

A p l i c a c i ó n d e l C T E H E 5:

Cálculo de una instalación fotovoltaica

Profesores: Blanca Giménez, Vicente (vblanca@csa.upv.es)
Castilla Cabanes, Nuria (ncastilla@csa.upv.es)
Cortés López, José Miguel (jocorlo1@csa.upv.es)
Martínez Antón, Alicia (almaran@csa.upv.es)
Pastor Villa, Rosa María (ropasvil@csa.upv.es)

Departamento: Construcciones Arquitectónicas

Centro: E.T.S. Arquitectura

1. RESUMEN DE LAS IDEAS CLAVE

El CTE (Código Técnico de la Edificación) es una normativa de obligado cumplimiento de imprescindible conocimiento para ejercer la profesión de arquitecto. Dentro del CTE, la introducción del Documento Básico (DB-HE) tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía.

Según el Artículo 15 de la Parte I de este CTE: **Exigencias básicas de ahorro de energía (HE)**

1. El objetivo del requisito básico "Ahorro de energía" consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los *edificios*, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su *proyecto, construcción, uso y mantenimiento*.
2. *Para satisfacer* este objetivo, los *edificios* se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en los apartados siguientes.
3. El Documento Básico "DB HE Ahorro de energía" especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía.

2. OBJETIVOS

Una vez el alumno lea este artículo será capaz de:

Realizar y entender cuál es procedimiento adecuado para cumplir con satisfacción las exigencias fundamentales del requisito básico de ahorro de energía, en concreto, el **Documento Básico HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica**, una normativa de obligado cumplimiento.

3. INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar, es fundamental para seguir el procedimiento tener como consulta el Documento Básico *CTE-HE: Ahorro de energía. HE-5*.

A través del siguiente enlace se tiene acceso directo a él:

<http://www.codigotecnico.org/index.php?id=33>

Ejemplo:

Datos:

Edificio "Centro de Negocios" con:

2000 m² de oficinas y

7000 m² de recinto ferial.

(Todo en un mismo edificio).

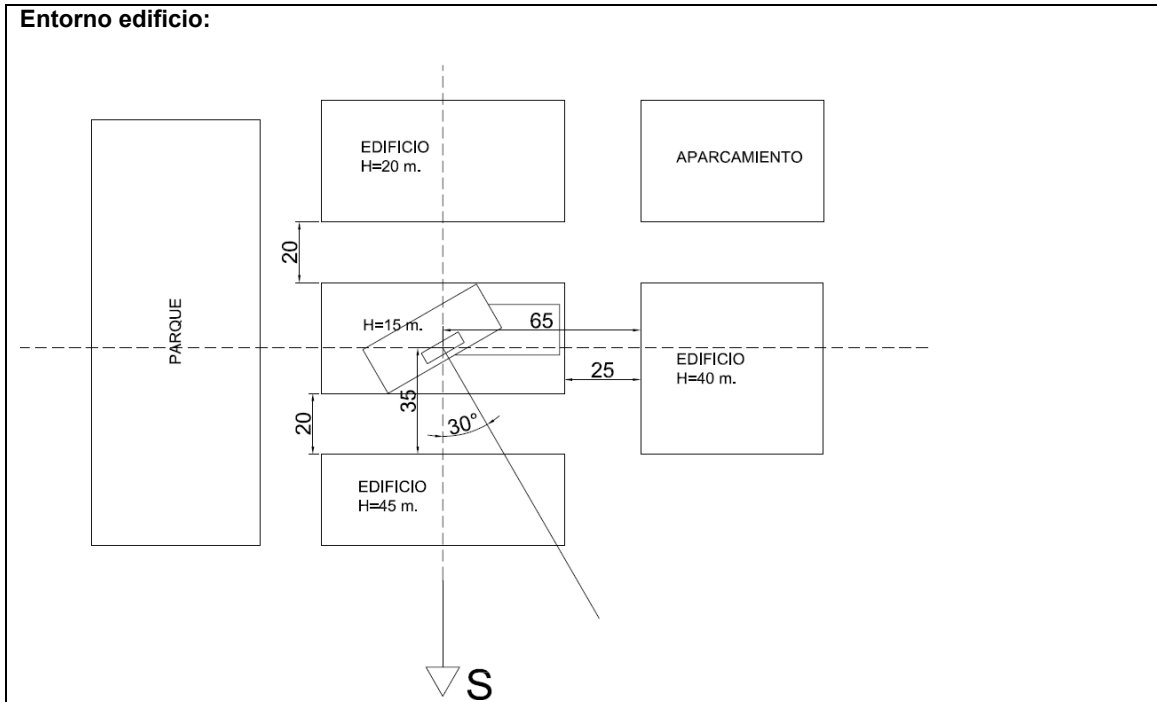
En Alicante ($\Phi=38'4^\circ$)

Cubierta inclinada a 1 agua. Los módulos fotovoltaicos irán SUPERPUESTOS. Tienen la misma inclinación que la cubierta, fijada en 35°. La orientación de los módulos será $\alpha= -30$ (este). La altura de nuestro edificio es **15 m**.

Calcular:

La potencia a instalar.

Comprobar las pérdidas por orientación e inclinación y por sombras



4. DESARROLLO

4.1 DETERMINACIÓN DE LA **POTENCIA** MÍNIMA A INSTALAR (Consultar: Apartado 2.2 CTE- HE 5)

$$P = C (A \cdot S + B) \quad [\text{kWp}]$$

Siendo:

P la potencia pico a instalar [kWp];

A y B los coeficientes definidos en la tabla 2.1 en función del uso del edificio;

C el coeficiente definido en la tabla 2.2 en función de la zona climática establecida en el apartado 3.1;

S la superficie construida del edificio [m²].

Alicante: Zona climática V ----- C = 1,4

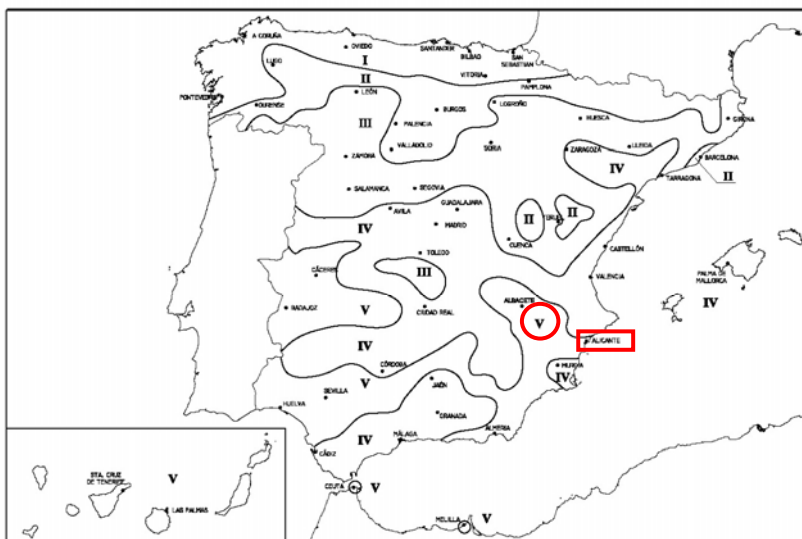


Figura 3.1 Zonas climáticas

Tabla 2.2 Coeficiente climático

Zona climática	C
I	1
II	1,1
III	1,2
IV	1,3
V	1,4

1. Oficinas:

$S=2.000 \text{ m}^2 < 4.000 \text{ m}^2$, en principio no sería obligatoria la instalación, pero está en un recinto con otros usos \Rightarrow Hay que comprobar la potencia total a instalar

$$P_{\text{oficinas}} = C (A \cdot S + B) = 1,4 (0,001223 \cdot 2.000 + 1,36) = 5,33 \text{ kWp}$$

A y B: Tabla 2.1 Coeficientes de uso

Tabla 2.1 Coeficientes de uso

Tipo de uso	A	B
Hipermercado	0,001875	-3,13
Multitienda y centros de ocio	0,004688	-7,81
Nave de almacenamiento	0,001406	-7,81
Administrativo	0,001223	1,36
Hoteles y hostales	0,003516	-7,81
Hospitales y clínicas privadas	0,000740	3,29
Pabellones de recintos feriales	0,001406	-7,81

1. Recinto ferial:

$S=7.000 \text{ m}^2 < 10.000 \text{ m}^2$, en principio no sería obligatoria la instalación, pero está en un recinto con otros usos \Rightarrow Hay que comprobar la potencia total a instalar

$$P_{\text{Recinto Ferial}} = C (A \cdot S + B) = 1,4 (0,001406 \cdot 7.000 + (-7,81)) = 2,85 \text{ kWp}$$

Tabla 2.1 Coeficientes de uso

Tipo de uso	A	B
Hipermercado	0,001875	-3,13
Multitienda y centros de ocio	0,004688	-7,81
Nave de almacenamiento	0,001406	-7,81
Administrativo	0,001223	1,36
Hoteles y hostales	0,003516	-7,81
Hospitales y clínicas privadas	0,000740	3,29
Pabellones de recintos feriales	0,001406	-7,81

Potencia total:

$$P_{\text{total}} = \sum P_{\text{oficinas}} + P_{\text{Recinto Ferial}} = 5,33 + 2,85 = 8,18 \text{ kWp} > 6,25 \text{ kWp}$$
, por tanto **sí** requiere instalación.

El siguiente paso sería buscar los módulos fotovoltaicos que cubran ese requerimiento, ver la superficie total de los paneles y prever el espacio en cubierta.

4.2 COMPROBACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN
(Ver apartado 3.3 CTE- HE 5)

El sistema que hemos elegido es SUPERPOSICIÓN, por tanto las pérdidas máximas permitidas son del 20%

Tabla 2.2 Pérdidas límite

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

Siguiendo los ejes principales de nuestro edificio hemos colocados los módulos, nos ha quedado así una orientación (ángulo azimut) de $\alpha = -30^\circ$ (este).

Nuestra cubierta tiene una inclinación de $\beta = 35^\circ$ (los módulos se superponen a esta cubierta y conservan la misma inclinación)

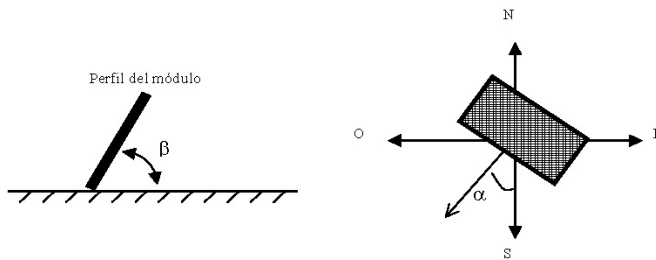


Figura 3.2 Orientación e inclinación de los módulos

1º Comprobamos las pérdidas:

a) Comprobación gráfica:

Comprobamos el rango de inclinación para la latitud $C = 41^\circ$ (que es la de la figura de referencia. CTE-DBE HE5. Figura 3.3) y unas pérdidas máximas del 20 %, para nuestra orientación $\alpha = -30^\circ$.

Se obtiene el rango.

$$\beta_{\max} = 65^\circ$$

$$\beta_{\min} = 5^\circ$$

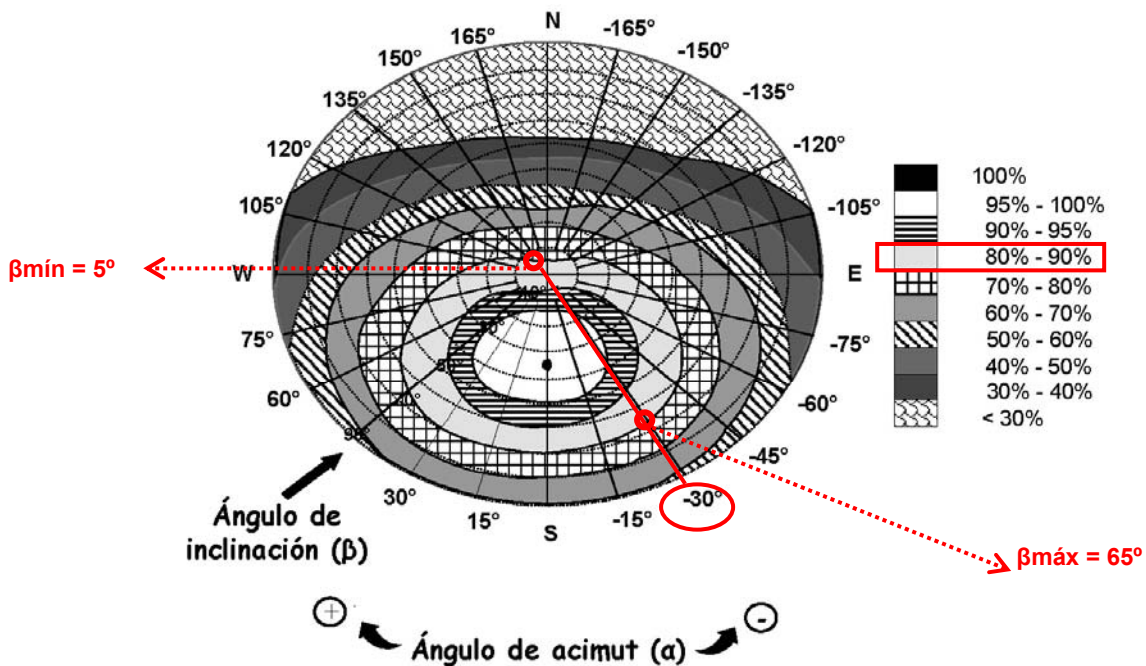


Figura 3.3. Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

Para nuestra latitud, $\Phi = 38,4^\circ$:

$$\beta_{\text{máx}} = 65^\circ - (41^\circ - 38,4^\circ) = 62,4^\circ$$

$$\beta_{\text{mín}} = 5^\circ - (41^\circ - 38,4^\circ) = 2,4^\circ \Rightarrow \text{vamos al mínimo de } 5^\circ$$

Nuestra inclinación para la orientación que tenemos y está dentro de ese rango, por tanto, tiene pérdidas admisibles.

b) Comprobación analítica:

Comprobación analítica de las pérdidas:

$$15^\circ < \beta < 90^\circ \Rightarrow P\% = 100 [1,2 \cdot 10^{-4} (\beta - \Phi + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2]$$

$$P\% = 100 [1,2 \cdot 10^{-4} (35 - 38,4 + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} (-30)^2] = 3,67\% < 20\%$$

Cumpliríamos para los tres casos (general, superposición e integración)

4.3. COMPROBACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE RADIACIÓN SOLAR POR SOMBRAS
(Consultar el Apartado 3.4 CTE- HE 5)

Tabla 2.2 Pérdidas límite

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

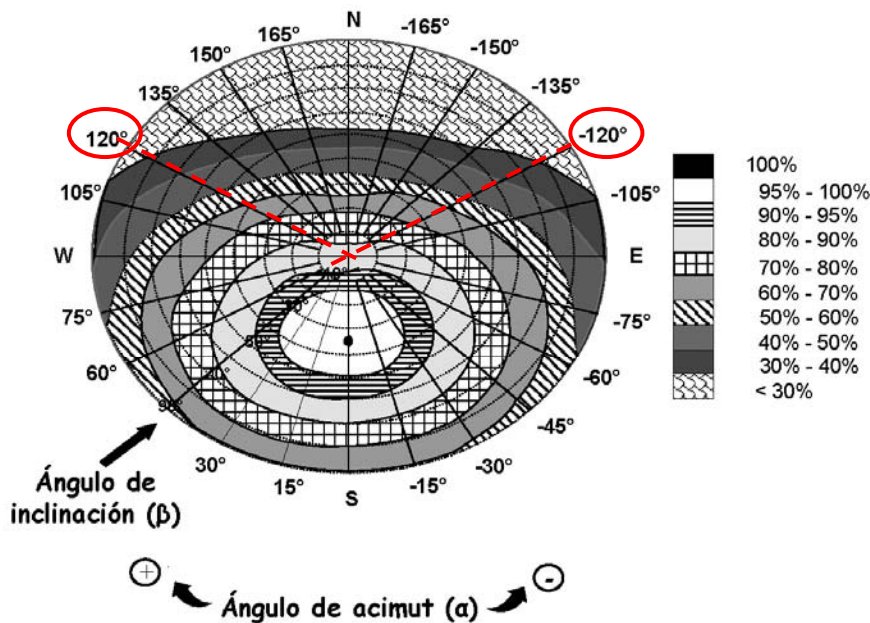
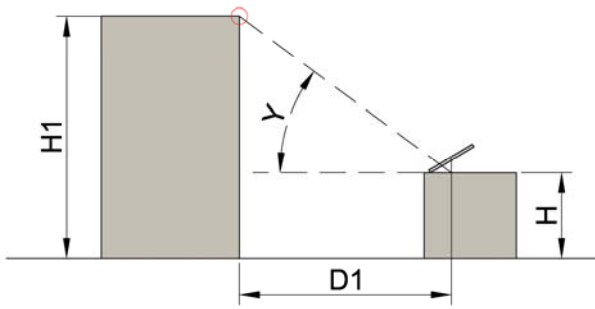


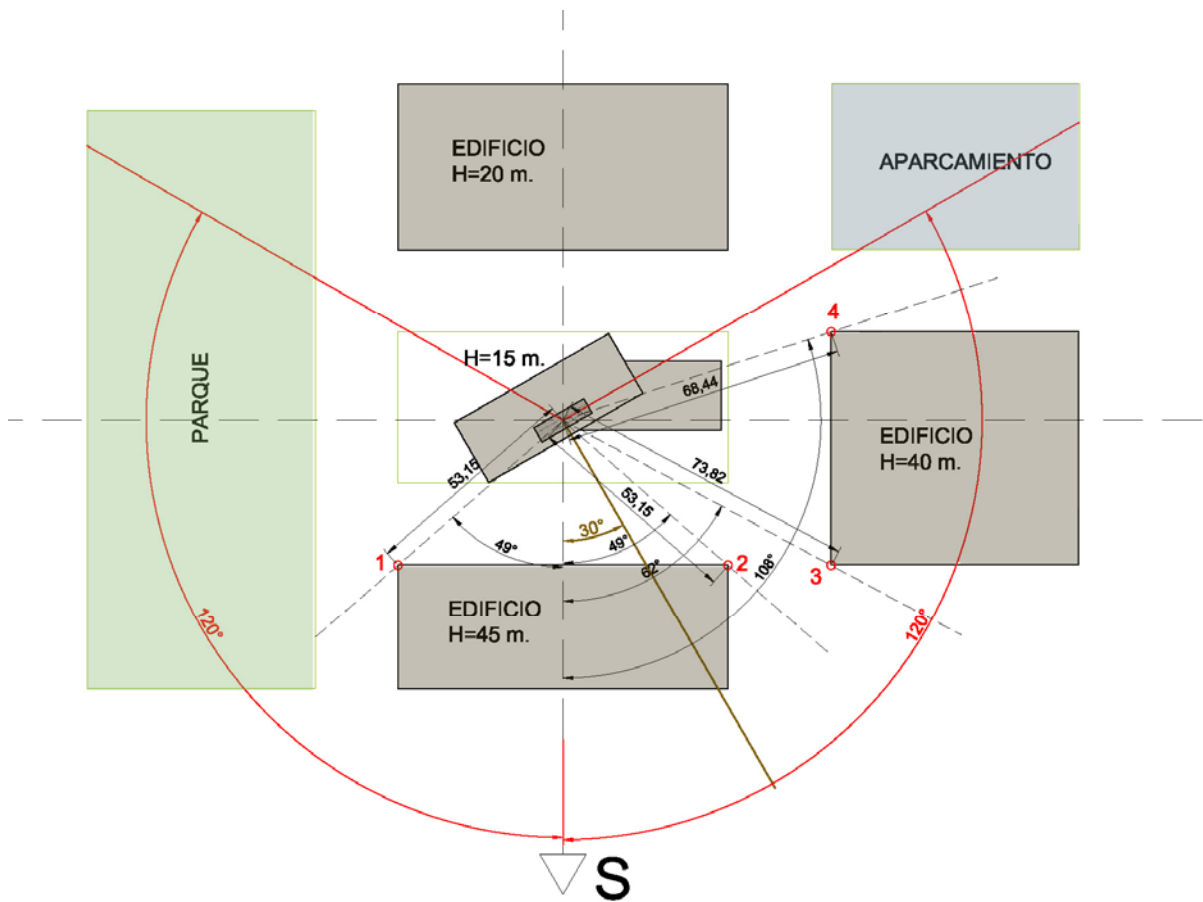
Figura 3.3.

Porcentaje de energía respecto al máximo como consecuencia de las pérdidas por orientación e inclinación.

Analizamos los obstáculos desde 120° hasta -120°, y tenemos los siguientes puntos:



Angulo de elevación (°) $\gamma = \arctg (H1-H / D1)$



PUNTO 1

$\gamma = \arctg (H1-H / D1) = \arctg 30/53,15) = 29,44^\circ$

PUNTO 2

$\gamma = \arctg (H1-H / D1) = \arctg (30/53,15) = 29,44^\circ$

PUNTO 3

$\gamma = \arctg (H1-H / D1) = \arctg (25/73,82) = 18,71^\circ$

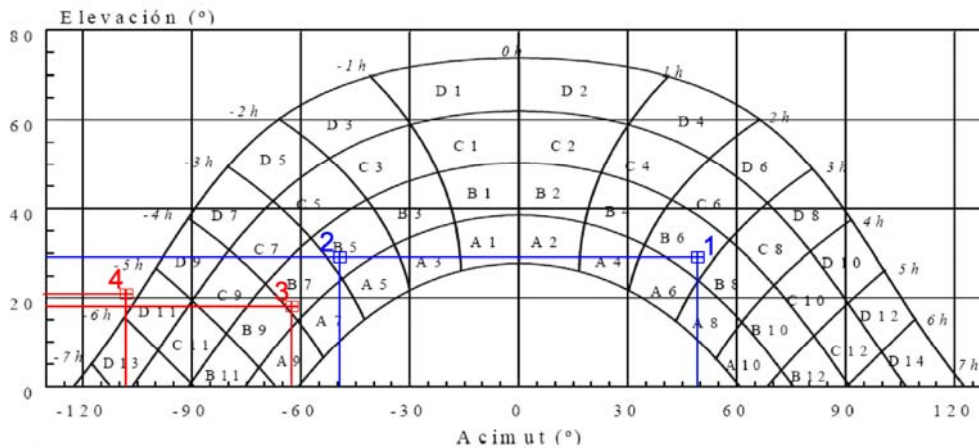
PUNTO 4

$\gamma = \arctg (H1-H / D1) = \arctg (25/68,44) = 20,06^\circ$

COORDENADAS PUNTOS

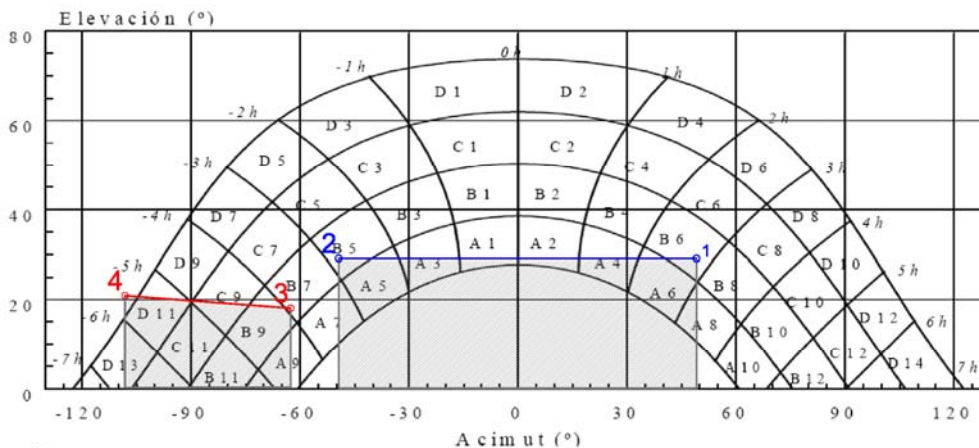
Punto	α (Acimut)	γ (Elevación)
1	49°	29,44°
2	-49°	29,44°
3	-62°	18,71°
4	-108°	20,06°

Representación del perfil de obstáculos (para los 4 puntos elegidos):



(1) los grados de ambas escalas son sexagesimales

Figura 3.4 Diagrama de trayectorias del sol



(1) los grados de ambas escalas son sexagesimales

Figura 3.4 Diagrama de trayectorias del sol

Bandas afectadas:

D13, D11, C11, C9, B11, B9, B5, B6, A9, A7, A5, A3, A1, A2, A4, A6, A8

Asignación del % de porción ocupada por la sombra.

Se consideran aproximaciones a 25, 50, 75 y 100%.

Aplicándose a todas las bandas: A, B, C y D, tenemos:

BANDAS

Porciones	% Ocupada	Coficiente	% Pérdidas
D13	50 %	0,22	0,11
D11	75 %	1,26	0,945
C11	100 %	0,37	0,37
C9	25 %	1,05	0,2625
B11	100 %	0,03	0,03
B9	75 %	0,70	0,525
B5	25 %	1,79	0,4475
B6	25 %	1,11	0,2775
A9	50 %	0,21	0,105
A7	25 %	1,34	0,335
A5	100 %	2,17	2,17
A3	50 %	2,90	1,45
A1	25 %	3,12	0,78
A2	25 %	2,88	0,72
A4	50 %	2,22	1,11
A6	100 %	1,27	1,27
A8	25 %	0,52	0,13
ΣTOTAL			11,0375

(CTE) Tabla de referencia C.2: $\beta = 35^\circ$, $\alpha = -30^\circ$

Tabla C.2

	$\beta=90^\circ ; \alpha=30^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=60^\circ$				$\beta=90^\circ ; \alpha=60^\circ$				$\beta=35^\circ ; \alpha=-30^\circ$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
13	0,10	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,22
11	0,06	0,01	0,15	0,51	0,00	0,00	0,08	0,16	0,00	0,01	0,27	0,78	0,00	0,03	0,37	1,26
9	0,56	0,06	0,14	0,43	0,02	0,04	0,04	0,02	0,09	0,21	0,33	0,76	0,21	0,70	1,05	2,50
7	1,80	0,04	0,07	0,31	0,02	0,13	0,31	1,02	0,21	0,18	0,27	0,70	1,34	1,28	1,73	3,79
5	3,06	0,55	0,22	0,11	0,64	0,68	0,97	2,39	0,10	0,11	0,21	0,52	2,17	1,79	2,21	4,70
3	4,14	1,16	0,87	0,67	1,55	1,24	1,59	3,70	0,45	0,03	0,05	0,25	2,90	2,05	2,43	5,20
1	4,87	1,73	1,49	1,86	2,35	1,74	2,12	4,73	1,73	0,80	0,62	0,55	3,12	2,13	2,47	5,20
2	5,20	2,15	1,88	2,79	2,85	2,05	2,38	5,40	2,91	1,56	1,42	2,26	2,88	1,96	2,19	4,77
4	5,02	2,34	2,02	3,29	2,86	2,14	2,37	5,53	3,59	2,13	1,97	3,60	2,22	1,60	1,73	3,91
6	4,46	2,28	2,05	3,36	2,24	2,00	2,27	5,25	3,35	2,43	2,37	4,45	1,27	1,11	1,25	2,84
8	3,54	1,92	1,71	2,98	1,51	1,61	1,81	4,49	2,67	2,35	2,28	4,65	0,52	0,57	0,65	1,64
10	2,26	1,19	1,19	2,12	0,23	0,94	1,20	3,18	0,47	1,64	1,82	3,95	0,02	0,10	0,15	0,50
12	1,17	0,12	0,53	1,22	0,00	0,09	0,52	1,96	0,00	0,19	0,97	2,93	0,00	0,00	0,03	0,05
14	0,22	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,08

TOTAL PÉRDIDAS POR SOMBRAS = 11,04 % < 15 %

Si hubiéramos optado por el caso general sobrepasaríamos el límite (por poco)

5. CIERRE

A través del ejemplo se ha podido observar cómo se realiza el procedimiento adecuado para cumplir con satisfacción las exigencias fundamentales del **Documento Básico HE 5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica**.

Para ello, se ha seguido el siguiente esquema:

- 1 **DETERMINAR LA POTENCIA MÍNIMA A INSTALAR**
(Apartado 2.2 CTE- HE 5)
- 2 **COMPROBAR LAS PÉRDIDAS DE RADIACIÓN SOLAR POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN**
(Apartado 3.3 CTE- HE 5)
3. **COMPROBAR LAS PÉRDIDAS DE RADIACIÓN SOLAR POR SOMBRAS**
(Apartado 3.4 CTE- HE 5)

Como ejercicio siguiente y para afianzar los conocimientos obtenidos, se propone con el mismo enunciado, cambiar la ubicación del edificio de Alicante a Santander y dedicar toda la edificación a hotel. En este caso, la orientación de los módulos será $\alpha = -15$ (este).

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE), en concreto el Documento Básico «DB - HE Ahorro de Energía – HE 5».
- [2] Romero Sedó, Antonio Manuel; Arrué Burillo, Paloma; Aparicio Fernández, Carolina
Análisis del documento básico ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación (DB-HE), Editorial UPV, D.L., Valencia, 2007.