

EFFECTOS DEL VIENTO EN PARQUES SOLARES: CRITERIOS DE DISEÑO ESTRUCTURAL SEGÚN EL NUEVO REGLAMENTO CIRSOC 102-2025

Ing. Berra, Valentín^a; Ing. Dean, Diego^a

^aIngeniero Civil, Andes Dean Engineering, engineering@andesdean.pro

Palabras clave: Reglamento CIRSOC 102-2025, acciones, parque, energía solar.

RESUMEN

El crecimiento sostenido de las instalaciones solares fotovoltaicas plantea nuevos desafíos para la ingeniería estructural, particularmente en la correcta evaluación de las acciones del viento sobre estructuras de soporte livianas y de gran superficie expuesta. En este contexto, el presente trabajo analiza la aplicación del nuevo reglamento CIRSOC 102-2025 en el diseño y verificación de estructuras destinadas a grandes parques solares o sistemas fotovoltaicos de generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables limpias.

El objetivo es evaluar los criterios de determinación de cargas de viento establecidos en la normativa actual y su impacto en el dimensionamiento estructural de grandes parques fotovoltaicos. A partir de varios casos de aplicación reales, se analizan los parámetros aerodinámicos relevantes, las combinaciones de carga y las implicancias en el diseño estructural de los sistemas de soportes generalmente utilizados, con el fin de aportar criterios técnicos que favorezcan una implementación segura y eficiente de estas estructuras dentro del marco normativo vigente.

ABSTRACT

The sustained growth of photovoltaic (PV) solar installations presents new challenges for structural engineering, particularly in the proper assessment of wind loads acting on lightweight support structures with large exposed surface areas. In this context, this study analyzes the application of the new CIRSOC 102-2025 standard in the design and verification of structures intended for large-scale solar parks and photovoltaic systems for electric power generation.

The main objective of this work is to evaluate the wind load determination criteria established in the current code and their impact on the structural sizing of photovoltaic systems. Based on several real-world case studies, the relevant aerodynamic parameters, load combinations, and their implications for the structural design of commonly used support systems are analyzed. The aim is to provide technical criteria that support the safe and efficient implementation of these structures within the framework of the current regulatory provisions.

INTRODUCCIÓN

Durante la última década, la generación de energía mediante sistemas fotovoltaicos ha experimentado un crecimiento sostenido en Argentina, impulsando el desarrollo de parques solares y la incorporación de instalaciones sobre cubiertas de edificaciones industriales, comerciales e institucionales (Secretaría de Energía de la Nación, 2024). En este contexto, el diseño estructural de los sistemas de soporte adquiere una relevancia significativa, debido a que su reducida masa, elevada relación superficie-peso y geometría particular los hacen especialmente sensibles a la acción del viento.

Hasta la publicación del Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones CIRSOC 102-2025, el diseño de estas estructuras se realizaba, en términos generales, aplicando los criterios establecidos en el CIRSOC 102-2005, reglamento que no contemplaba procedimientos específicos para sistemas fotovoltaicos (INTI-CIRSOC, 2005). La nueva edición incorpora metodologías de cálculo diferenciadas para las distintas configuraciones de montaje, incluyendo parámetros aerodinámicos específicos que permiten una caracterización más representativa de las acciones del viento sobre este tipo de estructuras (INTI-CIRSOC, 2025). Estos procedimientos se encuentran alineados con los criterios adoptados por la ASCE/SEI 7-22, norma que constituye una de las principales referencias internacionales para la determinación de cargas de viento sobre estructuras (ASCE, 2022).

En este marco, el presente trabajo analiza las principales modificaciones introducidas por el CIRSOC 102-2025 respecto de la edición de 2005, con énfasis en los procedimientos para la determinación de las acciones del viento y en su incidencia sobre el diseño y la verificación de los sistemas estructurales de soporte. Para ello, se presentan dos casos de estudio correspondientes a instalaciones fotovoltaicas sobre cubierta y sobre el terreno, comparando las acciones obtenidas mediante ambos reglamentos y evaluando su influencia en el dimensionamiento de los perfiles estructurales, los elementos de fijación y las fundaciones.

El análisis comparativo tiene como objetivo evidenciar la incidencia práctica de los criterios incorporados por la nueva reglamentación y proporcionar elementos técnicos que contribuyan a la aplicación consistente del CIRSOC 102-2025 en el diseño de estructuras de soporte para sistemas fotovoltaicos, favoreciendo soluciones acordes con el marco normativo vigente.

CAMBIOS RELEVANTES SOBRE ESTRUCTURAS FOTOVOLTAICAS ENTRE REGLAMENTOS CIRSOC 102-2005 Y CIRSOC 102-2025

La publicación del CIRSOC 102-2025 introduce una actualización importante en los criterios de determinación de acciones de viento en Argentina, incorporando metodologías y conceptos más acordes con los estándares internacionales actuales. Estas modificaciones adquieren especial relevancia en estructuras fotovoltaicas, donde las cargas de viento suelen gobernar el diseño de los sistemas de fijación y las fundaciones (INTI-CIRSOC, 2025).

Entre los principales cambios se destaca el reemplazo del Método Analítico del CIRSOC 102-2005 por el Procedimiento Direccional, permitiendo una evaluación más precisa de las presiones generadas por el viento sobre los distintos componentes estructurales.

El nuevo reglamento incorpora un mapa de velocidades básicas de viento, asociadas a diferentes categorías de riesgo y períodos de retorno, en lugar de utilizar un único criterio general para todas las estructuras. Este enfoque permite ajustar el nivel de seguridad de diseño según la importancia y las consecuencias asociadas a una eventual falla estructural (INTI-CIRSOC, 2025).

Otra modificación significativa corresponde a las combinaciones de carga, donde la acción del viento pasa a integrarse dentro de un esquema de diseño calibrado con los nuevos criterios probabilísticos adoptados por la normativa. Este cambio influye directamente en las solicitudes de diseño y, por consiguiente, en el dimensionamiento de los elementos estructurales.

En conjunto, estas actualizaciones representan un cambio conceptual respecto al CIRSOC 102-2005 y establecen un marco más específico y consistente para el diseño de estructuras sometidas a acciones de viento.

Novedades del nuevo reglamento para estructuras fotovoltaicas

Una de las principales novedades del CIRSOC 102-2025 es la incorporación de criterios específicos para sistemas fotovoltaicos. En el CIRSOC 102-2005 estas estructuras no estaban contempladas explícitamente y, en general, se analizaban utilizando criterios aplicables a cubiertas aisladas de baja altura o referencias de normativas internacionales.

Para subsanar esta situación, el nuevo reglamento incorpora procedimientos específicos para distintas configuraciones de instalación: el Art. 4.5.3 para paneles sobre cubiertas de baja pendiente, el Art. 4.5.4 para paneles paralelos a la cubierta y el Art. 4.5.5 para paneles montados sobre el terreno con inclinación fija (INTI-CIRSOC, 2025).

Estos nuevos artículos permiten determinar las acciones de viento de forma más representativa, considerando las particularidades geométricas y aerodinámicas propias de los sistemas fotovoltaicos.

Aspecto	CIRSOC 102-2005	CIRSOC 102-2025
Metodología principal de cálculo	Método Analítico	Procedimiento Direccional
Velocidad básica de viento	Mapa basado en un único nivel de riesgo	Mapa de velocidades asociadas a distintas categorías de riesgo
Período de retorno	Valor único para diseño general	Dependiente de la categoría de riesgo (300, 700 y 1700 años)
Categorías de exposición	Definición tradicional de exposición al viento	Definiciones actualizadas y armonizadas con criterios internacionales
Sistemas fotovoltaicos	No contemplados de forma específica	Incorporación de artículos específicos para paneles sobre cubiertas y sobre terreno
Coeficientes de presión	Determinados mediante criterios generales para cubiertas y componentes	Coeficientes específicos según geometría, inclinación y ubicación de los paneles
Áreas efectivas de viento	Sin criterios específicos para sistemas fotovoltaicos	Consideración explícita del área efectiva para el diseño de sujetadores y componentes
Combinaciones de carga	Factor de viento basado en la metodología tradicional de mayoración	Combinaciones ajustadas al nuevo enfoque probabilístico del reglamento
Aplicación a parques solares	Requiere interpretaciones o criterios complementarios	Procedimientos específicos para distintas configuraciones fotovoltaicas

Tabla 1: Comparación entre Reglamentos CIRSOC 102-2005 vs 102-2025

PARÁMETROS DE DISEÑO RELEVANTES SEGÚN EL CIRSOC 102-2025

El reglamento establece un procedimiento secuencial para la determinación de las acciones del viento sobre estructuras y sistemas fotovoltaicos. Dicho procedimiento contempla la definición de los parámetros generales de diseño, el cálculo de la presión dinámica y la obtención de los coeficientes aerodinámicos específicos según la configuración de la instalación. En términos generales, el proceso comprende la determinación de los siguientes parámetros:

- Categoría de riesgo de la estructura (Tabla 1.14-1; INTI, 2025).
- Velocidad básica del viento (V) correspondiente a la categoría de riesgo adoptada (Figuras 1.5-1 A a D; INTI, 2025).

- Factor de direccionalidad del viento (K_d) (Artículo 1.6 y Tabla 1.6-1; INTI, 2025).
- Categoría de exposición del terreno (B, C o D) (Artículo 1.7; INTI, 2025).
- Factor topográfico (K_{zt}) (Artículo 1.8 y Figura 1.8-1; INTI, 2025).
- Factor de efecto de ráfaga (G) (Artículo 1.9; INTI, 2025).
- Factor de altitud del terreno (K_e) (Artículo 1.12; INTI, 2025).
- Coeficiente de exposición para la presión dinámica (K_z o K_h) (Tabla 1.13-1; INTI, 2025).
- Presión dinámica de referencia (q_z o q_h), determinada mediante la Expresión (1.13-1) (INTI, 2025).

Una vez definidos los parámetros generales, el reglamento establece la obtención de los coeficientes aerodinámicos correspondientes a cada configuración estructural:

- Coeficiente para paneles solares sobre cubierta (G_{Cm}) (Artículos 4.5.3 y 4.5.4; INTI, 2025).
- Coeficientes para paneles solares montados sobre el terreno (G_{Cgn} y G_{Cgm}) (Artículo 4.5.5; INTI, 2025).

Finalmente, la determinación de las acciones del viento sobre sistemas fotovoltaicos se realiza mediante procedimientos específicos en función de la configuración de montaje de los paneles, estableciendo expresiones de cálculo y criterios de aplicabilidad particulares para cada caso.

Para **paneles solares instalados sobre cubiertas de edificios con techos planos, a dos aguas o a cuatro aguas con pendientes inferiores a 7°** , el **Artículo 4.5.3** establece el procedimiento para determinar la presión de diseño del viento (p) sobre los paneles. La aplicación de este procedimiento está restringida a configuraciones que satisfagan las siguientes condiciones geométricas (INTI-CIRSOC, 2025):

- longitud del panel $L_p \leq 2,10 \text{ m}$
- inclinación del panel $\omega \leq 35^\circ$
- altura del borde inferior respecto de la cubierta $h_1 \leq 0,65 \text{ m}$
- altura del borde superior $h_2 \leq 1,25 \text{ m}$ (INTI, 2025).

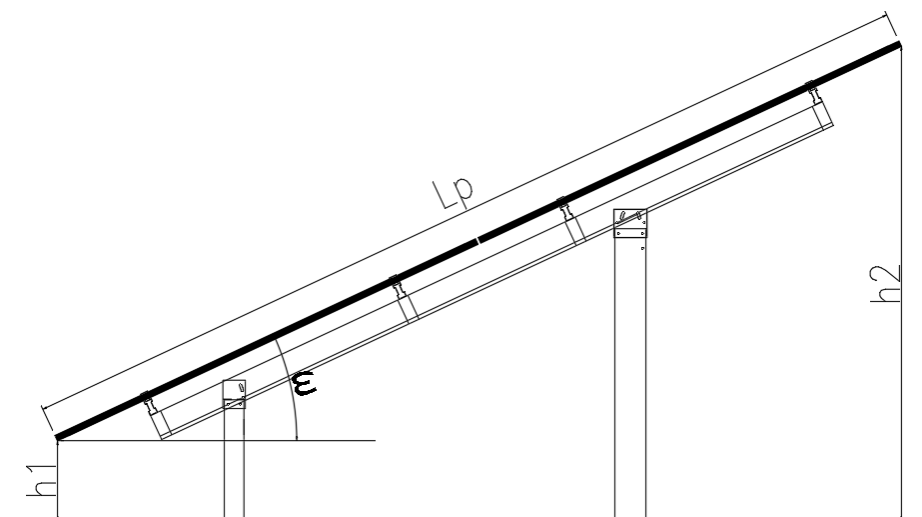


Figura 1: Representación de los parámetros geométricos

Las presiones de viento diseño en los paneles solares ubicados en los techos se calculan con las expresiones (4.5-5) y (4.5-6):

$$p = qh(GCrn) \quad (1)$$

donde:

- p : presión de viento de diseño, en N/m^2 ; Ecuación (4.5-5)
- qh : presión dinámica evaluada a la altura media de cubierta h , en N/m^2 ;
- $(GCrn) = (\gamma_p) (\gamma_c) (\gamma_E) (GCrn)_{nom}$

donde:

- $\gamma_p = \min(1,2; 0,9 + h_{pt} / h)$
- $\gamma_c = \max(0,6 + 0,06L_p; 0,8); y$
- γ_E = factor de borde de conjunto = 1,5 para cargas de levantamiento en paneles que están expuestos y dentro de una distancia $1,5L_p$ desde el final de una fila a un borde expuesto del conjunto; $\gamma_E = 1,0$ en cualquier lugar para cargas de levantamiento y para cargas hacia abajo, como se ilustra en la Figura 4.5-7.
- $(GCrn)_{nom}$: coeficiente de presión neta nominal para paneles solares como se indica en la Figura 4.5-7.

Para **paneles solares montados paralelamente a la superficie de la cubierta**, el **Artículo 4.5.4** establece un procedimiento específico para el cálculo de las presiones de diseño del viento, aplicable a edificios cerrados, parcialmente cerrados o parcialmente abiertos, independientemente de la altura del edificio o de la pendiente de la cubierta. El reglamento establece que los paneles deben mantenerse paralelos a la superficie del techo, con una tolerancia máxima de 2° , y que la separación máxima entre los paneles y la cubierta debe cumplir $h_2 \leq 0,25$ m. Asimismo, se requiere un

huelgo mínimo de 6 mm entre paneles, con una separación máxima entre huecos de 2,10 m, debiendo ubicarse el conjunto al menos a una distancia de $2h_2$ respecto del borde de la cubierta, la cumbrera o la limesa (INTI-CIRSOC, 2025).

La presión de viento de diseño para los colectores solares se obtiene de la expresión (4.5-7):

$$p = qh (GC_p) (\gamma_E) (\gamma_a) [N/m^2] \quad (2)$$

Para **paneles solares montados sobre el terreno con inclinación fija**, el **Artículo 4.5.5** establece un procedimiento basado en la determinación de la fuerza de viento de diseño (F_n) y del momento de diseño respecto al centro del plano del panel (M_c), calculados mediante las Ecuaciones (4.5-8) y (4.5-9), respectivamente (INTI, 2025). La aplicación de este procedimiento se encuentra limitada a configuraciones que satisfacen los siguientes criterios de validez:

- $1,8 \text{ m} \leq L_c \leq 4,4 \text{ m}$.
- $W_g/L_c \geq 7$.
- $0^\circ \leq \omega \leq 60^\circ$.
- $0,50 \leq h/L_c \leq 0,80$.
- $0,20 \leq L_c/S \leq 0,60$.
- $sp \leq 0,014L_c$.
- $SL \leq 0,25L_c$.
- $ST \leq 2S$.
- El conjunto debe contar con tres o más filas de paneles.
- Todas las filas deben poseer la misma longitud de cuerda.
- La relación entre el área bloqueada por los soportes y el área total comprendida bajo el borde inferior de los paneles no debe superar el 8 %, considerando cualquier longitud equivalente a $4L_c$ (INTI-CIRSOC, 2025).

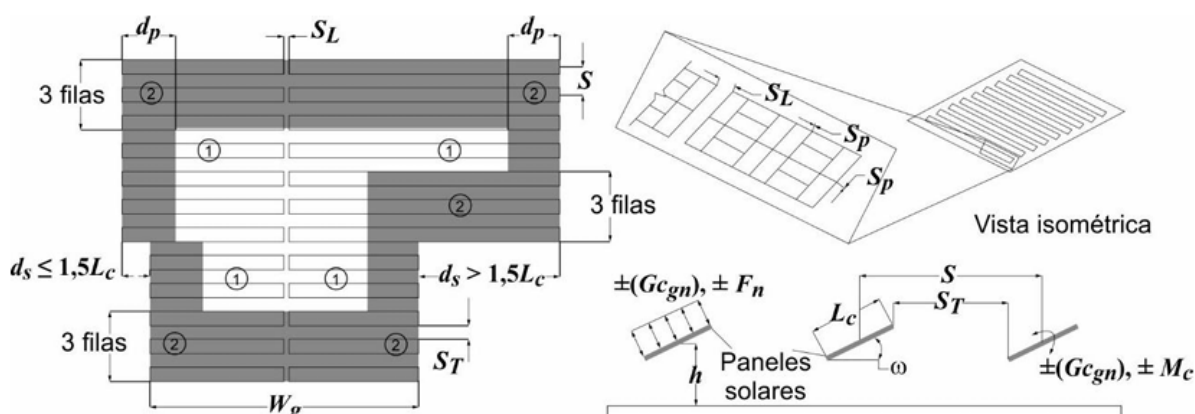


Figura 2: Parámetros para la aplicación de los requisitos

En este procedimiento, **L_c** representa la longitud de la cuerda del panel; **W_g** , la

longitud de la fila más corta del conjunto; ω , el ángulo de inclinación del panel respecto al terreno; h , la altura media del panel; S , el espaciamiento entre filas medido de centro a centro; sp , la separación libre entre paneles adyacentes; SL , la distancia horizontal correspondiente a un espacio abierto en la dirección longitudinal de una fila; y ST , la distancia horizontal correspondiente al espacio abierto en la dirección transversal entre filas adyacentes (INTI-CIRSOC, 2025).

La fuerza de viento de diseño se determina mediante la expresión:

$$F_n = qh [\pm(GC_{gn})] A \quad (3)$$

mientras que el momento de diseño respecto al centro del panel se calcula como:

$$M_c = qh [\pm(GC_{gm})] A L_c \quad (4)$$

Los coeficientes GC_{gn} y GC_{gm} consideran tanto componentes estáticas como dinámicas de la acción del viento, incorporando además la influencia de parámetros como la inclinación de los paneles, la altura libre respecto al terreno, la ubicación dentro del campo solar y el efecto de protección generado por filas adyacentes (INTI-CIRSOC, 2025).

CRITERIOS DE DISEÑO

El diseño estructural de los sistemas de soporte para paneles fotovoltaicos se realiza verificando cada uno de sus componentes de acuerdo con el mecanismo resistente predominante y las solicitaciones generadas por las acciones gravitatorias y del viento. En este sentido, cada elemento estructural requiere un análisis específico que garantice el cumplimiento de los estados límite de resistencia y estabilidad.

Los perfiles porta-paneles, encargados de sostener directamente los módulos fotovoltaicos, se verifican principalmente frente a esfuerzos de flexión, considerando las solicitaciones producidas por el peso propio de los paneles, las cargas permanentes adicionales y las acciones del viento, ya sea en forma de presión o succión, según la condición de carga más desfavorable.

La estructura principal de soporte se analiza como un sistema porticado rigidizado, en el cual los montantes y vigas desarrollan esfuerzos combinados de flexión y esfuerzo axial, verificándose las condiciones de flexo-tracción o flexo-compresión, según la combinación de acciones considerada. Estas verificaciones permiten asegurar la estabilidad global del conjunto y la adecuada transmisión de las cargas hacia el sistema de fundación.

El diseño del sistema de apoyo depende de la forma de vinculación de la estructura al terreno o a la edificación. En instalaciones sobre cubiertas, las mesas fotovoltaicas se fijan mediante anclajes conectados a la estructura resistente del edificio. En estos casos, las acciones de succión del viento generan importantes esfuerzos de tracción sobre los puntos de fijación, por lo que resulta necesario verificar la capacidad

resistente de los anclajes, determinando tanto la cantidad requerida como la profundidad mínima de embebido que garantice su adecuado comportamiento. Asimismo, debe disponerse un sistema de arriostramiento lateral en ambas direcciones, destinado a limitar los desplazamientos horizontales y evitar fenómenos de inestabilidad o volcamiento de las mesas provocados por la acción del viento.

Por otra parte, en los sistemas montados sobre el terreno, la estructura de soporte se vincula habitualmente mediante patas metálicas empotradas en dados de hormigón armado, las cuales transmiten las acciones del panel directamente a la fundación. Debido a esta condición de empotramiento, las fundaciones deben verificarse frente a los estados límite de vuelco, deslizamiento y tracción o compresión, garantizando la estabilidad del conjunto ante las combinaciones de carga de diseño.

En estructuras con altos ángulos de inclinación, la acción del viento puede generar momentos de vuelco de elevada magnitud. Para estos casos, es habitual emplear el método de Sulzberger para la verificación de la estabilidad de las fundaciones frente a dichas solicitaciones. No obstante, la condición que generalmente gobierna el diseño corresponde al levantamiento de la fundación, originado por las importantes fuerzas de tracción inducidas por la succión del viento. En consecuencia, el dimensionamiento suele realizarse procurando impedir el despegue de la fundación del terreno, verificándose posteriormente su estabilidad frente al vuelco y al deslizamiento conforme a los criterios establecidos para el diseño estructural.

CASOS DE APLICACION

Con el objetivo de evaluar la incidencia de las acciones de viento en el diseño de estructuras fotovoltaicas, se presentan tres proyectos reales desarrollados en distintas regiones y bajo diferentes condiciones de emplazamiento. Los casos seleccionados contemplan diversas configuraciones estructurales, incluyendo distintas tipologías de mesas de soporte y sistemas de fundación, permitiendo analizar una amplia variedad de situaciones de diseño habitualmente encontradas en este tipo de instalaciones.

Para cada proyecto se realizó la determinación de las acciones de viento conforme a los criterios establecidos para cubiertas aisladas, por el CIRSOC 102-2005, efectuando posteriormente la verificación estructural de los rieles de soporte, elementos de fijación y fundaciones.

Finalmente, las presiones y acciones de diseño obtenidas mediante la metodología utilizada originalmente serán comparadas con las que resultan de la aplicación de los procedimientos específicos incorporados por el CIRSOC 102-2025 para sistemas fotovoltaicos. Esta comparación permitirá analizar el impacto de la nueva normativa sobre las cargas de diseño y evaluar las posibles implicancias en el dimensionamiento de los elementos estructurales y las fundaciones.

Caso de Aplicación N°1: Sistema Fotovoltaico sobre Cubierta en Edificio

Malvinas, Córdoba Capital – Octubre de 2025.

- Ubicación: Edificio Malvinas, Córdoba Capital
- Producción anual: 80 MWh

Organiza:

- Velocidad básica de viento: 45 m/s
- Categoría de exposición: B
- Tipología estructural: Arco conformado por perfiles de aluminio
- Tipo de fundación: dados de hormigón con anclajes químicos sobre losa de H°A° existente.
- Presión de succión: 1033 N/m²

El proyecto surge a partir de la falla de una serie de mesas fotovoltaicas instaladas sobre la cubierta del edificio, las cuales experimentaron el volcamiento de dos módulos como consecuencia del corte de los elementos de sujeción y del desprendimiento de los anclajes de fundación. El evento ocurrió durante un episodio de viento con ráfagas del orden de 86 km/h (24 m/s), valor considerablemente inferior a la velocidad básica de diseño establecida por la normativa vigente para la ubicación del proyecto, lo que evidenció la necesidad de realizar una revisión integral del sistema estructural.

Del análisis realizado se determinó que la falla no sólo estuvo asociada a una configuración inadecuada de los apoyos de los módulos. Los paneles presentaban una longitud excesiva en voladizo respecto del último riel de soporte, situación que favoreció la aparición de vibraciones y oscilaciones durante el evento de viento. Estas vibraciones incrementaron las solicitaciones sobre los elementos de fijación, provocando el desprendimiento de los tornillos de sujeción de los paneles y contribuyendo al colapso parcial del sistema, acompañado por el arrancamiento de los anclajes de vinculación.



Figura 3: Falla de mesa fotovoltaica

A partir de esta situación, se llevó a cabo un nuevo análisis de las acciones de viento utilizando los criterios establecidos por el CIRSOC 102-2005, obteniéndose una presión de succión de diseño de 1033 N/m² sobre los paneles. Con estas acciones se verificó la capacidad resistente de los perfiles de aluminio, los elementos de fijación y los anclajes existentes.

TABLA RESUMEN

Destino	UTN	
Velocidad básica del viento: V	45	m/s Figura 1B- CIRSOC 102
Clasificación del edificio: Categoría	II	Tabla A-1-CIRSOC 102
Factor de importancia: I	1	- Art 5.5-TABLA 1-CIRSOC 102
Categoría de Exposición	B	- Art 5.6.1-CIRSOC 102
Altura media del edificio h:	5.0	m
Coeficiente de exposición dinámica Kh	0.72	Art 5.6.4.3- Tabla 5- CIRSOC 102
Factor de direccionalidad: Kd	0.85	Art 5.4.4-TABLA 6-CIRSOC 102
Factor topografico= $K_{zt}=(1KZ*K2*K3)^2$	1.00	Figura 2- CIRSOC 102
Factor efecto ráfaga: G	0.85	Cap 2-Art 5.8.1- CIRSOC 102
Clasificación del cerramiento	Abierto	Cap 2- CIRSOC 102
Presión dinámica qh=	760.0	N/m ² Artículo 5.6.2.2 - CIRSOC 102
Angulo de la cubierta: α	25.0	°
Coeficiente de presión neta global (+)	1	Cap 2-Art 511.2- CIRSOC 102
Coeficiente de presión neta global (-)	-1.6	Cap 2-Art 511.2- CIRSOC 102
Presión de viento global (+)	646.0	N/m ² I.1 - Anexo I- CIRSOC 102
Presión de viento global (-)	1033.0	N/m ² I.1 - Anexo I- CIRSOC 102

Tabla 1: Resumen del cálculo de la presión del viento – CIRSOC 102-2005

Los resultados mostraron la necesidad de incorporar un riel adicional en cada mesa para evitar el sobrevuelo de los paneles respecto del último apoyo estructural y reducir las solicitaciones sobre los perfiles. Por lo tanto, fue necesario aumentar la cantidad de puntos de anclaje con el fin de garantizar una adecuada resistencia frente a las acciones de levantamiento generadas por el viento y asegurar la estabilidad global del sistema.



Figura 4: Nuevos anclajes incorporados

Este caso pone de manifiesto la importancia de considerar adecuadamente los efectos aerodinámicos y las particularidades de las estructuras fotovoltaicas instaladas sobre cubiertas, donde las acciones de viento suelen resultar más críticas debido a la altura de emplazamiento y a la mayor exposición del sistema. La solución adoptada permitió garantizar un comportamiento estructural seguro y confiable frente a las condiciones de diseño establecidas por la normativa vigente.

Esfuerzos según el nuevo reglamento

Los esfuerzos actuantes sobre la estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos fueron determinados de acuerdo con el procedimiento establecido en el Artículo 4.5.4 del Reglamento CIRSOC 102-2025, correspondiente a "Paneles solares paralelos a la superficie del techo en edificios de todas las alturas e inclinaciones de techo". La adopción de este procedimiento se debe a que la configuración geométrica de la instalación analizada no satisface las condiciones de aplicabilidad establecidas en el Artículo 4.5.3, por lo que este último no resulta válido para el presente caso (INTI-CIRSOC, 2025).

El procedimiento de cálculo comienza con la determinación de la presión dinámica del viento sobre el edificio, la cual depende de la velocidad básica del viento correspondiente a la ubicación geográfica y a la categoría de riesgo de la estructura, así como de la altura y la geometría del edificio. Posteriormente, la presión de diseño sobre los paneles se obtiene mediante la aplicación de los coeficientes aerodinámicos establecidos por el reglamento, considerando los parámetros de diseño definidos para este tipo de configuraciones.

Un aspecto relevante del procedimiento consiste en la definición del área efectiva del viento, ya que los coeficientes de presión dependen directamente de la superficie tributaria asociada al elemento estructural que se desea verificar. En consecuencia, el área efectiva debe determinarse individualmente para cada componente de la estructura, en función de su mecanismo resistente y de la forma en que recibe las acciones del viento.

Para el caso de los rieles porta-paneles, la fuerza de viento se obtuvo considerando como área efectiva la correspondiente al área de influencia de cada perfil, definida por el producto entre la mitad de la longitud de la cuerda del panel y la longitud del riel. De manera análoga, para la verificación de los anclajes, la acción del viento se determinó empleando el área tributaria correspondiente a cada punto de apoyo, permitiendo calcular las fuerzas de tracción transmitidas a las fijaciones.

En la tabla siguiente se presenta un resumen de los principales parámetros adoptados para la determinación de las acciones del viento y el cálculo de los esfuerzos actuantes sobre los distintos componentes del sistema estructural.

TABLA RESUMEN

Destino	UTN	
Velocidad básica del viento: V	56.3	m/s Figura 1.5-1A
Clasificación del edificio: Categoría	II	Tabla 1.14.1
Categoría de Exposición	B	- Figura 1.7-5
Altura media del edificio h:	5.0	m
Coeficiente de exposición dinámica Kz	0.72	Art. 1.13.1
Factor de direccionalidad: Kd	0.85	Tabla 1.6-1.
Factor topográfico: $K_{zt}=(1K_z*K_2*K_3)^{1/2}$	1	Art.1.8.1
Factor de altitud: Ke	0.95	Art. 1.12
Presión dinámica qh=	920.0	N/m ² Ecuación (1.13-1)
Factor de borde de conjunto: γ_E	1.5	

Área de influencia del riel: Ar	4.8	m ²
Coeficiente de presión externa para C&R: GCp	-1.3	Figura 5.3-5B
Factor de equalización de presiones: γ_a	0.6	Figura 4.5-8
Presión en riel: pr	-1076.4	N/m ² Ecuación (4.5-7)

Área de influencia de apoyo: Aq	2.4	m ²
Coeficiente de presión externa para C&R: GCp	-1.5	Figura 5.3-5B
Factor de equalización de presiones: γ_a	0.7	Figura 4.5-8
Presión en apoyo: pq	-1449.0	N/m ² Ecuación (4.5-7)

Tabla 2: Resumen del cálculo de la presión del viento – CIRSOC 102-2025

Los resultados obtenidos muestran que el CIRSOC 102-2025 permite determinar acciones del viento más representativas del comportamiento real de los sistemas fotovoltaicos, al incorporar parámetros específicos como el factor de actualización de presiones, el factor de borde de conjunto y la consideración del área efectiva del viento. Estos criterios permiten caracterizar con mayor precisión las acciones sobre cada componente de la estructura.

En comparación, el CIRSOC 102-2005 determina para el caso analizado una presión de 1033 N/m², sobre la cual posteriormente debe aplicarse un coeficiente de mayoración de 1,5. En cambio, las acciones obtenidas mediante el CIRSOC 102-2025 corresponden directamente a acciones últimas de diseño, sin requerir factores adicionales de mayoración.

La comparación evidencia que las presiones obtenidas para los rieles porta-paneles resultan inferiores a las calculadas con la metodología anterior, mientras que las correspondientes a los apoyos presentan valores similares. Esto demuestra que el nuevo reglamento no modifica necesariamente la magnitud de las acciones, sino que proporciona una evaluación más precisa y consistente con el comportamiento aerodinámico propio de los sistemas fotovoltaicos.

Caso de Aplicación N°2 – Parque Solar El Tío - noviembre de 2025.

- Ubicación: localidad de El Tío, Córdoba.
- Potencia: 1.153 KWP
- Velocidad básica de viento: 47 m/s
- Categoría de exposición: C
- Tipología estructural: Arco conformado por perfiles de aluminio
- Presión de succión: 1333 N/m²

El presente caso de estudio corresponde a un proyecto desarrollado para la localidad de El Tío (Córdoba, Argentina), cuyo objetivo fue la verificación estructural de las mesas de soporte para paneles fotovoltaicos y de las fundaciones propuestas. En esta instancia se analizó exclusivamente la acción del viento, debido a que constituye la sollicitación predominante para este tipo de estructuras.

PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO COMUNITARIO

COOPERATIVA EL TIO - VILLA CONCEPCION - 1153 KWP



Figura 5: Parque solar realizado en la localidad

La determinación de las acciones eólicas se realizó conforme a los criterios establecidos en el **Anexo I del Reglamento CIRSOC 102-2005** (INTI-CIRSOC, 2005), considerando cada mesa fotovoltaica como una cubierta aislada de un agua. Esta metodología permite obtener los coeficientes globales de presión neta a partir de la geometría de la estructura, el ángulo de inclinación de los paneles y las condiciones de exposición al viento.

Debido a que las mesas presentan una elevada inclinación respecto del terreno, los coeficientes de presión neta obtenidos resultan significativamente elevados, tanto para las condiciones de presión como de succión, siendo esta última la condición que generalmente gobierna el diseño. Asimismo, el reglamento establece la consideración de los efectos de borde, los cuales producen un incremento de las acciones de succión sobre las mesas ubicadas en el perímetro del emplazamiento, constituyendo la

situación más desfavorable para el análisis estructural.

A continuación, se presenta la tabla resumen con los coeficientes globales de presión neta adoptados para la determinación de las acciones del viento sobre la estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos.

TABLA RESUMEN

Destino	El Tío		
Velocidad básica del viento: V	47	m/s	Figura 1B- CIRSOC 102
Clasificación del edificio: Categoría	I		Tabla A-1-CIRSOC 102
Factor de importancia: I	0.87	-	Art 5.5-TABLA 1-CIRSOC 102
Categoría de Exposición	C	-	Art 5.6.1-CIRSOC 102
Altura media del edificio h:	1.5	m	
Coeficiente de exposición dinámica Kh	0.87		Art 5.6.4.3- Tabla 5- CIRSOC 102
Factor de direccionalidad: Kd	0.85		Art 5.4.4-TABLA 6-CIRSOC 102
Factor topografico= $K_{zt}=(1KZ*K2*K3)^2$	1.00		Figura 2- CIRSOC 102
Factor efecto rafaga: G	0.85		Cap 2-Art 5.8.1- CIRSOC 102
Clasificación del cerramiento	Abierto		Cap 2- CIRSOC 102
Presión dinámica qh=	872.0	N/m ²	Artículo 5.6.2.2 - CIRSOC 102
Angulo de la cubierta: α	30.0	°	
Coeficiente de presión neta global (+)	1.2		Cap 2-Art 511.2- CIRSOC 102
Coeficiente de presión neta global (-)	-1.8		Cap 2-Art 511.2- CIRSOC 102
Presión de viento global (+)	889.0	N/m ²	I.1 - Anexo I- CIRSOC 102
Presión de viento global (-)	1333.0	N/m ²	I.1 - Anexo I- CIRSOC 102

Tabla 3: Resumen del cálculo de la presión del viento – CIRSOC 102-2005

En este caso de estudio se observa que el procedimiento de cálculo del CIRSOC 102-2005, basado en la asimilación de las mesas fotovoltaicas a cubiertas aisladas, conduce a la obtención de presiones de diseño elevadas para las tipologías de estructuras habitualmente empleadas en sistemas fotovoltaicos. Como consecuencia, estas acciones incrementan significativamente las solicitaciones sobre los perfiles estructurales, las conexiones y las fundaciones, dando lugar a soluciones con mayores dimensiones y, por ende, a un aumento considerable en los costos de fabricación, montaje y ejecución de las fundaciones.

Esfuerzos según el nuevo reglamento

Los resultados obtenidos muestran que el CIRSOC 102-2025 proporciona un procedimiento de cálculo más representativo del comportamiento aerodinámico de los sistemas fotovoltaicos, al determinar acciones de viento específicas para este tipo de estructuras. Este enfoque permite evaluar de manera más precisa las solicitaciones que actúan sobre todos los componentes del sistema de soporte, incluyendo los perfiles porta-paneles, la estructura principal, las conexiones y las fundaciones.

A diferencia del procedimiento anterior, el reglamento determina directamente la fuerza de diseño y el momento actuantes sobre los paneles, permitiendo descomponer la fuerza en sus componentes horizontal y vertical. De esta forma, es posible obtener

de manera directa las reacciones transmitidas a las fundaciones y realizar la verificación de cada uno de los elementos estructurales conforme a las solicitaciones reales de diseño.

A continuación, se presenta la tabla resumen con los esfuerzos obtenidos en los principales elementos que componen la estructura de soporte de los paneles solares.

TABLA RESUMEN

Destino	El Tio		
Velocidad básica del viento: V	54.8	m/s	Figura 1.5-1A
Clasificación del edificio: Categoría	I		Tabla 1.14.1
Categoría de Exposición	C	-	Figura 1.7-5
Altura media del edificio h:	1.5	m	
Coeficiente de exposición dinámica Kz	0.87		Art. 1.13.1
Factor de direccionalidad: Kd	0.85		Tabla 1.6-1.
Factor topográfico: $K_{zt}=(1K_z*K_2*K_3)^{1/2}$	1		Art.1.8.1
Factor de altitud: Ke	0.98		Art. 1.12
Presión dinámica qh=	1329.0	N/m ²	Ecuacion (1.13-1)
Frecuencia reducida: Ns	0.8		

Area de influencia del riel: Ar	12	m ²	
Coeficiente de presión neta estática: CGgn_estatico	3.0		Figura 4.5-10
Coeficiente de momento estático: CGgm_estatico	0.4		Figura 4.5-10
Coeficiente de presión neta dinámica: CGgn_dinamica	0.4		Figura 4.5-11
Coeficiente de momento estático: CGgm_dinamica	0.18		Figura 4.5-11
Fuerza de viento de diseño: Fn	54223.2	N	Ecuacion (4.5-8)
Momento de diseño: Mc	40699.3	N.m	Ecuacion (4.5-9)

Area de influencia del riel: Ar	4	m ²	
Coeficiente de presión neta estática: CGgn_estatico	4.2		Figura 4.5-10
Coeficiente de momento estático: CGgm_estatico	0.58		Figura 4.5-10
Coeficiente de presión neta dinámica: CGgn_dinamica	0.4		Figura 4.5-11
Coeficiente de momento estático: CGgm_dinamica	0.18		Figura 4.5-11
Fuerza de viento de diseño: Fn	24453.6	N	Ecuacion (4.5-8)
Momento de diseño: Mc	17776.7	N.m	Ecuacion (4.5-9)

Tabla 4: Resumen del cálculo de la presión del viento – CIRSOC 102-2025

CONCLUSION

El análisis desarrollado permitió identificar el cambio de enfoque que introduce el CIRSOC 102-2025 respecto del CIRSOC 102-2005 para la determinación de las acciones de viento sobre sistemas fotovoltaicos. Mientras que la reglamentación anterior recurría a criterios generales para este tipo de estructuras, la nueva versión incorpora procedimientos específicos que contemplan su comportamiento aerodinámico y las distintas configuraciones de instalación, permitiendo una evaluación más representativa de las solicitaciones de diseño.

Los casos de aplicación presentados permitieron trasladar estas diferencias al ámbito profesional, comparando los resultados obtenidos mediante ambos reglamentos y evaluando su incidencia en el diseño de perfiles, elementos de fijación y fundaciones de la obra civil. La experiencia adquirida durante el cálculo y la verificación de estas estructuras evidenció la importancia de considerar aspectos como la ubicación geográfica del parque solar, los efectos de borde, la interacción entre los distintos componentes de las mesas fotovoltaicas y la correcta transmisión de las acciones hacia las fundaciones, factores que en muchos casos resultan determinantes para garantizar la seguridad del sistema.

Es importante remarcar en base a todo lo expuesto lo relevante que se vuelve contar con un asesoramiento profesional estructural para las verificaciones de los soportes y fundaciones de este tipo de emprendimientos que permitan no solamente la correcta aplicación de la reglamentación vigente, sino un asesoramiento local y verificación de los elementos estructurales, lo cuales son estandarizados, muchas veces importados y que su empleo local quede justificado mediante memoria de cálculo estructural por profesional matriculado.

En conjunto, la comparación realizada demuestra que el CIRSOC 102-2025 constituye una herramienta más adecuada para el diseño estructural de instalaciones fotovoltaicas, ya que permite representar con mayor precisión las acciones de viento y proporciona criterios de diseño acordes a las necesidades actuales de este tipo de proyectos. La aplicación de estos procedimientos no solo mejora la confiabilidad de las verificaciones estructurales, sino que también favorece el desarrollo de soluciones más seguras, eficientes, económica y técnicamente fundamentadas para su lugar de implantación.

BIBLIAGRAFIA

American Society of Civil Engineers. (2022). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* (ASCE/SEI 7-22). ASCE.

INTI – CIRSOC. (2005). *Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones – CIRSOC 102-2005*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

INTI – CIRSOC. (2025). *Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones – CIRSOC 102-2025*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Secretaría de Energía de la Nación. (2024). *Informes y estadísticas del sector de energías renovables en Argentina. (o el informe específico que utilices como fuente del crecimiento de la generación fotovoltaica)*.

INTI – CIRSOC. *Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones – CIRSOC 102-2005*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina, 2005.

INTI – CIRSOC. *Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones – CIRSOC 102-2025*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Buenos Aires, Argentina, 2025.