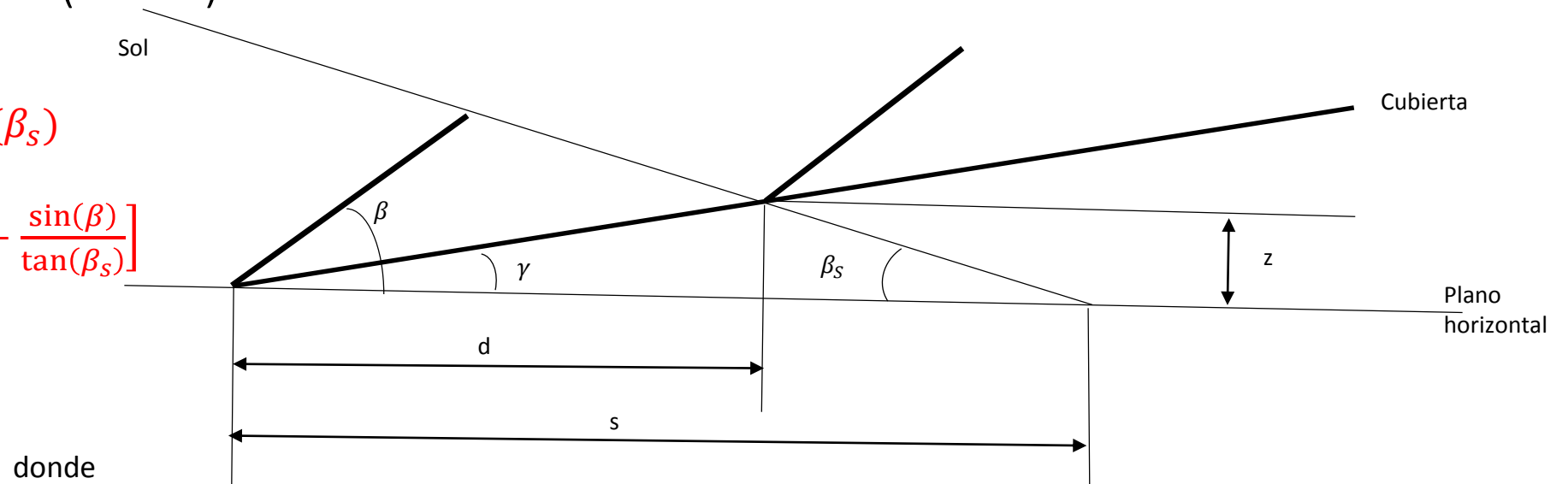
## 4. Campo de colectores

### 4.3 Separación entre paneles estáticos

#### 4.3.2 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano inclinado.

##### Ejemplo numérico 3 (Pasos)

- **Paso 1:**  $k = \tan(\gamma) / \tan(\beta_s)$
- **Paso 2:**  $s = a \cdot \left[ \cos(\beta) + \frac{\sin(\beta)}{\tan(\beta_s)} \right]$
- **Paso 3:**  $d = s / (1 + k)$



donde

$\gamma$  ángulo de incidencia

$\beta_s$  altura del Sol sobre el horizonte

$s$  longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de la 1ª fila (en m)

$a$  altura del panel (en m)

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

$d$  separación entre las dos filas (en m)

$z$  desplazamiento hacia arriba de la segunda fila (en m)

#### 4. Campo de colectores

##### 4.3 Separación entre paneles estáticos

##### 4.3.2 Separación entre filas de paneles situados sobre un plano inclinado.

Ejemplo numérico 3; Solución.

$$d = s / (1 + k)$$

siendo

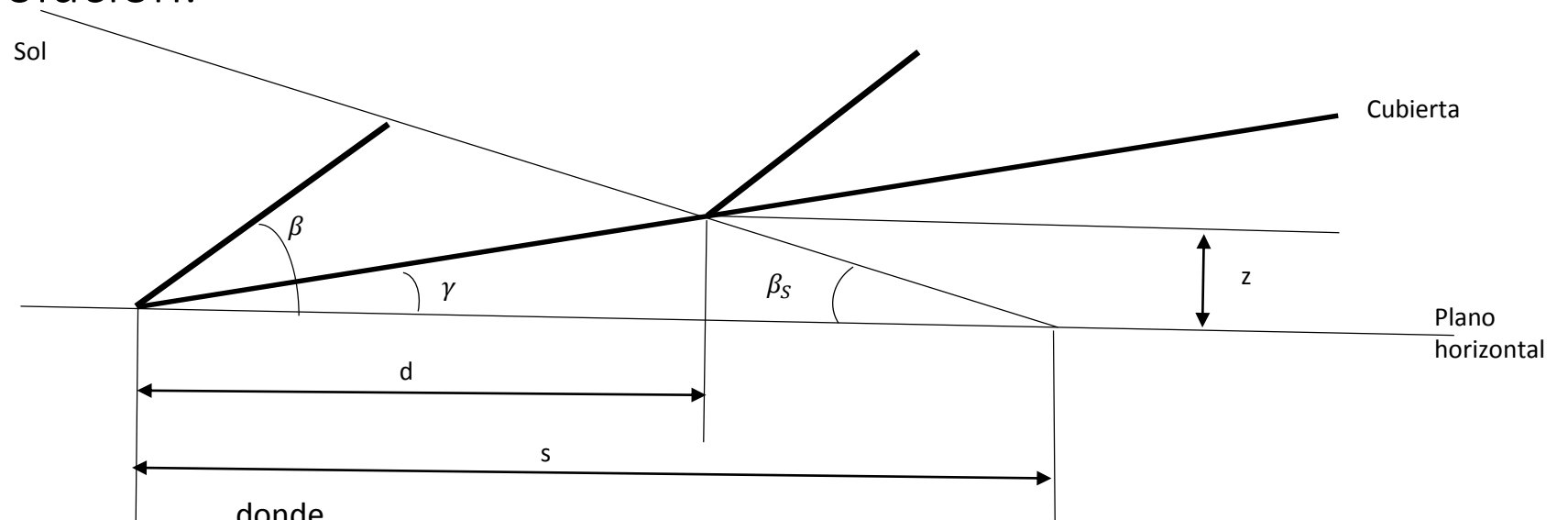
$$k = \tan(\gamma) / \tan(\beta_s)$$

$$s = a \cdot [\cos(\beta) + \sin(\beta) / \tan(\beta_s)]$$

$$k = \frac{\tan(15^\circ)}{\tan(20^\circ)} = 0.374$$

$$s = 1.8 \cdot \left[ \cos(32) + \frac{\sin(32)}{\tan(20)} \right] = 4.147 \text{ m}$$

$$d = \frac{s}{1 + k} = \frac{4.147}{1 + 0.374} = 3.018 \text{ m}$$



donde

d separación entre las dos filas (en m)

s longitud de la sombra sobre el plano horizontal, de los paneles de la 1ª fila (en m)

$\gamma$  ángulo de incidencia

$\beta_s$  altura del Sol sobre el horizonte

$\beta$  inclinación de la fila de paneles respecto del plano horizontal

z desplazamiento hacia arriba de la segunda fila (en m)

a altura del panel (en m)

## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía (I/II)

- Datos de la energía incidente sobre la superficie
- Pérdida debida a sombras
- Rendimiento global de la instalación

$$E_{ud} = F_c \cdot \eta_m \cdot S \cdot HSP \quad (5)$$

donde:

$E_{ud}$  energía eléctrica diaria generada en kWh

$F_c$  factor de corrección para tener en cuenta las condiciones de funcionamiento del panel

$\eta_m$  rendimiento útil (en %)

$S$  superficie del panel (en m<sup>2</sup>)

$HSP$  horas solares pico

## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía (II/II)

**Instalaciones de energía solar fotovoltaica.**

**Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a la red (IDAE)**

- Servicio meteorológico nacional o local, para el lugar, inclinación y azimut deseados, como el **Instituto Meteorológico Nacional** ([www.inm.es](http://www.inm.es)).
- Organismo internacional **Photovoltaic Geographical Information System** (PVGIS) (<http://re.jrc.ec.europa.eu/>)
- **Agencia Aeroespacial Norteamericana NASA** (<https://power.larc.nasa.gov/>)
- **Centro internacional de apoyo a la decisión de energía limpia** (<https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>)

$$E_p = G_{dm(\alpha\beta)} \cdot P_{mp} \cdot PR / G_{CEM} \quad (6)$$

$E_p$  energía eléctrica generada en kWh, para un día medio;

$G_{dm(\alpha\beta)}$  valor medio mensual o anual de la radiación sobre una superficie orientada con azimut  $\alpha$  e inclinación  $\beta$ , una vez descontadas las pérdidas debidas a sombras, expresadas en kWh/(día·m<sup>2</sup>)

$P_{mp}$  potencia pico del generador, en kW

$PR$  rendimiento global de la instalación (*performance ratio*) que tiene en cuenta el rendimiento nominal de la célula, la corrección por temperatura, eficiencia del equipo inversor y de conexión a la red, efecto de la suciedad, etc.

$G_{CEM}$  1 kW/m<sup>2</sup>, generación en las condiciones estándar de medición

## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 7

**La fachada de un edificio tiene una superficie de  $465 \text{ m}^2$ , es vertical, está orientada al Sur y tiene unas pérdidas anuales, por sombra, del 9%. La radiación diaria en media anual, sobre una superficie con inclinación  $90^\circ$  y azimut  $0^\circ$ , es  $9.81 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ . La radiación, en media diaria anual, teniendo en cuenta las pérdidas por sombra es de  $2.48 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ .**

**Calcular la energía anual generada en MWh, si la potencia pico de los paneles instalados es  $120 \text{ Wp}/\text{m}^2$  y el rendimiento global (PR) es del 80%.**

## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 7 (Pistas)

**Paso 1:**  $P_{ti} = S_F \cdot \frac{P_{mp}}{G_{CEM}}$

**Paso 2:**  $E_{p,diaria} = G_{dm(\alpha\beta)} \cdot P_{mp} \cdot \frac{PR}{G_{CEM}}$

**Paso 3:**  $E_{p,anual} = E_{p,diaria} \cdot n$

donde

$P_{ti}$  potencia total instalada, en kW

$S_F$  superficie de la fachada del edificio, en m<sup>2</sup>

$P_{mp}$  potencia pico del generador, en kW

$G_{CEM}$  1 kW/m<sup>2</sup>, generación en las condiciones estándar de medición

$E_{p,diaria}$  energía eléctrica generada en kWh, para un día medio;

$G_{dm(\alpha\beta)}$  valor medio mensual o anual de la radiación sobre una superficie orientada con azimut  $\alpha$  e inclinación  $\beta$ , una vez descontadas las pérdidas debidas a sombras, expresadas en kWh/(día·m<sup>2</sup>)

$PR$  rendimiento global de la instalación (*performance ratio*) que tiene en cuenta el rendimiento nominal de la célula, la corrección por temperatura, eficiencia del equipo inversor y de conexión a la red, efecto de la suciedad, etc.

$E_{p,anual}$  energía generada anual, en kWh

$n$  número de días

## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 7 (Pistas)

**Paso 1:**  $P_{ti} = S_F \cdot \frac{P_{mp}}{G_{CEM}}$

**Paso 2:**  $E_{p,diaria} = G_{dm(\alpha\beta)} \cdot P_{mp} \cdot \frac{PR}{G_{CEM}}$

**Paso 3:**  $E_{p,anual} = E_{p,diaria} \cdot n$

donde

$P_{ti}$  potencia total instalada, en kW

$S_F$  superficie de la fachada del edificio, en m<sup>2</sup>

$P_{mp}$  potencia pico del generador, en kW

$G_{CEM}$  1 kW/m<sup>2</sup>, generación en las condiciones estándar de medición

$E_{p,diaria}$  energía eléctrica generada en kWh, para un día medio;

$G_{dm(\alpha\beta)}$  valor medio mensual o anual de la radiación sobre una superficie orientada con azimut  $\alpha$  e inclinación  $\beta$ , una vez descontadas las pérdidas debidas a sombras, expresadas en kWh/(día·m<sup>2</sup>)

$PR$  rendimiento global de la instalación (*performance ratio*) que tiene en cuenta el rendimiento nominal de la célula, la corrección por temperatura, eficiencia del equipo inversor y de conexión a la red, efecto de la suciedad, etc.

$E_{p,anual}$  energía generada anual, en kWh

$n$  número de días

## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 7 (Solución)

$$P_{ti} = S_F \cdot \frac{P_{mp}}{G_{CEM}} = 465 \cdot \frac{120}{1000} = 55.8 \text{ kW}$$

$$E_{p,diaria} = G_{dm(\alpha\beta)} \cdot P_{mp} \cdot \frac{PR}{G_{CEM}} = 2.48 \cdot 55.8 \cdot \frac{80}{1} = 110.7 \text{ kWh/día}$$

$$E_{p,anual} = E_{p,diaria} \cdot n = 110.7 \cdot 365 = 40.408 \text{ kWh}$$

donde

$P_{ti}$  potencia total instalada, en kW

$S_F$  superficie de la fachada del edificio, en m<sup>2</sup>

$P_{mp}$  potencia pico del generador, en kW

$G_{CEM}$  1 kW/m<sup>2</sup>, generación en las condiciones estándar de medición

$E_{p,diaria}$  energía eléctrica generada en kWh, para un día medio;

$G_{dm(\alpha\beta)}$  valor medio mensual o anual de la radiación sobre una superficie orientada con azimut  $\alpha$  e inclinación  $\beta$ , una vez descontadas las pérdidas debidas a sombras, expresadas en kWh/(día·m<sup>2</sup>)

$PR$  rendimiento global de la instalación (*performance ratio*) que tiene en cuenta el rendimiento nominal de la célula, la corrección por temperatura, eficiencia del equipo inversor y de conexión a la red, efecto de la suciedad, etc.

$E_{p,anual}$  energía generada anual, en kWh

$n$  número de días



## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8

**A fin de mejorar la captación de energía, se pretende modificar la instalación anterior sustituyendo los paneles verticales por viseras y, dada la longitud del lugar ( $40^\circ$ ), se escoge una inclinación de  $30^\circ$ .**

**Las viseras se instalan en cada piso, excepto la planta baja.**

**La longitud de la visera debe ser tal, que, en el solsticio de verano, la visera superior no haga sombra sobre la inferior. En este caso se supondrá que la longitud de la visera de los pisos  $1^\circ$  al  $6^\circ$  es de 25 m; y la relativa a los pisos  $7^\circ$  y  $8^\circ$  es de 15 m.**

**Se conoce que la radiación, en media diaria anual, teniendo en cuenta las pérdidas por sombra es de  $3.68 \text{ kWh}/(\text{día}\cdot\text{m}^2)$ ; la altitud del sol en el solsticio de verano es  $75^\circ$  y la radicación diaria media anual para esta inclinación y orientación  $14.57 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ . Igualmente se sabe que la energía anual generada con paneles verticales sería de  $40408 \text{ kWh/año}$ .**

**Calcular la energía anual generada en MWh, si la potencia de los paneles instalados es  $120 \text{ Wp}/\text{m}^2$  y el rendimiento global (PR) es del 80%.**

## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Pasos I/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie total de los paneles fotovoltaicos

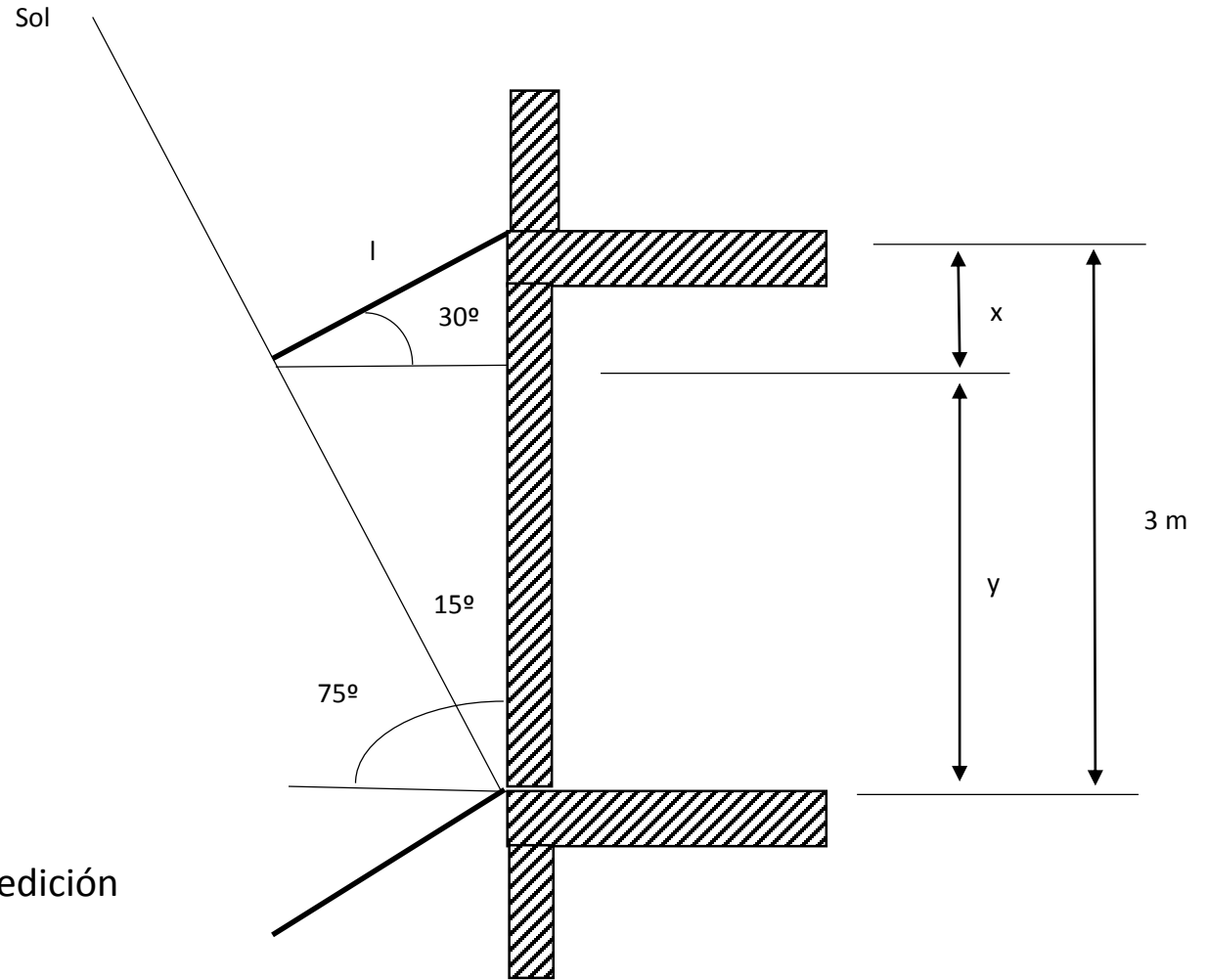
Sabiendo que  $x = l \cdot \sin(30)$ ;  $y = l \cdot \frac{\cos(30)}{\tan(15)}$ ;  $x + y = 3$

**Paso 2:** Cálculo de la potencia total instalada

$$P_{ti} = S_t \cdot \frac{P_{mp}}{G_{CEM}}$$

donde

$P_{ti}$	potencia total instalada, en kW
$S_t$	superficie total de los paneles, en m <sup>2</sup>
$P_{mp}$	potencia pico del generador, en kW
$G_{CEM}$	1 kW/m <sup>2</sup> , generación en las condiciones estándar de medición



## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Pasos II/III)

**Paso 3:** Cálculo de la energía eléctrica generada en kWh, para un día medio

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

**Paso 4:** Cálculo de la energía generada anual

$$E_{p,anual} = E_{p,diaria} \cdot n$$

donde

$E_{p,diaria}$  energía eléctrica generada en kWh, para un día medio;

$G_{dm(\alpha\beta)}$  valor medio mensual o anual de la radiación sobre una superficie orientada con azimut  $\alpha$  e inclinación  $\beta$ , una vez descontadas las pérdidas debidas a sombras, expresadas en kWh/(día·m<sup>2</sup>)

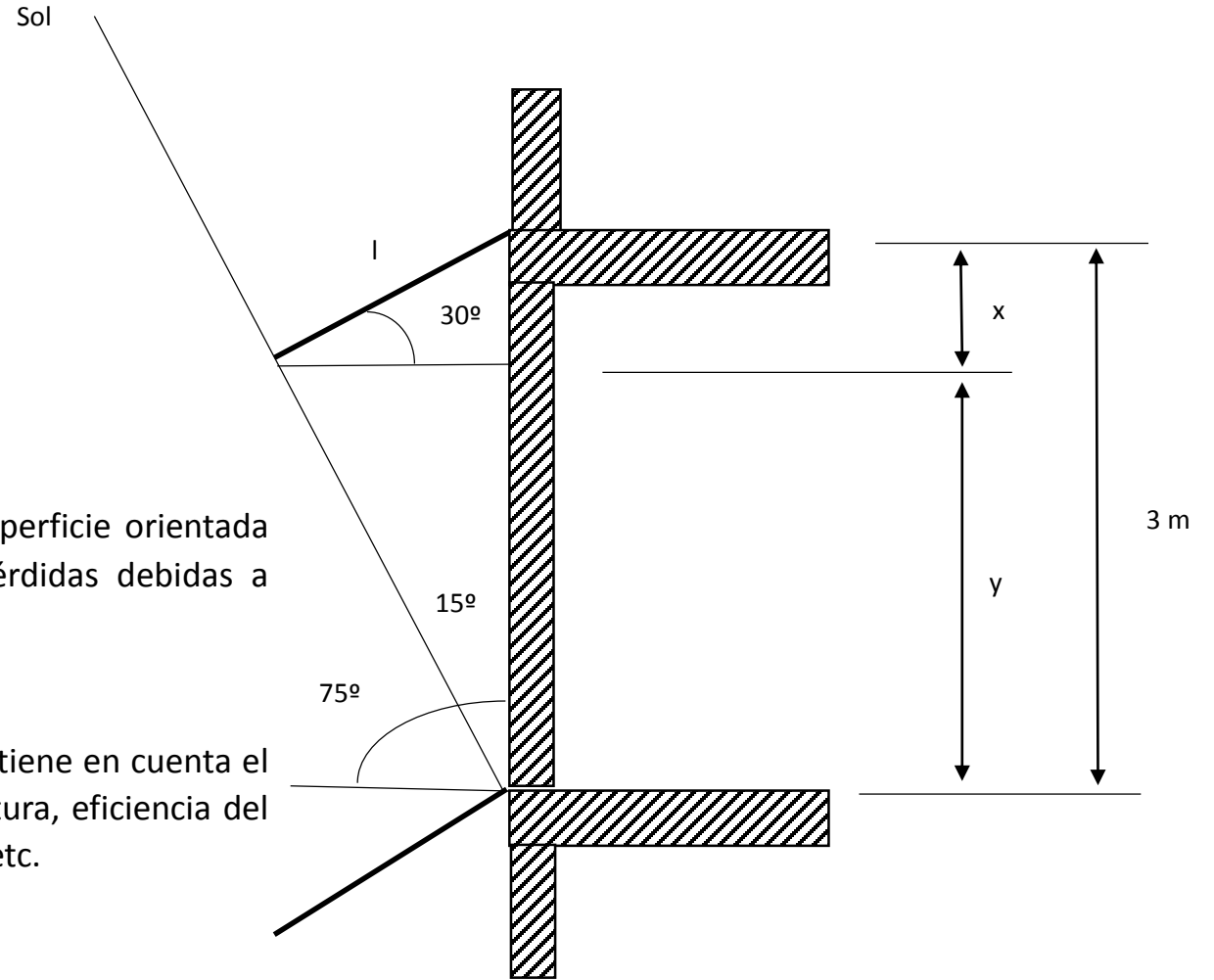
$P_{mp}$  potencia pico del generador, en kW

$PR$  rendimiento global de la instalación (*performance ratio*) que tiene en cuenta el rendimiento nominal de la célula, la corrección por temperatura, eficiencia del equipo inversor y de conexión a la red, efecto de la suciedad, etc.

$G_{CEM}$  1 kW/m<sup>2</sup>, generación en las condiciones estándar de medición

$E_{p,anual}$  energía generada anual, en kWh

$n$  número de días



## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Pasos III/III)

**Paso 5:** Cálculo de la energía captada por unidad de superficie de panel fotovoltaico vertical

$$E_{S1} = \frac{E_{p,anual1}}{S_{t1}}$$

**Paso 6:** Cálculo de la energía captada por unidad de superficie de panel fotovoltaico en visera

$$E_{S2} = \frac{E_{p,anual2}}{S_{t2}}$$

donde

$E_{S1}$	energía captada por unidad de superficie de panel fotovoltaico vertical, en kWh/(m <sup>2</sup> ·año)
$E_{p,anual1}$	energía anual generada con paneles verticales, en kWh
$S_{t1}$	superficie total de los paneles fotovoltaicos verticales, en m <sup>2</sup>
$E_{S2}$	energía captada por unidad de superficie de panel fotovoltaico en visera, en kWh/(m <sup>2</sup> ·año)
$E_{p,anual2}$	energía anual generada con paneles en visera, en kWh
$S_{t2}$	superficie total de los paneles fotovoltaicos en visera, en m <sup>2</sup>

## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Pasos I/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie total de los paneles fotovoltaicos

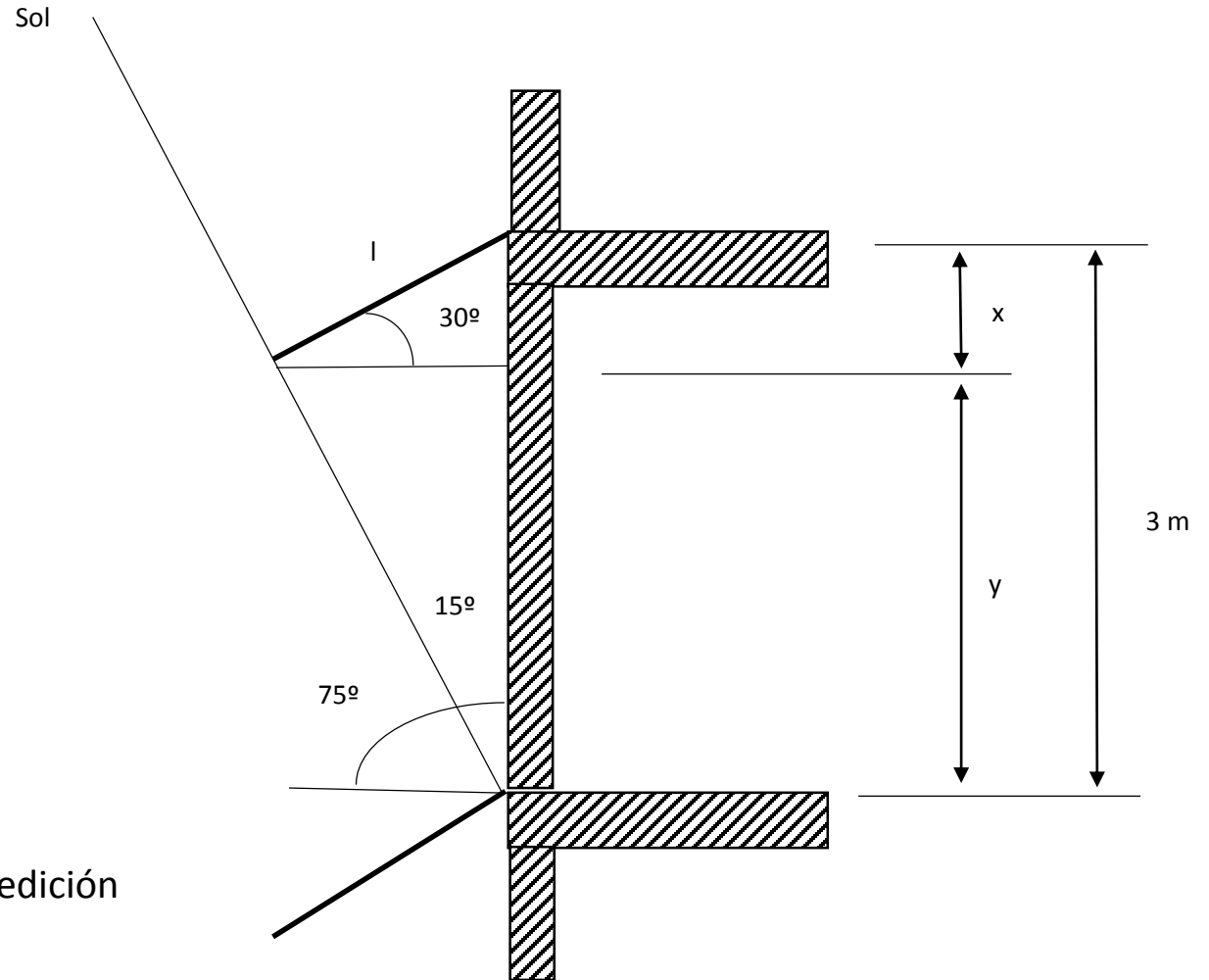
Sabiendo que  $x = l \cdot \sin(30)$ ;  $y = l \cdot \frac{\cos(30)}{\tan(15)}$ ;  $x + y = 3$

**Paso 2:** Cálculo de la potencia total instalada

$$P_{ti} = S_t \cdot \frac{P_{mp}}{G_{CEM}}$$

donde

$P_{ti}$	potencia total instalada, en kW
$S_t$	superficie total de los paneles, en m <sup>2</sup>
$P_{mp}$	potencia pico del generador, en kW
$G_{CEM}$	1 kW/m <sup>2</sup> , generación en las condiciones estándar de medición



## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Solución I/IV)

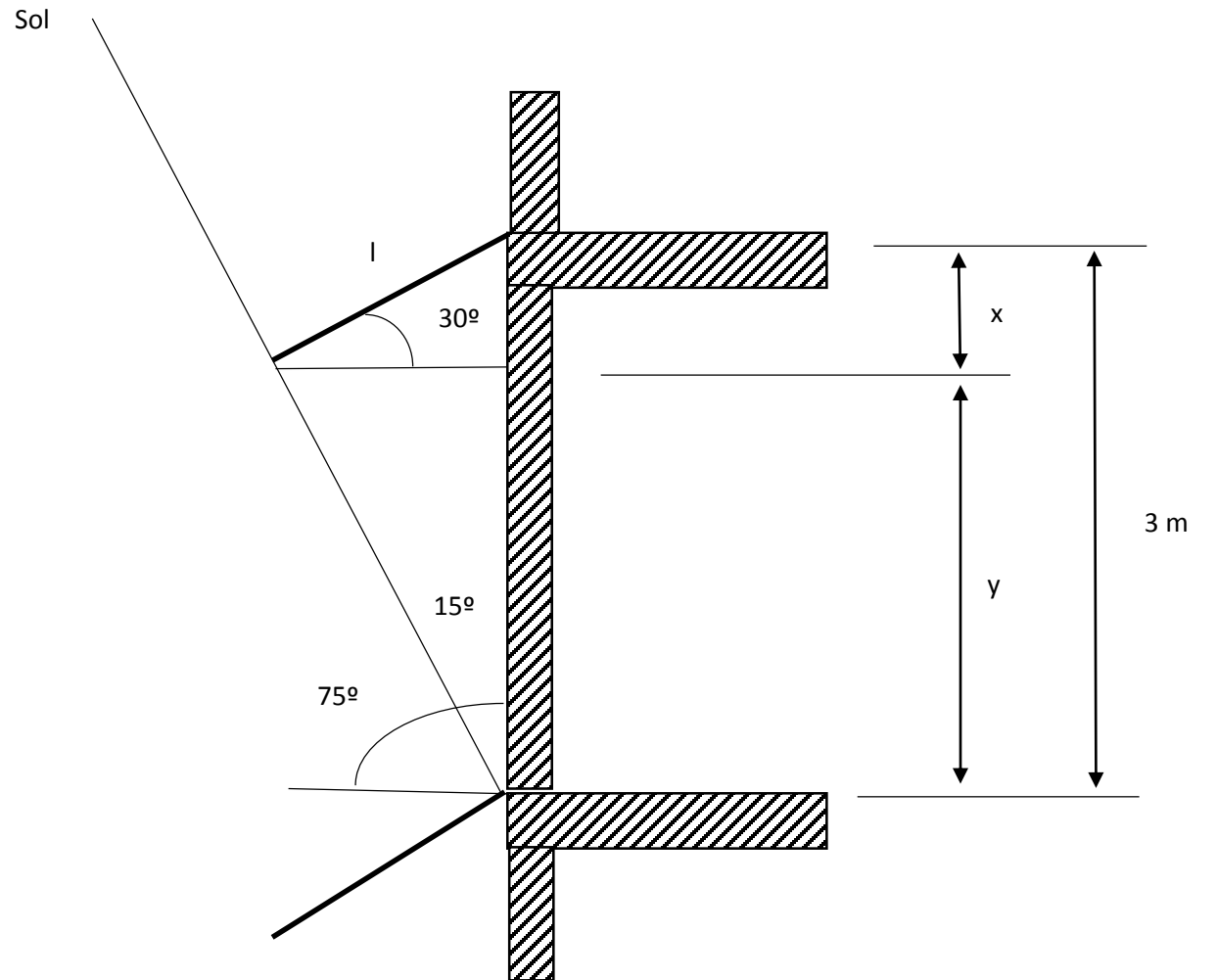
$$x = l \cdot \sin(30)$$

$$y = l \cdot \frac{\cos(30)}{\tan(15)}$$

$$x + y = 3$$

$$0.5 \cdot l + 3.232 \cdot l = 3$$

$$l = 0.804 \text{ m}$$



## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Solución II/IV)

#### Pisos del 1º al 6º

longitud de la visera: 25 m

Superficie disponible:  $25 \cdot 0.804 = 20.10 \text{ m}^2$

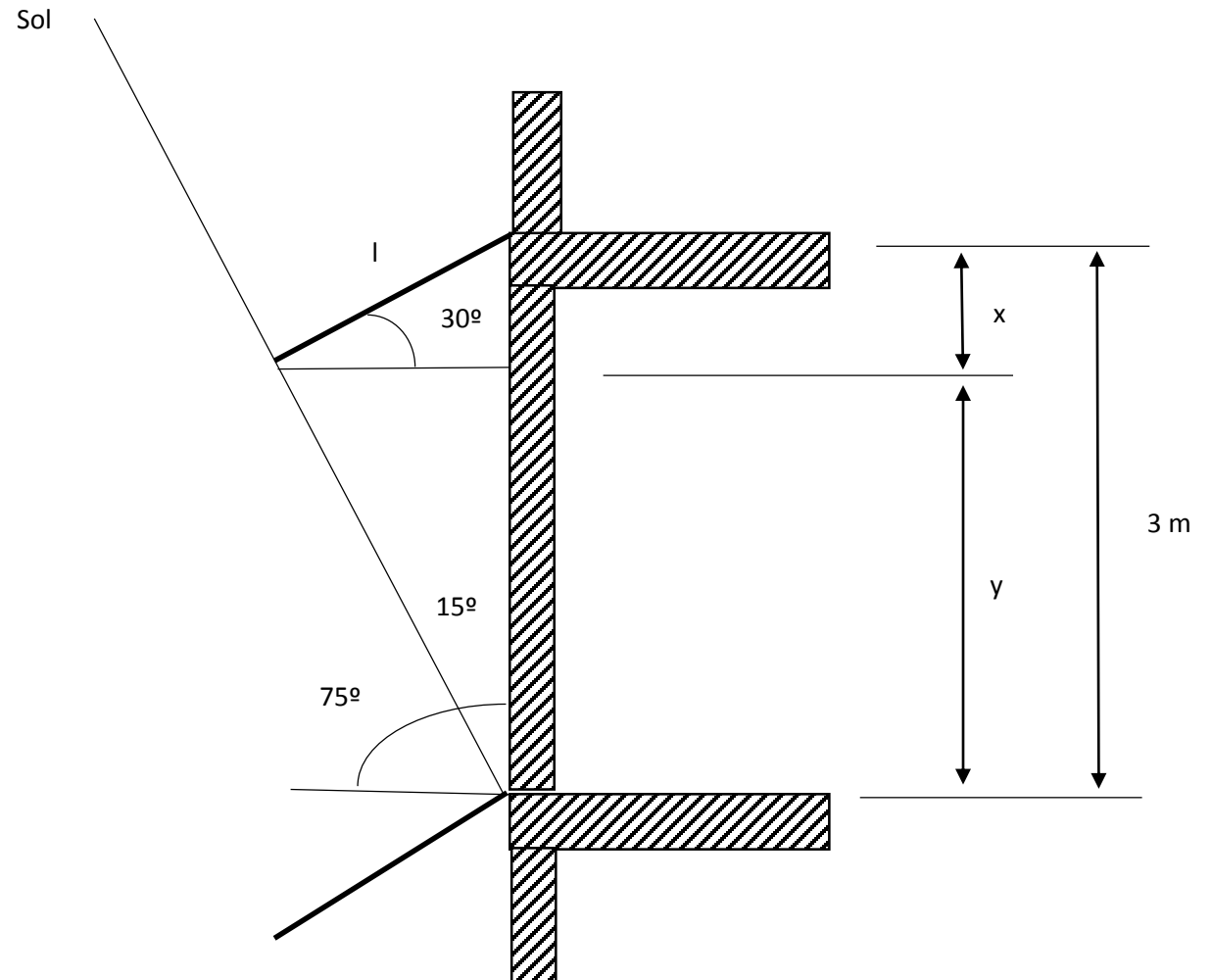
#### Pisos del 7º y 8º

longitud de la visera: 15 m

Superficie disponible:  $15 \cdot 0.804 = 12.06 \text{ m}^2$

#### Superficie total

$20.10 \cdot 5 + 12.06 \cdot 2 = 124.62 \text{ m}^2$



## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Pasos I/III)

**Paso 1:** Cálculo de la superficie total de los paneles fotovoltaicos

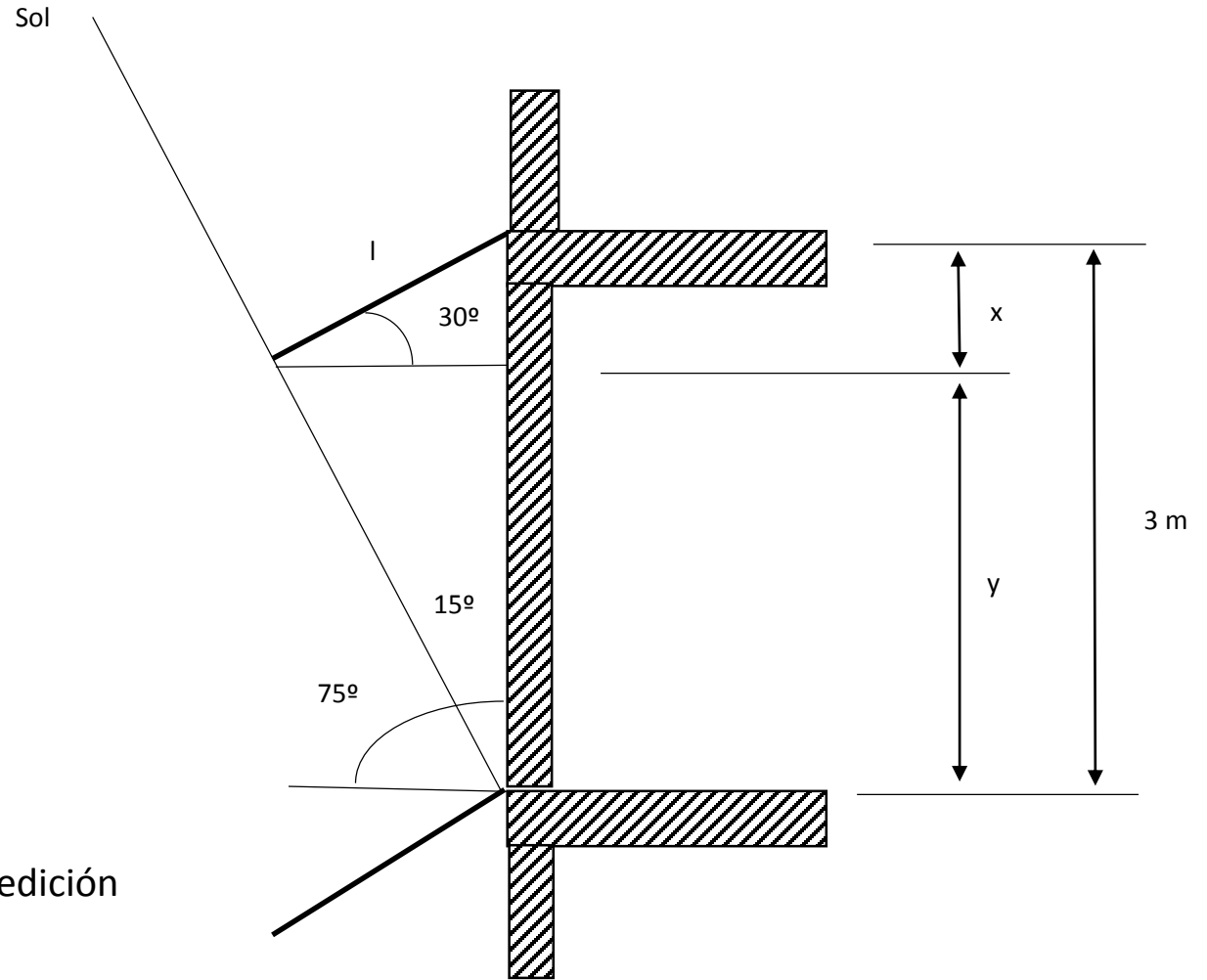
Sabiendo que  $x = l \cdot \sin(30)$ ;  $y = l \cdot \frac{\cos(30)}{\tan(15)}$ ;  $x + y = 3$

**Paso 2:** Cálculo de la potencia total instalada

$$P_{ti} = S_t \cdot \frac{P_{mp}}{G_{CEM}}$$

donde

$P_{ti}$	potencia total instalada, en kW
$S_t$	superficie total de los paneles, en m <sup>2</sup>
$P_{mp}$	potencia pico del generador, en kW
$G_{CEM}$	1 kW/m <sup>2</sup> , generación en las condiciones estándar de medición





## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Pasos II/III)

**Paso 3:** Cálculo de la energía eléctrica generada en kWh, para un día medio

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

**Paso 4:** Cálculo de la energía generada anual

$$E_{p,anual} = E_{p,diaria} \cdot n$$

donde

$E_{p,diaria}$  energía eléctrica generada en kWh, para un día medio;

$G_{dm(\alpha\beta)}$  valor medio mensual o anual de la radiación sobre una superficie orientada con azimut  $\alpha$  e inclinación  $\beta$ , una vez descontadas las pérdidas debidas a sombras, expresadas en kWh/(día·m<sup>2</sup>)

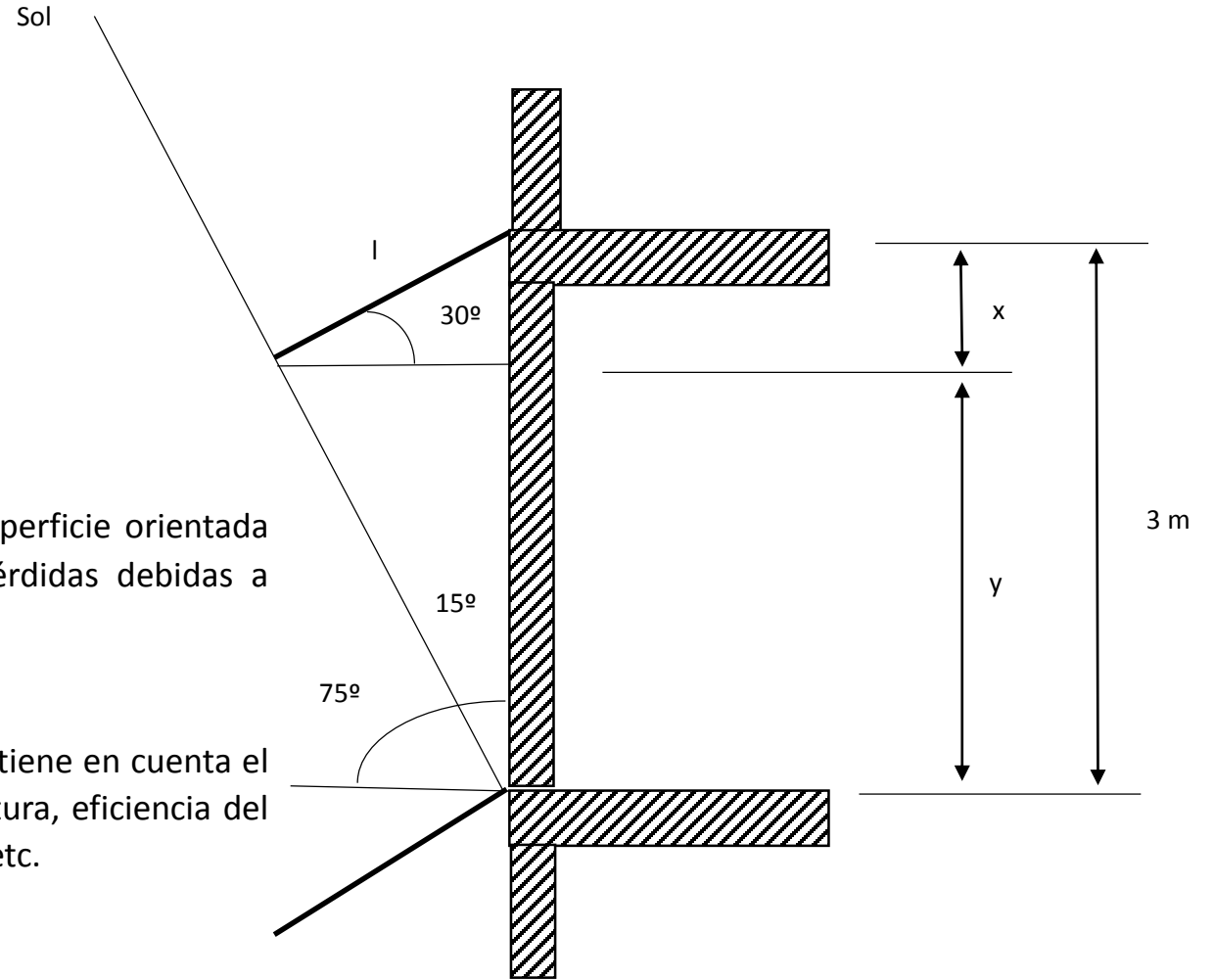
$P_{mp}$  potencia pico del generador, en kW

$PR$  rendimiento global de la instalación (*performance ratio*) que tiene en cuenta el rendimiento nominal de la célula, la corrección por temperatura, eficiencia del equipo inversor y de conexión a la red, efecto de la suciedad, etc.

$G_{CEM}$  1 kW/m<sup>2</sup>, generación en las condiciones estándar de medición

$E_{p,anual}$  energía generada anual, en kWh

$n$  número de días



## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Solución III/IV)

$$P_{ti} = S_t \cdot \frac{P_{mp}}{G_{CEM}} = 124.62 \cdot \frac{120}{1000} = 15 \text{ kW}$$

$$E_{p,diaria} = G_{dm(\alpha\beta)} \cdot P_{mp} \cdot \frac{PR}{G_{CEM}} = 3.68 \cdot 15 \cdot \frac{80}{1} = 44.5 \text{ kWh/día}$$

$$E_{p,anual} = E_{p,diaria} \cdot n = 44.5 \cdot 365 = 16\,239 \text{ kWh}$$

donde

$P_{ti}$  potencia total instalada, en kW

$S_t$  superficie total de los paneles, en m<sup>2</sup>

$P_{mp}$  potencia pico del generador, en kW

$G_{CEM}$  1 kW/m<sup>2</sup>, generación en las condiciones estándar de medición

$E_{p,diaria}$  energía eléctrica generada en kWh, para un día medio;

$G_{dm(\alpha\beta)}$  valor medio mensual o anual de la radiación sobre una superficie orientada con azimut  $\alpha$  e inclinación  $\beta$ , una vez descontadas las pérdidas debidas a sombras, expresadas en kWh/(día·m<sup>2</sup>)

$PR$  rendimiento global de la instalación (*performance ratio*) que tiene en cuenta el rendimiento nominal de la célula, la corrección por temperatura, eficiencia del equipo inversor y de conexión a la red, efecto de la suciedad, etc.

$E_{p,anual}$  energía generada anual, en kWh

$n$  número de días

## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Pasos III/III)

**Paso 5:** Cálculo de la energía captada por unidad de superficie de panel fotovoltaico vertical

$$E_{S1} = \frac{E_{p,anual1}}{S_{t1}}$$

**Paso 6:** Cálculo de la energía captada por unidad de superficie de panel fotovoltaico en visera

$$E_{S2} = \frac{E_{p,anual2}}{S_{t2}}$$

donde

$E_{S1}$	energía captada por unidad de superficie de panel fotovoltaico vertical, en kWh/(m <sup>2</sup> ·año)
$E_{p,anual1}$	energía anual generada con paneles verticales, en kWh
$S_{t1}$	superficie total de los paneles fotovoltaicos verticales, en m <sup>2</sup>
$E_{S2}$	energía captada por unidad de superficie de panel fotovoltaico en visera, en kWh/(m <sup>2</sup> ·año)
$E_{p,anual2}$	energía anual generada con paneles en visera, en kWh
$S_{t2}$	superficie total de los paneles fotovoltaicos en visera, en m <sup>2</sup>

## 4. Campo de colectores

### 4.4 Cálculo de la generación de energía. Ejemplo numérico 8 (Solución IV/IV)

$$E_{S1} = \frac{E_{p,anual1}}{S_{t1}} = \frac{40\,408}{465} = 86.9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$$

$$E_{S2} = \frac{E_{p,anual2}}{S_{t2}} = \frac{16\,239}{127.5} = 127.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{año})$$

donde

$E_{S1}$	energía captada por unidad de superficie de panel fotovoltaico vertical, en kWh/(m <sup>2</sup> ·año)
$E_{p,anual1}$	energía anual generada con paneles verticales, en kWh
$S_{t1}$	superficie total de los paneles fotovoltaicos verticales, en m <sup>2</sup>
$E_{S2}$	energía captada por unidad de superficie de panel fotovoltaico en visera, en kWh/(m <sup>2</sup> ·año)
$E_{p,anual2}$	energía anual generada con paneles en visera, en kWh
$S_{t2}$	superficie total de los paneles fotovoltaicos en visera, en m <sup>2</sup>

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles (I/III)

Los paneles están expuestos al viento, la nieve, la lluvia así como a golpes, contactos, etc. Debe asegurarse que mantienen la integridad y la inclinación y azimut deseadas.

- **Peso de los paneles y de la propia estructura**

En zonas frías, es posible que deban soportar el peso de considerables espesores de nieve.

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles (II/III)

Los paneles están expuestos al viento, la nieve, la lluvia así como a golpes, contactos, etc. Debe asegurarse que mantienen la integridad y la inclinación y azimut deseadas.

- **Fuerza debida al viento**

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles (III/III)

Los paneles están expuestos al viento, la nieve, la lluvia así como a golpes, contactos, etc. Debe asegurarse que mantienen la integridad y la inclinación y azimut deseadas.

- **Tensiones térmicas**

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.1 Peso del panel y carga de la nieve

- Método para calcular el peso de la nieve que puede acumularse sobre un edificio
- Documento básico SE-AE Acciones en la edificación, apartado 3.5



4. Campo de colectores

4.5 Anclaje y soporte de los paneles

4.5.1 Peso del panel y carga de la nieve

- **Superficies horizontales**

Altitud inferior a los 1000 m se considera una carga de  $1.0 \text{ kN/m}^2$

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.1 Peso del panel y carga de la nieve

- **Superficies inclinadas**

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (7)$$

En altitudes superiores a 1000 m debe considerarse una carga lineal debida a la formación de hielo (8):

$$q_n = k \cdot \mu^2 \cdot s_k \quad (8)$$

donde

- $q_n$  carga sobre la superficie en proyección horizontal (en kN/m<sup>2</sup>);
- $\mu$  coeficiente de forma que vale 1 si la inclinación es igual o menor que 30° y 0 si es mayor o igual que 60°; para valores intermedios se interpola linealmente;
- $s_k$  valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según la tabla 6 (en kN/m<sup>2</sup>)
- $k$  constante (con un valor de 3 m)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.1 Peso del panel y carga de la nieve

Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>	Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>
Albacete	690	0.6	Guadalajara	680	0.6	Pontevedra	0	0.3
Alicante	0	0.2	Huelva	0	0.2	Salamanca	780	0.5
Almería	0	0.2	Huesca	470	0.7	S. Sebastián	0	0.3
Ávila	1130	1.0	Jaén	570	0.4	Santander	0	0.3
Badajoz	180	0.2	León	820	1.2	Segovia	1000	0.7
Barcelona	0	0.4	Lérida	150	0.5	Sevilla	10	0.2
Bilbao	0	0.3	Logroño	380	0.6	Soria	1090	0.9
Burgos	860	0.6	Lugo	470	0.7	Tarragona	0	0.4
Cáceres	440	0.4	Madrid	660	0.6	Tenerife	0	0.2
Cádiz	0	0.2	Málaga	0	0.2	Teruel	950	0.9
Castellón	0	0.2	Murcia	40	0.2	Toledo	550	0.5
Ciudad Real	640	0.6	Orense	130	0.4	Valencia	0	0.2
Córdoba	100	0.2	Oviedo	230	0.5	Valladolid	690	0.4
Coruña	0	0.3	Palencia	740	0.4	Vitoria	520	0.7
Cuenca	1010	1.0	Palma de M.	0	0.2	Zamora	650	0.4
Gerona	70	0.4	Palmas, Las	0	0.2	Zaragoza	210	0.5
Granada	690	0.5	Pamplona	450	0.7	Ceuta, Melilla	0	0.2

**Tabla 6.** Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.1 Peso del panel y carga de la nieve. Ejemplo numérico 9

**En Palencia se instala un sistema fotovoltaico con los paneles inclinados  $40^\circ$  respecto a la horizontal.**

**Calcular la carga de nieve por metro cuadrado de panel.**

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.1 Peso del panel y carga de la nieve. Ejemplo numérico 9 (Pasos)

**Paso 1:** Interpolación lineal de Newton (vamos a llamar  $y$  a  $\mu$ )

$$(y - y_1) = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (y_2 - y_1) \rightarrow y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (y_2 - y_1) + y_1$$

**Paso 2:** Cálculo de la carga sobre la superficie en proyección horizontal

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (7)$$

donde

- $q_n$  carga sobre la superficie en proyección horizontal (en  $\text{kN/m}^2$ );
- $\mu$  coeficiente de forma que vale 1 si la inclinación es igual o menor que  $30^\circ$  y 0 si es mayor o igual que  $60^\circ$ ; para valores intermedios se interpola linealmente;
- $s_k$  valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según la tabla 6 (en  $\text{kN/m}^2$ )

$x_1$	$30^\circ$	$y_1$	1
$x$	$40^\circ$	$y$	¿?
$x_2$	$60^\circ$	$y_2$	0

Capital	Altitud m	$s_k$ $\text{kN/m}^2$
Palencia	740	0.4

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.1 Peso del panel y carga de la nieve. Ejemplo numérico 9 (Pasos)

**Paso 1:** Interpolación lineal de Newton (vamos a llamar  $y$  a  $\mu$ )

$$(y - y_1) = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (y_2 - y_1) \rightarrow y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (y_2 - y_1) + y_1$$

**Paso 2:** Cálculo de la carga sobre la superficie en proyección horizontal

$$q_n = \mu \cdot s_k \quad (7)$$

donde

- $q_n$  carga sobre la superficie en proyección horizontal (en  $\text{kN/m}^2$ );
- $\mu$  coeficiente de forma que vale 1 si la inclinación es igual o menor que  $30^\circ$  y 0 si es mayor o igual que  $60^\circ$ ; para valores intermedios se interpola linealmente;
- $s_k$  valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según la tabla 6 (en  $\text{kN/m}^2$ )

$x_1$	$30^\circ$	$y_1$	1
$x$	$40^\circ$	$y$	¿?
$x_2$	$60^\circ$	$y_2$	0

Capital	Altitud m	$s_k$ $\text{kN/m}^2$
Palencia	740	0.4

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.1 Peso del panel y carga de la nieve. Ejemplo numérico 9 (Solución)

$$q_n = \mu \cdot s_k = \frac{2}{3} \cdot 0.4 = 0.267 \frac{kN}{m^2} \quad (7)$$

$x_1$	30°	$y_1$	1
$x$	40°	$y$	¿?
$x_2$	60°	$y_2$	0

**Interpolación lineal de Newton (vamos a llamar  $y$  a  $\mu$ )**

$$(y - y_1) = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (y_2 - y_1) \rightarrow y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (y_2 - y_1) + y_1$$

Capital	Altitud m	$s_k$ kN/m <sup>2</sup>
Palencia	740	0.4

$$y = \frac{(40 - 30)}{(60 - 30)} \cdot (0 - 1) + 1 = -\frac{10}{30} + 1 = \frac{2}{3}$$

donde

$q_n$  carga sobre la superficie en proyección horizontal (en kN/m<sup>2</sup>);

$\mu$  coeficiente de forma que vale 1 si la inclinación es igual o menor que 30° y 0 si es mayor o igual que 60°; para valores intermedios se interpola linealmente;

$s_k$  valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal según la tabla 6 (en kN/m<sup>2</sup>)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.2 Acción del viento (I/III)

$$F = 0.5 \cdot f \cdot \rho \cdot c^2 \cdot s_n \quad (9)$$

Debido a que la densidad de aire seco a la temperatura de 0°C es  $1.29 \text{ kg/m}^3$

$$F = 0.65 \cdot c^2 \cdot \sin(\beta) \cdot s \quad (10)$$

donde

$F$  fuerza expresada en N

$f$  factor que depende de la forma de la superficie

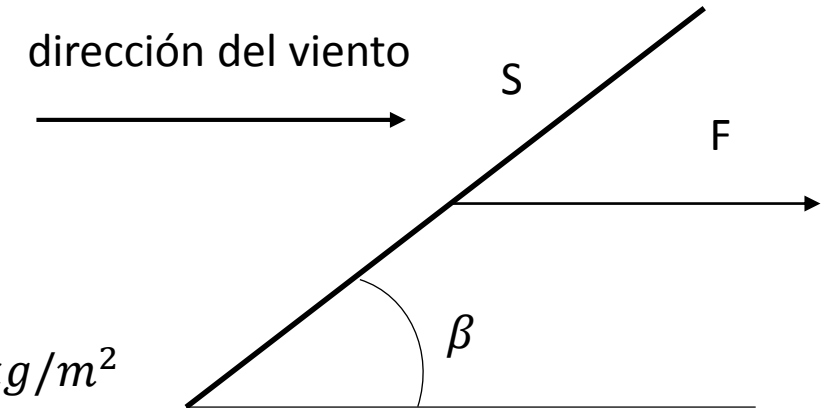
$\rho$  densidad del aire en  $\text{kg/m}^3$

$c$  velocidad del viento en m/s

$s_n$  área de la superficie normal a la dirección del viento en  $\text{m}^2$

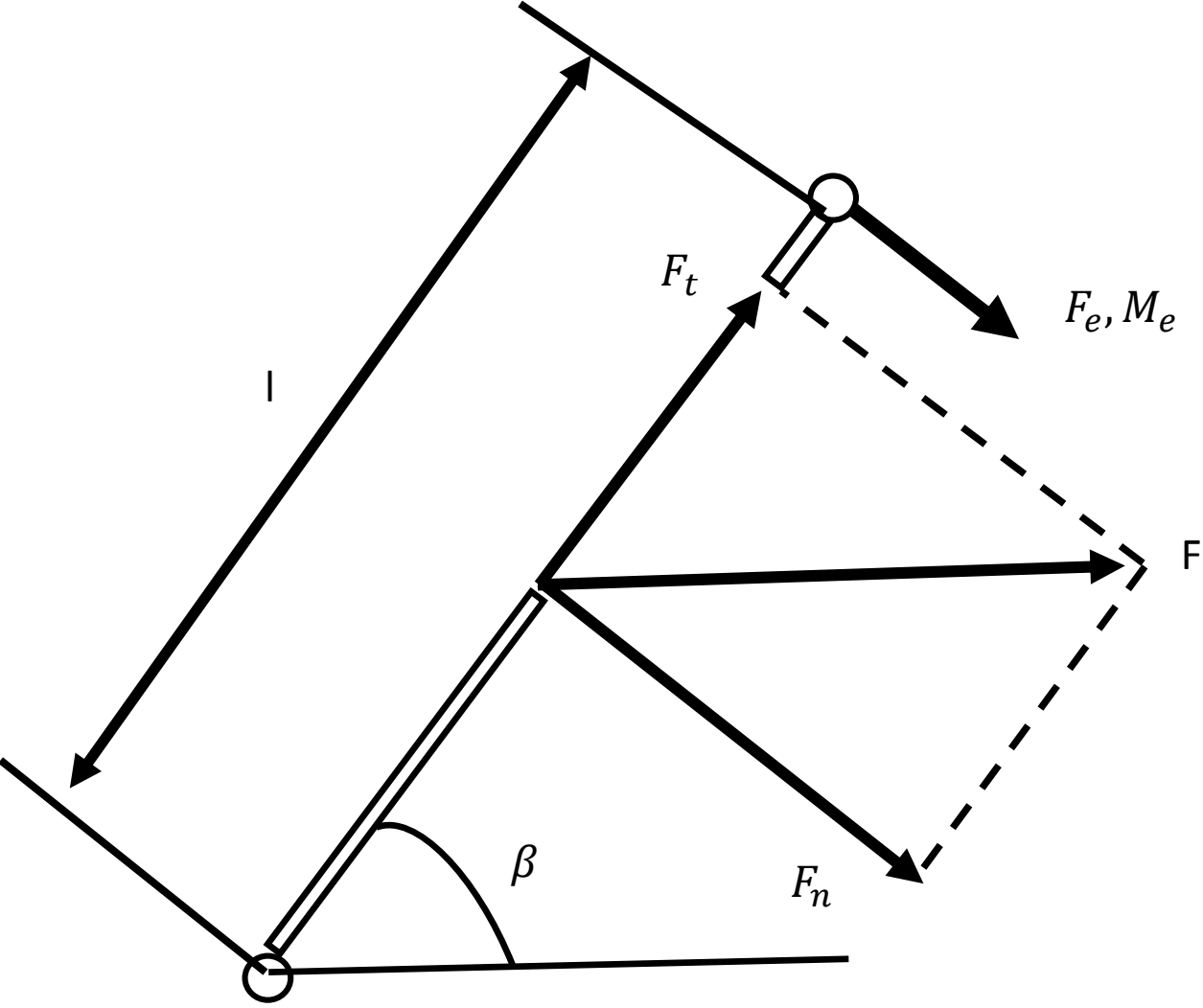
$\beta$  ángulo de la superficie con la dirección del viento

$s$  área de superficie en  $\text{m}^2$





- 4. Campo de colectores
- 4.5 Anclaje y soporte de los paneles
- 4.5.2 Acción del viento (II/III)



#### 4. Campo de colectores

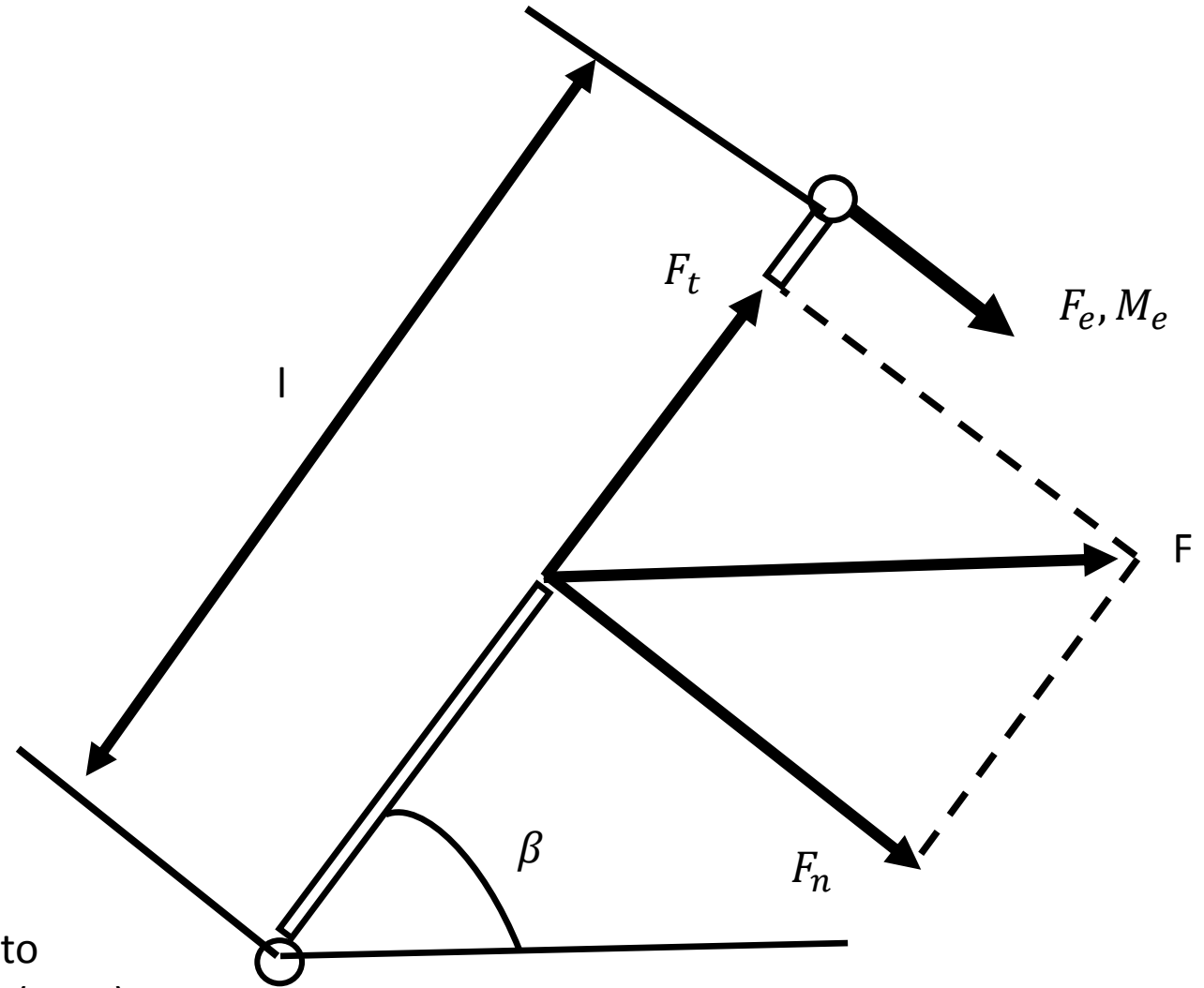
##### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

##### 4.5.2 Acción del viento (III/III)

$$\begin{aligned} F_n &= F \cdot \sin(\beta) \\ F_t &= F \cdot \cos(\beta) \\ F_e &= F_n/2 \\ M_e &= l \cdot F_e \end{aligned} \quad (11)$$

donde:

- $F$  fuerza resultante del viento (en N)
- $\beta$  ángulo de la superficie con la dirección del viento
- $F_n$  fuerza normal de la fuerza resultante del viento (en N)
- $F_t$  fuerza tangencial de la fuerza resultante del viento (en N)
- $F_e$  fuerza aplicada sobre el extremo superior del panel (en N)
- $M_e$  momento (en N·m)
- $l$  longitud del panel (en m)



#### 4. Campo de colectores

##### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

##### 4.5.2 Acción del viento. Ejemplo numérico 10.

**Un panel, que mide 1.6 x 0.8 m, se instala sobre el suelo con una inclinación de 30° respecto a la horizontal, en un sitio donde se estima que la velocidad del viento puede llegar a ser de 100 km/h.**

**Calcular la fuerza que actuará sobre el panel, en la dirección del viento.**

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.2 Acción del viento. Ejemplo numérico 10 (Pasos)

##### **Paso 1: Cálculo de la fuerza del viento expresada en N**

$$F = 0.65 \cdot c^2 \cdot \sin(\beta) \cdot s \quad (10)$$

donde

$F$  fuerza del viento expresada en N

$c$  velocidad del viento en m/s

$\beta$  ángulo de la superficie con la dirección del viento

$s$  área de superficie en m<sup>2</sup>

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.2 Acción del viento. Ejemplo numérico 10 (Pasos)

##### **Paso 1: Cálculo de la fuerza del viento expresada en N**

$$F = 0.65 \cdot c^2 \cdot \sin(\beta) \cdot s \quad (10)$$

donde

$F$  fuerza del viento expresada en N

$c$  velocidad del viento en m/s

$\beta$  ángulo de la superficie con la dirección del viento

$s$  área de superficie en m<sup>2</sup>

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.2 Acción del viento. Ejemplo numérico 10 (Solución)

$$F = 0.65 \cdot c^2 \cdot \sin(\beta) \cdot s \quad (10)$$

$$F = 0.65 \frac{kg}{m^3} \cdot \left( 100 \frac{km}{h} \cdot \frac{1h}{3600s} \cdot \frac{1000m}{1km} \right)^2 \cdot \sin(30) \cdot (1.6 \cdot 0.8)m^2 = 321 \frac{kg \cdot m}{s^2} = 321 N$$

donde

$F$  fuerza del viento expresada en N

0.65 término que viene representado en  $kg/m^3$  (ver (9) y (10))

$c$  velocidad del viento en m/s

$\beta$  ángulo de la superficie con la dirección del viento

$s$  área de superficie en  $m^2$

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.2 Acción del viento. Ejemplo numérico 11.

**Calcular las fuerzas y momento a que está sometido un panel, de 1.6 x 0.8 m, si se coloca:**

- a) con el lado más corto apoyado en el suelo**
- b) con el lado más largo apoyado en el suelo**

**Se sabe que el panel se instala sobre el suelo con una inclinación de  $\beta = 30^\circ$  respecto a la horizontal y que la fuerza del viento, F, es de 321 N.**

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.2 Acción del viento. Ejemplo numérico 11 (Pasos)

##### **Pasos 1 y 2: Cálculo de las fuerzas y momentos relativas a la ecuación (11) para la opción A y B**

###### Opción A ( $l=1.6$ m)

$$F_n = F \cdot \sin(\beta)$$

$$F_t = F \cdot \cos(\beta) \quad (11)$$

$$F_e = F_n/2$$

$$M_e = l \cdot F_e$$

###### Opción B ( $l=0.8$ m)

$$F_n = F \cdot \sin(\beta)$$

$$F_t = F \cdot \cos(\beta) \quad (11)$$

$$F_e = F_n/2$$

$$M_e = l \cdot F_e$$

donde:

$F$  fuerza resultante del viento (en N)

$\beta$  ángulo de la superficie con la dirección del viento

$F_n$  fuerza normal de la fuerza resultante del viento (en N)

$F_t$  fuerza tangencial de la fuerza resultante del viento (en N)

$F_e$  fuerza aplicada sobre el extremo superior del panel (en N)

$M_e$  momento (en N·m)

$l$  longitud del panel (en m)



## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.2 Acción del viento. Ejemplo numérico 11 (Pasos)

#### **Pasos 1 y 2: Cálculo de las fuerzas y momentos relativas a la ecuación (11) para la opción A y B**

##### Opción A ( $l=1.6$ m)

$$F_n = F \cdot \sin(\beta)$$

$$F_t = F \cdot \cos(\beta) \quad (11)$$

$$F_e = F_n/2$$

$$M_e = l \cdot F_e$$

##### Opción B ( $l=0.8$ m)

$$F_n = F \cdot \sin(\beta)$$

$$F_t = F \cdot \cos(\beta) \quad (11)$$

$$F_e = F_n/2$$

$$M_e = l \cdot F_e$$

donde:

$F$  fuerza resultante del viento (en N)

$\beta$  ángulo de la superficie con la dirección del viento

$F_n$  fuerza normal de la fuerza resultante del viento (en N)

$F_t$  fuerza tangencial de la fuerza resultante del viento (en N)

$F_e$  fuerza aplicada sobre el extremo superior del panel (en N)

$M_e$  momento (en N·m)

$l$  longitud del panel (en m)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.2 Acción del viento. Ejemplo numérico 11.

##### Opción A

$$F_n = F \cdot \sin(\beta) = 321 \cdot \sin(30) = 160.5 \text{ N}$$
$$F_t = F \cdot \cos(\beta) = 321 \cdot \cos(30) = 278.0 \text{ N} \quad (11)$$

$$F_e = F_n/2 = \frac{160.5}{2} = 80.25 \text{ N}$$

$$M_e = l \cdot F_e = 1.6 \cdot 80.25 = 128.4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

##### Opción B

$$F_n = F / \sin(\beta) = 321 \cdot \sin(30) = 160.5 \text{ N}$$
$$F_t = F / \cos(\beta) = 321 \cdot \cos(30) = 278.0 \text{ N} \quad (11)$$

$$F_e = F_n/2 = \frac{160.5}{2} = 80.25 \text{ N}$$

$$M_e = l \cdot F_e = 0.8 \cdot 80.25 = 64.2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

donde:

- $F$  fuerza resultante del viento (en N)
- $\beta$  ángulo de la superficie con la dirección del viento
- $F_n$  fuerza normal de la fuerza resultante del viento (en N)
- $F_t$  fuerza tangencial de la fuerza resultante del viento (en N)
- $F_e$  fuerza aplicada sobre el extremo superior del panel (en N)
- $M_e$  momento (en N·m)
- $l$  longitud del panel (en m)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.3 Tensiones de origen térmico

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

Para la temperatura comprendida entre 0 y 100 °C, el coeficiente de dilatación vale:

Para el acero:  $\delta = 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Para el aluminio:  $\delta = 2.38 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

donde

$\Delta L$  dilatación o contracción (en m)

$L$  longitud del elemento (en m)

$\delta$  coeficiente de dilatación lineal en  $^\circ\text{C}^{-1}$

$\Delta T$  variación de temperatura (en °C)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.3 Tensiones de origen térmico (Ejemplo numérico 12)

**Una fila de paneles tiene una longitud de 15 m y se instala cuando la temperatura ambiente es de 15 °C. Calcular la variación de su longitud anual si la temperatura máxima en verano es 35 °C y la mínima en invierno -10 °C, si la estructura se construye:**

- a) en acero y**
- b) en aluminio**

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.3 Tensiones de origen térmico (Ejemplo numérico 12; Pasos I/II)

**Paso 1:** Cálculo de la dilatación en verano para el acero

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 2:** Cálculo de la dilatación en invierno para el acero

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 3:** Cálculo de la variación anual (dilatación en verano – dilatación en invierno)

Para la temperatura comprendida entre 0 y 100 °C, el coeficiente de dilatación vale:

Para el acero:  $\delta = 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Para el aluminio:  $\delta = 2.38 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

donde

$\Delta L$  dilatación o contracción (en m)

$L$  longitud del elemento (en m)

$\delta$  coeficiente de dilatación lineal en  $^\circ\text{C}^{-1}$

$\Delta T$  variación de temperatura (en °C)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.3 Tensiones de origen térmico (Ejemplo numérico 12; Pasos II/II)

**Paso 4:** Cálculo de la dilatación en verano para el aluminio

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 5:** Cálculo de la dilatación en invierno para el aluminio

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 6:** Cálculo de la variación anual (dilatación en verano – dilatación en invierno)

Para la temperatura comprendida entre 0 y 100 °C, el coeficiente de dilatación vale:

Para el acero:  $\delta = 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Para el aluminio:  $\delta = 2.38 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

donde

$\Delta L$  dilatación o contracción (en m)

$L$  longitud del elemento (en m)

$\delta$  coeficiente de dilatación lineal en  $^\circ\text{C}^{-1}$

$\Delta T$  variación de temperatura (en °C)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.3 Tensiones de origen térmico (Ejemplo numérico 12; Pasos I/II)

**Paso 1:** Cálculo de la dilatación en verano para el acero

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 2:** Cálculo de la dilatación en invierno para el acero

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 3:** Cálculo de la variación anual (dilatación en verano – dilatación en invierno)

Para la temperatura comprendida entre 0 y 100 °C, el coeficiente de dilatación vale:

Para el acero:  $\delta = 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Para el aluminio:  $\delta = 2.38 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

donde

$\Delta L$  dilatación o contracción (en m)

$L$  longitud del elemento (en m)

$\delta$  coeficiente de dilatación lineal en  $^\circ\text{C}^{-1}$

$\Delta T$  variación de temperatura (en °C)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.3 Tensiones de origen térmico (Ejemplo numérico 12; Pasos II/II)

**Paso 4:** Cálculo de la dilatación en verano para el aluminio

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 5:** Cálculo de la dilatación en invierno para el aluminio

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 6:** Cálculo de la variación anual (dilatación en verano – dilatación en invierno)

Para la temperatura comprendida entre 0 y 100 °C, el coeficiente de dilatación vale:

Para el acero:  $\delta = 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Para el aluminio:  $\delta = 2.38 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

donde

$\Delta L$  dilatación o contracción (en m)

$L$  longitud del elemento (en m)

$\delta$  coeficiente de dilatación lineal en  $^\circ\text{C}^{-1}$

$\Delta T$  variación de temperatura (en °C)



## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.3 Tensiones de origen térmico (Ejemplo numérico 12; Pasos I/II)

**Paso 1:** Cálculo de la dilatación en verano para el acero

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 2:** Cálculo de la dilatación en invierno para el acero

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 3:** Cálculo de la variación anual (dilatación en verano – dilatación en invierno)

Para la temperatura comprendida entre 0 y 100 °C, el coeficiente de dilatación vale:

Para el acero:  $\delta = 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Para el aluminio:  $\delta = 2.38 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

donde

$\Delta L$  dilatación o contracción (en m)

$L$  longitud del elemento (en m)

$\delta$  coeficiente de dilatación lineal en  $^\circ\text{C}^{-1}$

$\Delta T$  variación de temperatura (en °C)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.3 Tensiones de origen térmico (Ejemplo numérico 12; Solución I/II)

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

a) Construcción en acero

$$\text{Dilatación en verano: } \Delta L = 15 \cdot 1.23 \cdot 10^{-5} \cdot (35 - 15) = 3.69 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Dilatación en invierno: } \Delta L = 15 \cdot 1.23 \cdot 10^{-5} \cdot (-10 - 15) = -4.62 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Variación anual: } \Delta L = [3.69 - (-4.62)] \cdot 10^{-3} = 8.31 \cdot 10^{-3} \text{ m (8.31 mm)}$$

Para la temperatura comprendida entre 0 y 100 °C, el coeficiente de dilatación vale:

$$\text{Para el acero: } \delta = 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\text{Para el aluminio: } \delta = 2.38 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

donde

$\Delta L$  dilatación o contracción (en m)

$L$  longitud del elemento (en m)

$\delta$  coeficiente de dilatación lineal en  $^{\circ}\text{C}^{-1}$

$\Delta T$  variación de temperatura (en °C)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.3 Tensiones de origen térmico (Ejemplo numérico 12; Pasos II/II)

**Paso 4:** Cálculo de la dilatación en verano para el aluminio

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 5:** Cálculo de la dilatación en invierno para el aluminio

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

**Paso 6:** Cálculo de la variación anual (dilatación en verano – dilatación en invierno)

Para la temperatura comprendida entre 0 y 100 °C, el coeficiente de dilatación vale:

Para el acero:  $\delta = 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Para el aluminio:  $\delta = 2.38 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

donde

$\Delta L$  dilatación o contracción (en m)

$L$  longitud del elemento (en m)

$\delta$  coeficiente de dilatación lineal en  $^\circ\text{C}^{-1}$

$\Delta T$  variación de temperatura (en °C)

## 4. Campo de colectores

### 4.5 Anclaje y soporte de los paneles

#### 4.5.3 Tensiones de origen térmico (Ejemplo numérico 12; Solución II/II)

$$\Delta L = L \cdot \delta \cdot \Delta T \quad (12)$$

a) Construcción en aluminio

$$\text{Dilatación en verano: } \Delta L = 15 \cdot 2.38 \cdot 10^{-5} \cdot (35 - 15) = 7.14 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Dilatación en invierno: } \Delta L = 15 \cdot 2.38 \cdot 10^{-5} \cdot (-10 - 15) = -8.93 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\text{Variación anual: } \Delta L = [7.14 - (-8.93)] \cdot 10^{-3} = 16.07 \cdot 10^{-3} \text{ m (16.07 mm)}$$

Para la temperatura comprendida entre 0 y 100 °C, el coeficiente de dilatación vale:

$$\text{Para el acero: } \delta = 1.23 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\text{Para el aluminio: } \delta = 2.38 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

donde

$\Delta L$  dilatación o contracción (en m)

$L$  longitud del elemento (en m)

$\delta$  coeficiente de dilatación lineal en  $^{\circ}\text{C}^{-1}$

$\Delta T$  variación de temperatura (en °C)

# FOTOVOLTAICA, BIOMASA Y COGENERACION

*FIN*

*¿¿¿¿PREGUNTAS????*

*GRACIAS POR SU ATENCIÓN*

