

Proyectos de energía renovable del futuro: lo que la Ingeniería Civil tiene que decir



PANELES SOBRE TECHOS Y AZOTEAS



PANELES SOBRE TERRENO







El viento: aliado o enemigo



Viento: ¿puede ser un aliado de los paneles solares?

MEJORA LA TEMPERATURA DE TRABAJO

Los paneles solares pierden eficiencia cuando se calientan demasiado. Su rendimiento puede caer entre un 10% y un 25%.

El viento al circular por encima de los paneles, ayuda a disipar el calor, enfriando su superficie. Esto se traduce en una pequeña mejora en la producción. En general, un rango de velocidades de viento de 1 a 5,8 m/s provoca caídas de temperatura del módulo de 1 a 14°C y ganancias de eficiencia de hasta un 6,5% aproximadamente.



Viento: ¿puede ser un aliado de los paneles solares?

MENOS POLVO ACUMULADO

El viento moderado también puede reducir la acumulación de polvo y suciedad ligera, manteniendo las placas más limpias durante más tiempo y favoreciendo una mejor captación solar.



¿Cómo afecta el viento a los paneles solares?



Viento: ¿puede afectar el funcionamiento de los paneles solares?

DAÑOS ESTRUCTURALES

En zonas expuestas al viento (azoteas, terrenos elevados, zonas rurales), una mala instalación puede derivar en movimientos, desprendimientos o daños en las fijaciones.

Un buen cálculo estructural y una fijación profesional son clave en cualquier proyecto fotovoltaico.



¿Cómo afecta el viento a los paneles solares?

FALLOS DE MONTAJE

El eslabón más débil es el sistema de montaje y su fijación al edificio.

El daño por viento más común es debido al levantamiento de los paneles y arranque de sus fijaciones

La presión puede arrancar el panel de su soporte de montaje o incluso arrancar el propio soporte



La mayoría de los módulos solares se someten a pruebas de resistencia a vientos fuertes, por lo que si hay algún daño, suele estar más relacionado con una mala fijación del panel a la estructura de soporte o el anclaje al tejado.

¿Cómo afecta el viento a los paneles solares?

TENSIÓN ESTRUCTURAL Y AGRIETAMIENTO DEL VIDRIO Y CÉLULAS POR VIBRACIONES

Los vientos fuertes flexionan y hacen vibrar los paneles solares. Si el viento es muy fuerte, el vidrio del panel puede agrietarse o las células pueden sufrir microrroturas.

Los vientos que superan los 100-120 km/h (aproximadamente 28-33 m/s) se consideran lo suficientemente fuertes

Este tipo de daño puede no ser visible de inmediato (microgrietas), pero reduce la producción o terminará por provocar fallos con el tiempo.



¿Cómo afecta el viento a los paneles solares?

IMPACTOS DE ESCOMBROS VOLADORES:

Las tormentas de viento suelen arrastrar escombros y suciedad que pueden golpear los paneles.

El viento con suficiente fuerza para levantar y lanzar escombros sueltos (ramas, fragmentos de tejados, etc.) con una velocidad muy dañina se da aproximadamente por encima de los 90-100 km/h (25-28 m/s).

En ese sentido los paneles utilizan vidrio templado, que es muy resistente siempre que supere los 3-4 mm de grosor.



¿Cómo afecta el viento a los paneles solares?

DAÑOS ELÉCTRICOS Y DE OTRO TIPO:

El viento a veces puede desconectar el cableado o los conectores si no están bien sujetos y conectados.

En casos de que un panel se desprenda de una cadena, esto puede ejercer tensión en el cableado o romper la serie del string por lo que se podrían dañar eléctricamente el resto de equipos del sistema fotovoltaico



Tipos de estructuras para soporte de paneles

Los principales tipos de estructuras son las siguientes:

- Cimentación por zapatas de hormigón
- Anclajes de tornillo helicoidal (pilotes helicoidales)
- Estructuras lastradas
- Anclajes químicos y mecánicos de expansión

CIMENTACIÓN POR ZAPATAS DE HORMIGÓN



- Descripción Técnica: Sistema de cimentación superficial o semiprofunda que implica la excavación de un dado de cimentación, la colocación de los anclajes (pernos o esperas) del poste o estructura, y el hormigonado posterior (puede ser in situ o mediante bloques prefabricados). Transfiere las cargas al terreno principalmente por gravitación.
- Ventajas Técnicas: Proporciona una sujeción masiva y extremadamente fiable. Es la solución más versátil desde el punto de vista geotécnico, ya que se adapta a una amplia variedad de terrenos, incluyendo aquellos con baja capacidad portante, ya que la superficie de apoyo puede dimensionarse para repartir la carga



ANCLAJES DE TORNILLO HELICOIDAL (PILOTES HELICOIDALES)

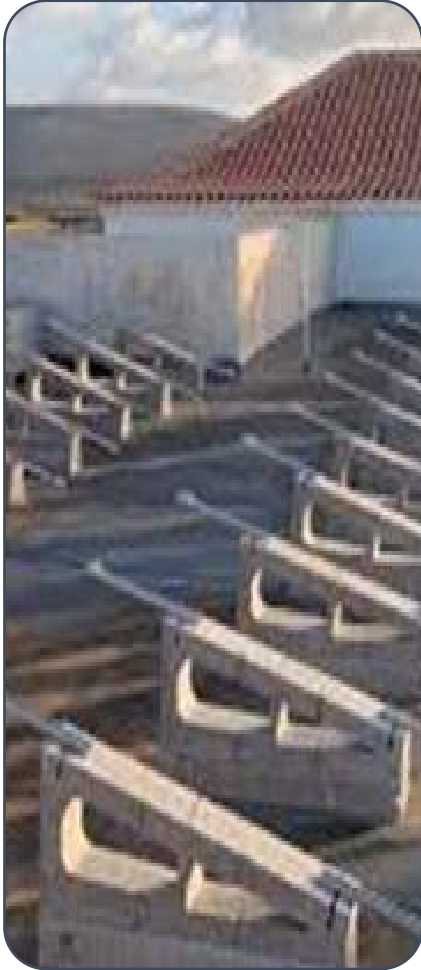
- **Descripción Técnica:** Elementos de cimentación profunda consistentes en un fuste tubular o macizo de acero al que se sueldan una o varias hélices en su extremo. Se instalan mediante la aplicación de un par de torsión con maquinaria hidráulica, "atornillándolos" en el terreno hasta alcanzar la profundidad y el par de apriete especificados en el proyecto.
- **Ventajas Técnicas:** Instalación rápida, precisa y silenciosa. No genera excavación ni residuos. Ofrecen una alta capacidad de carga tanto por punta (las hélices) como por fuste. Son fácilmente extraíbles, lo que los hace idóneos para instalaciones temporales o con requisitos de desmantelamiento.



ANCLAJES QUÍMICOS Y MECÁNICOS DE EXPANSIÓN:

Químicos: Sistema de fijación por adherencia. Consiste en taladrar un orificio en la roca o el hormigón, limpiarlo a fondo, inyectar una resina sintética (de poliéster, viniléster o epoxi) e introducir una varilla roscada. La resina fragua, creando una unión monolítica entre el anclaje y el sustrato.

Expansión: Fijación por fricción. Se introduce un casquillo metálico en el taladro que, al apretar el tornillo o la tuerca, se expande contra las paredes del orificio, generando la sujeción.



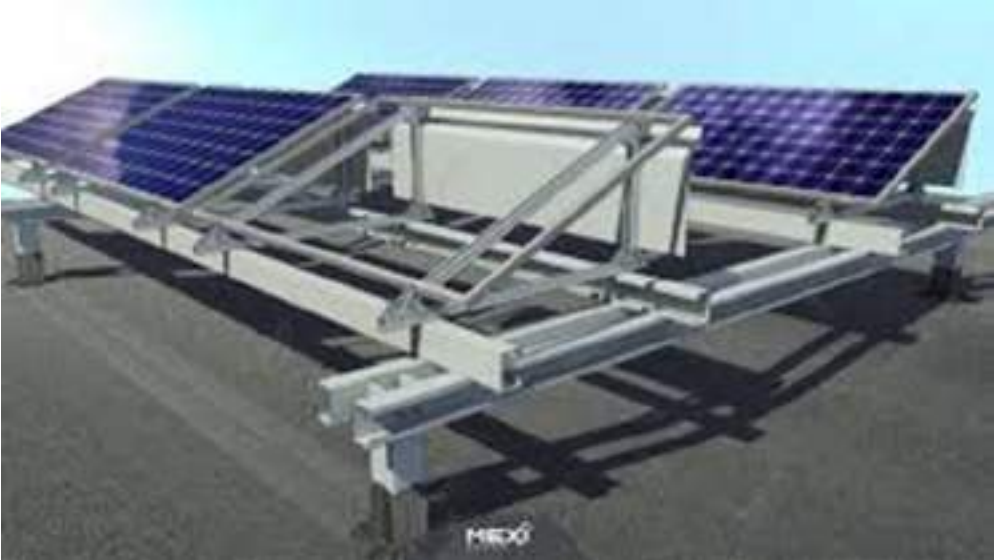
SISTEMAS DE FIJACIÓN POR LASTRE O GRAVEDAD

- Descripción Técnica: Sistema no intrusivo que basa la estabilidad de la estructura en la acción gravitatoria. La estructura se apoya sobre una superficie (generalmente una losa o el terreno compactado) y se lastra con bloques de hormigón prefabricado, ovoides o zapatas de hormigón, colocados estratégicamente sobre la propia estructura para resistir los esfuerzos de vuelco y deslizamiento.
- Ventajas Técnicas: No requiere perforación, hinca ni ningún tipo de unión mecánica con el terreno (no genera tensión en el sustrato). Es totalmente reversible y no altera la integridad del suelo, lo que simplifica el desmantelamiento y la restitución del estado original.

TIPOS DE INSTALACIONES DE PANELES EN TECHOS



TIPOS DE INSTALACIONES DE PANELES EN TECHOS



TIPOS DE INSTALACIONES DE PANELES EN TECHOS

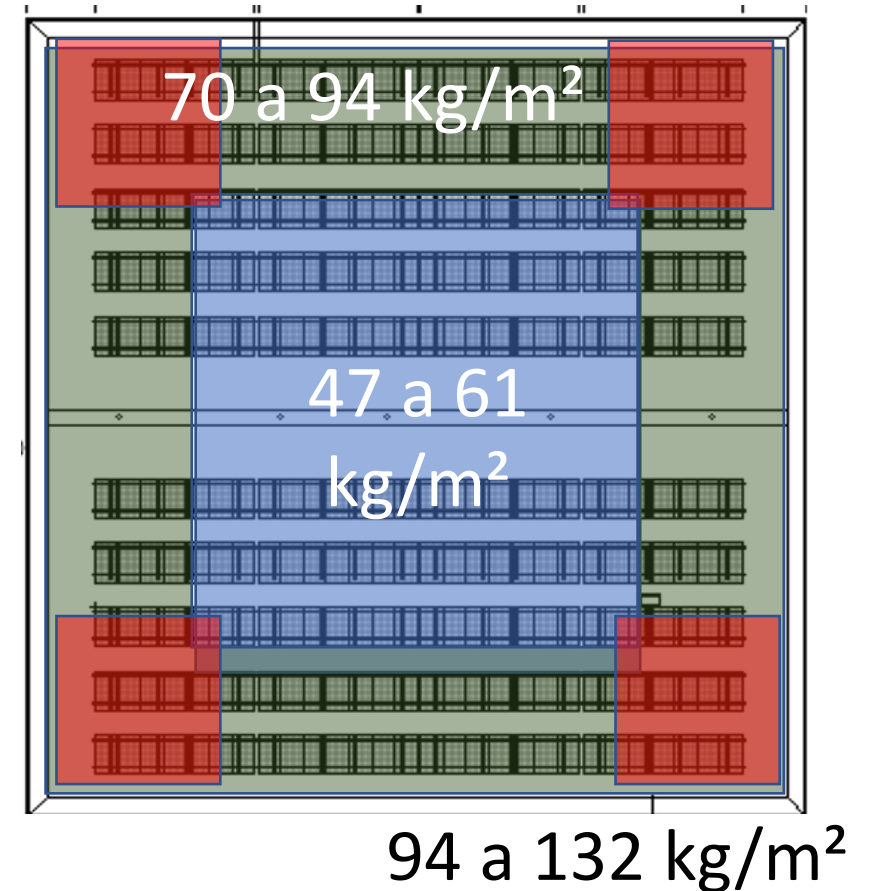


INSTALACIONES DE PANELES EN TECHOS

UBICACIÓN EN LA AZOTEA

- **ZONA INTERIOR (CAMPO)** : Es la zona más protegida, con menores cargas de viento.
- **ZONA DE BORDE (PERÍMETRO)**: Los paneles aquí experimentan cargas de viento significativamente mayores que en el interior.
- **ZONA DE ESQUINA**: Es la zona más crítica. Los paneles ubicados en las esquinas de la azotea soportan las fuerzas de succión (uplift) más altas debido a la formación de vórtices .

Muchas marcas certifican que sus módulos soportan cargas de viento de 240 kg/m² o más



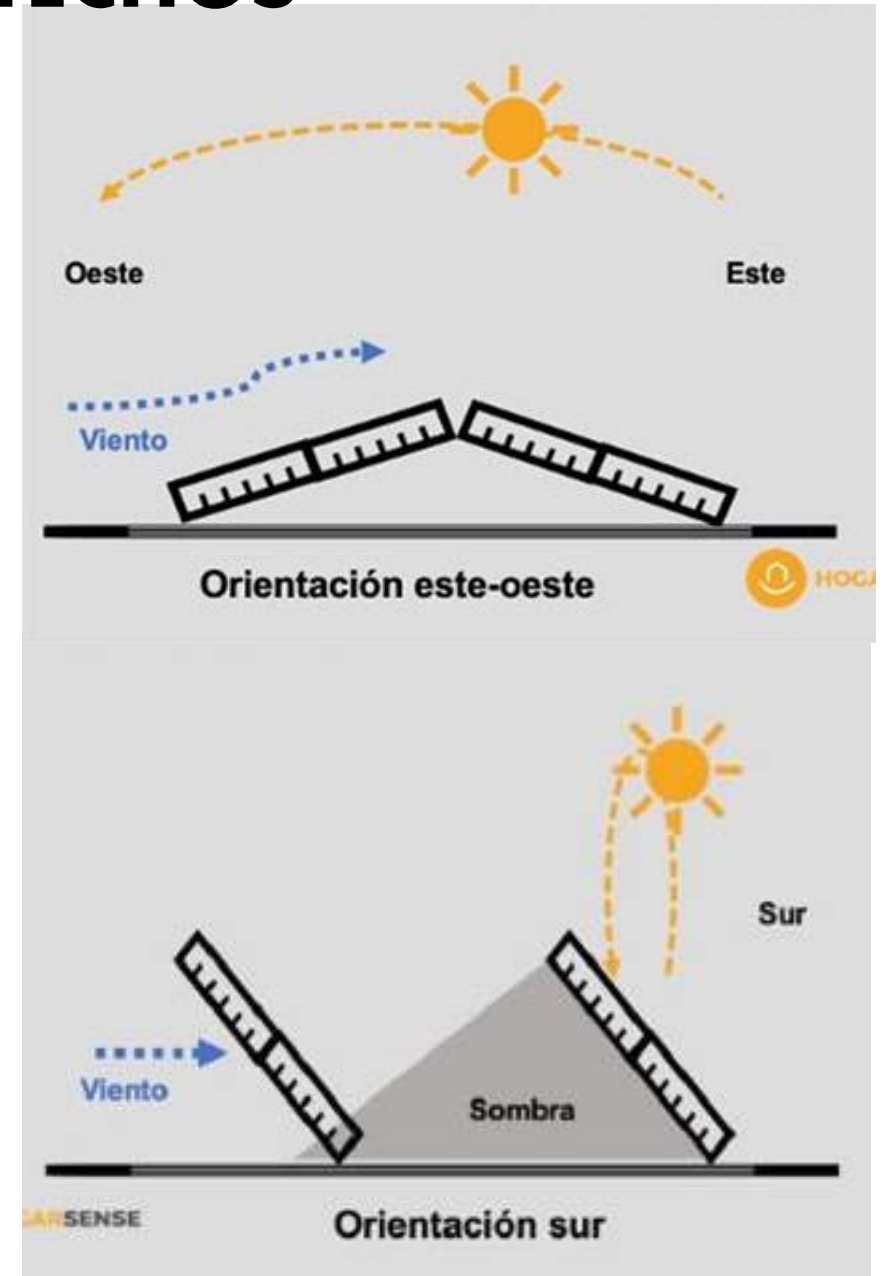
INSTALACIONES DE PANELES EN TECHOS

ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LOS PANELES

Este es otro de los parámetros más críticos . La inclinación modifica la aerodinámica del panel.

Ángulos pequeños (menores de 10°): Pueden permitir una ecualización de presiones entre la parte superior e inferior del panel, reduciendo la carga neta .

Ángulos mayores (mayores de 15°): Aumentan la superficie de impacto y generan una separación del flujo de aire en el borde superior, lo que puede producir fuerzas de succión muy grandes.





INSTALACIONES DE PANELES EN TECHOS

PRESENCIA DE PARAPETOS

Un parapeto es un muro perimetral en la azotea. Su altura es un factor de protección crucial.

- Sin parapeto Los paneles están completamente expuestos.
- Con parapeto Un parapeto actúa como un cortavientos. Los estudios demuestran que aumentar la altura del parapeto puede reducir significativamente las cargas de viento sobre los paneles .



NORMA CUBANA DE VIENTO

Determinación de la carga de viento sobre paneles solares

Tabla 63 – Coeficientes de presión, C_{pn} , para la superficie del panel.

ángulo del panel α	ángulo del viento θ	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F
15°	0°	1,85	1,65	1,5	0,9	0,65	0,4
	45°	1,6	1,55	1,05	1	-	-
	135°	-2,85	-2,5	-3,05	-1	-	-
	180°	-0,7	-0,9	-1,2	-1,3	-2	-3,2
23°	0°	2,65	2,3	2,2	1,7	1,2	0,7
	45°	2,75	2,1	1,8	1,65	-	-
	135°	-4,85	-	-	-	-	-

ACCIÓN DEL VIENTO EN ESTRUCTURAS

Wind actions on structures

ICS: 91.080.01

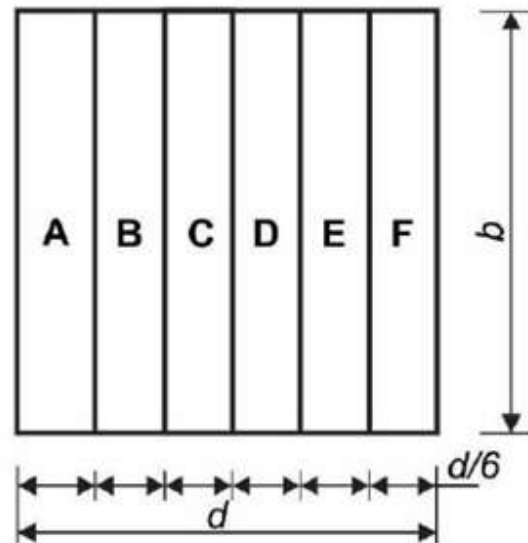
2ª Edición 2025

REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

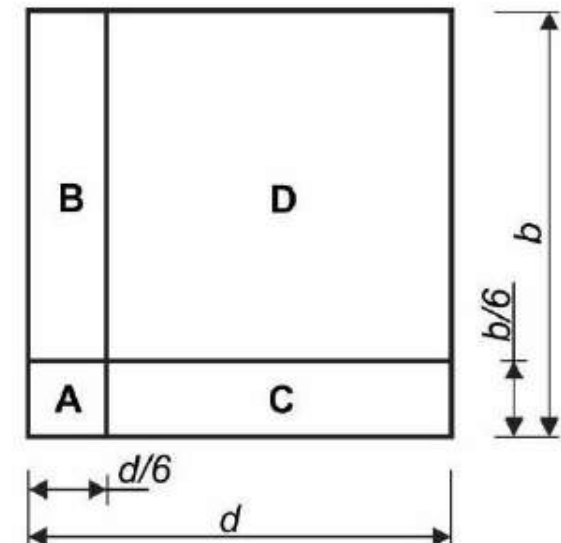
Dirección Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 251 Vedado, Ciudad de La Habana.
Teléfono: 7830-0835 Fax: (537) 835-9040 E-mail: nc@rechnerma.gob.cu; Sitio Web: www.rechnerma.gob.cu



Cuban National Bureau of Standards



a)



b)

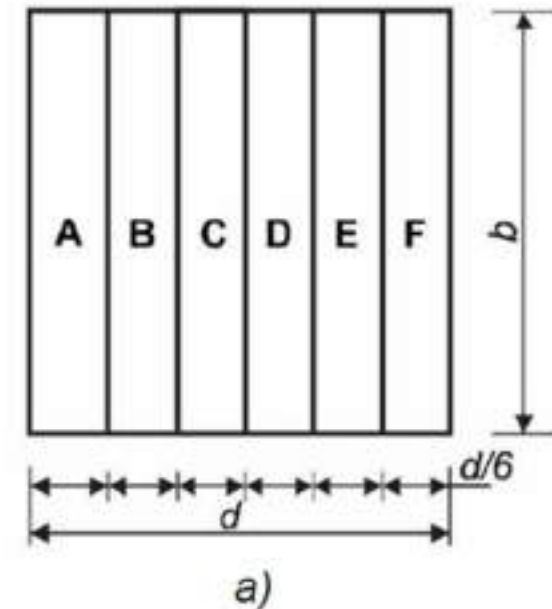
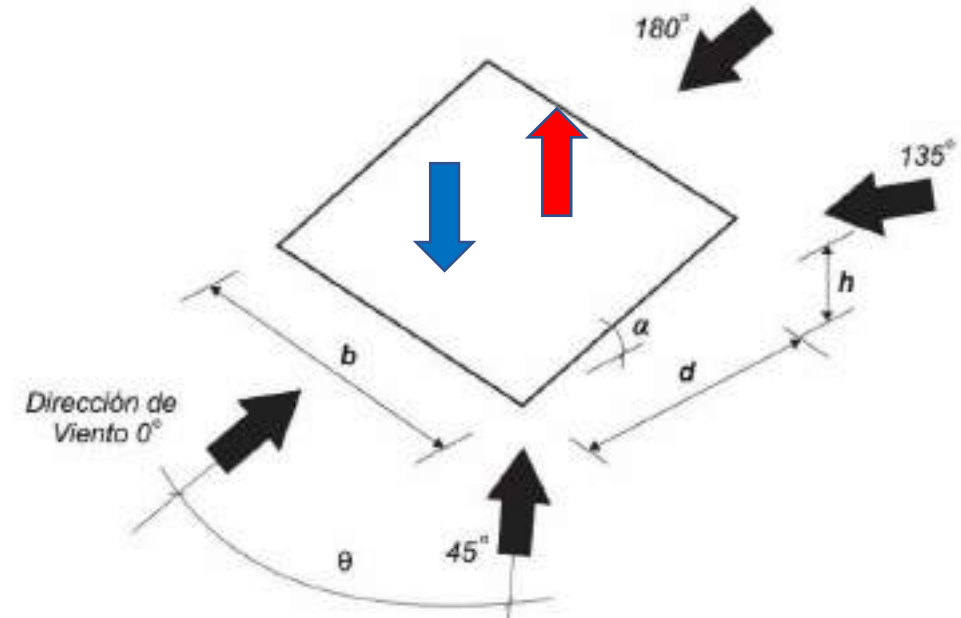
Mayor inclinación (23°) genera mayores cargas de viento, tanto positivas como negativas.

La dirección más crítica para presiones positivas es $\theta = 0^\circ$ y $\theta = 45^\circ$ (especialmente en Zona A).

La dirección más crítica para succiones es $\theta = 135^\circ$ (viento lateral) y $\theta = 180^\circ$ (viento trasero).

Las zonas de borde (A, F) son las más solicitadas, con variaciones extremas según la dirección del viento.

El diseño estructural debe considerar tanto las máximas presiones como las máximas succiones, que pueden ser hasta 5 veces mayores en valor absoluto para 23° que para 15° .



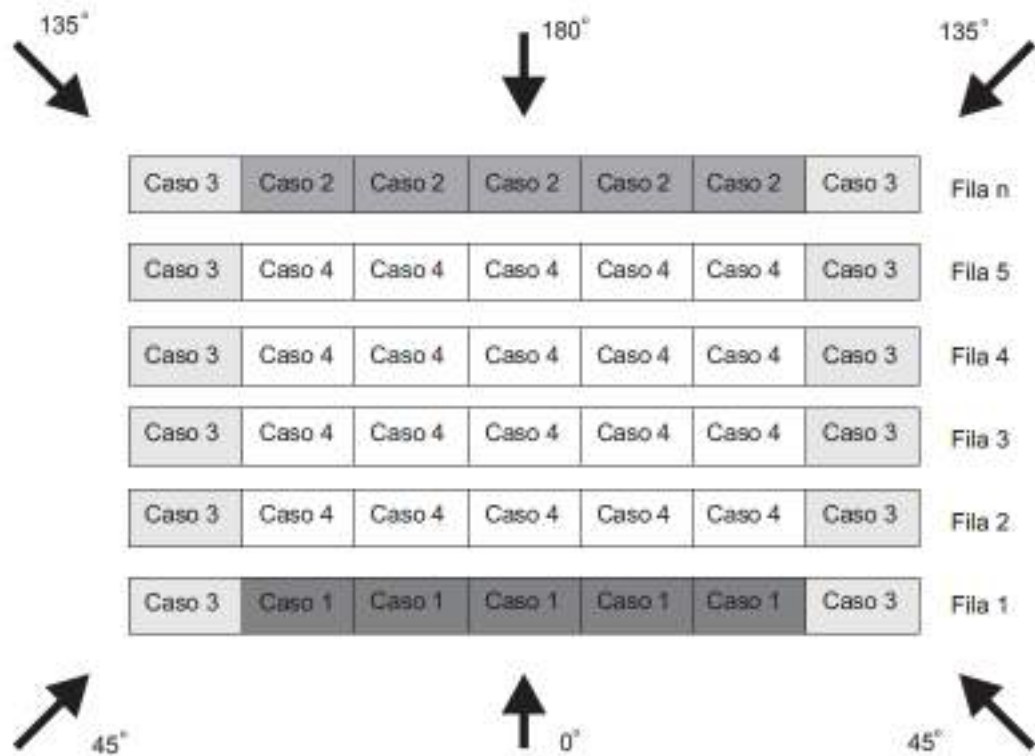


Figura 94 – Casos típicos de posiciones de panel en el parque fotovoltaico

Los paneles interiores (Caso 4) pueden tener reducciones de hasta el 60% para 180 grados y del 70% para 0 grados

Tabla 64 – Coeficientes de reducción por posición, C_{rp} , panel para la dirección de viento de 0°

	Separación entre columnas (a)	Separación entre filas (b)		
		1 m	2 m	3 m
Caso 1 Paneles de la primera fila	0 m	1,00	1,00	1,00
	1 m	1,00	1,00	1,00
	2 m	1,00	1,00	1,00
Caso 2 paneles de la última fila	1 m	0,30	0,30	0,30
	2 m	0,65	0,55	0,60
	3 m	0,40	0,45	0,40
Caso 3 Paneles de borde lateral	1 m	1,00	1,00	1,00
	2 m	1,00	1,00	1,00
	3 m	1,00	1,00	1,00
Caso 4 Paneles interiores	1 m	0,30	0,35	0,35
	2 m	0,55	0,60	0,60
	3 m	0,40	0,45	0,60

Tabla 65 – Coeficientes de reducción por posición, C_{rp} , panel para la dirección de viento de 180°

	Separación entre columnas (a)	Separación entre filas (b)		
		1 m	2 m	3 m
Caso 1 Paneles de la primera fila	0 m	0,65	0,75	0,75
	1 m	0,65	0,70	0,80
	2 m	0,55	0,65	0,70
Caso 2 paneles de la última fila	0 m	1,00	1,00	1,00
	1 m	1,00	1,00	1,00
	2 m	1,00	1,00	1,00
Caso 3 Paneles de borde lateral	0 m	1,00	1,00	1,00
	1 m	1,00	1,00	1,00
	2 m	1,00	1,00	1,00
Caso 4 Paneles interiores	0 m	0,40	0,70	0,80
	1 m	0,80	0,70	0,80
	2 m	0,50	0,55	0,60

A modo de ejemplo

velocidad de viento de 100 km/h, y un panel de 1,7 m²

- la fuerza de succión **4 kN** (equivalente a unos 400 kilogramos por panel)

velocidad de viento de 200km/h y un panel de 1,7 m²

- la fuerza de succión **16 kN** (equivalente a unos 1600 kg por panel).

Implicaciones para el diseño de la cubierta: El sistema de fijación de los paneles a la cubierta debe estar específicamente diseñado para resistir estas fuerzas de succión



CONSEJOS FINALES

Aunque comprar los paneles por internet y montarlos parece fácil, el cálculo de viento no es intuitivo.

Si no sabes de ingeniería civil, lo más importante es rodearte de profesionales que sí sepan.

El viento es traicionero: lo que hoy parece bien sujeto, mañana puede volar con una tormenta. Invertir en un buen cálculo estructural al principio te ahorrará problemas y dinero a largo plazo.

A landscape photograph featuring several tall palm trees in the foreground, their fronds blowing vigorously in the wind. The background shows a hazy, green valley with a body of water visible on the right side. The overall scene conveys a sense of a tropical or coastal environment during a strong breeze.

MUCHAS GRACIAS