

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ACCIONES DE VIENTO EN SILOS METÁLICOS SEGÚN NORMAS IRAM 8150-1 Y CIRSOC 102-2025

Montanaro, María Inés^a; Bisogno Eyler, Sabrina^b

^aMagister en ingeniería estructural; mmontana@fio.unicen.edu.ar

^bIngeniera civil, sabrina.bisogno@fio.unicen.edu.ar

^{a,b} Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, Olavarría, Argentina.

Palabras clave: Viento, silos, normativas vigentes, coeficientes de presión

RESUMEN

La determinación precisa de las cargas de viento en silos es un factor crítico para su dimensionamiento estructural, especialmente en estados de carga de silo vacío, donde la estabilidad frente al viento es preponderante. La norma IRAM 8150-1 "Silos aéreos de acero para almacenamiento de granos" establece lineamientos específicos para silos aéreos de acero; sin embargo, la reciente entrada en vigencia del Reglamento CIRSOC 102-2025 introduce metodologías actualizadas y criterios detallados para configuraciones de silos aislados y en grupos.

En este trabajo se realiza un análisis comparativo de las presiones de viento obtenidas mediante ambas normativas, evaluando diversas relaciones de esbeltez (altura/diámetro). El estudio busca identificar las principales divergencias técnicas entre los coeficientes de presión propuestos y cuantificar su impacto en el diseño estructural. Los resultados permiten establecer criterios para definir una optimización segura y eficiente de las estructuras de almacenamiento de granos en el contexto nacional.

ABSTRACT

Accurate determination of wind loads on silos is a critical factor for their structural design, especially under empty silo load conditions, where wind stability is paramount. The IRAM 8150-1 standard, "Steel Overhead Silos for Grain Storage," establishes specific guidelines for steel overhead silos; however, the recent implementation of the CIRSOC 102-2025 Regulation introduces updated methodologies and detailed criteria for isolated and grouped silo configurations.

This paper presents a comparative analysis of wind pressures obtained using both standards, evaluating various slenderness ratios (height/diameter). The study aims to identify the main technical differences between the proposed pressure coefficients and quantify their impact on structural design. The results allow for the establishment of criteria to define a safe and efficient optimization of grain storage structures within the national context.

INTRODUCCION

La norma IRAM 8150-1 (2019)¹, "Silos aéreos de acero para almacenamiento de granos", proporciona un método específico para el cálculo y establece las cargas mínimas a considerar en el diseño de este tipo de estructuras. No obstante, el campo de aplicación de esta normativa se encuentra estrictamente acotado al cálculo de silos aéreos metálicos de sección circular destinados al almacenamiento de cereales y oleaginosas. Entre las acciones ambientales más severas, la carga de viento representa uno de los estados de solicitud más críticos, especialmente en la condición de silo vacío, donde la estructura pierde el peso estabilizador del grano y se vuelve altamente vulnerable a fenómenos de inestabilidad global como el vuelco o el abollamiento local de las chapas.

Por otra parte, el Reglamento CIRSOC 102 (2025)², "Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones", recientemente aprobado, introduce un marco regulatorio más amplio para la determinación de estas acciones. En su apartado 4.5.2, el reglamento especifica las cargas de viento tanto para el techo como para las paredes de los silos, abarcando estructuras cilíndricas sin distinción de su material (metálicos o de hormigón). Una de las actualizaciones más significativas de este reglamento es la consideración explícita de la configuración de emplazamiento, distinguiendo formalmente entre silos aislados y silos dispuestos en grupos. Esta diferenciación permite evaluar la interferencia aerodinámica y los incrementos de presión locales y globales generados por el efecto de vecindad.

Para analizar la severidad de estas acciones en función de la geometría de la estructura, se utiliza como parámetro fundamental la relación de esbeltez, definida como el cociente entre la altura total del cuerpo cilíndrico (H) y su diámetro exterior (D).

Dada la coexistencia de criterios y la anterioridad de la norma IRAM 8150-1 frente al nuevo reglamento, en este trabajo se presenta un análisis comparativo entre ambos textos normativos. Se contrastan las cargas de viento resultantes y los coeficientes de presión propuestos por cada metodología, aplicando dichos criterios a modelos de silos con diferentes relaciones de esbeltez, con el propósito de cuantificar las divergencias técnicas y evaluar su impacto en la seguridad estructural dentro del contexto de la ingeniería nacional.

NORMAS IRAM 8150-1:

La norma IRAM 8150 proporciona especificaciones para la verificación silos aéreos de acero para almacenamiento de granos. En el punto 11 de la parte 1 establece la

verificación del silo frente al viento. En la Figura 1 se muestra un esquema del silo con las dimensiones a considerar.

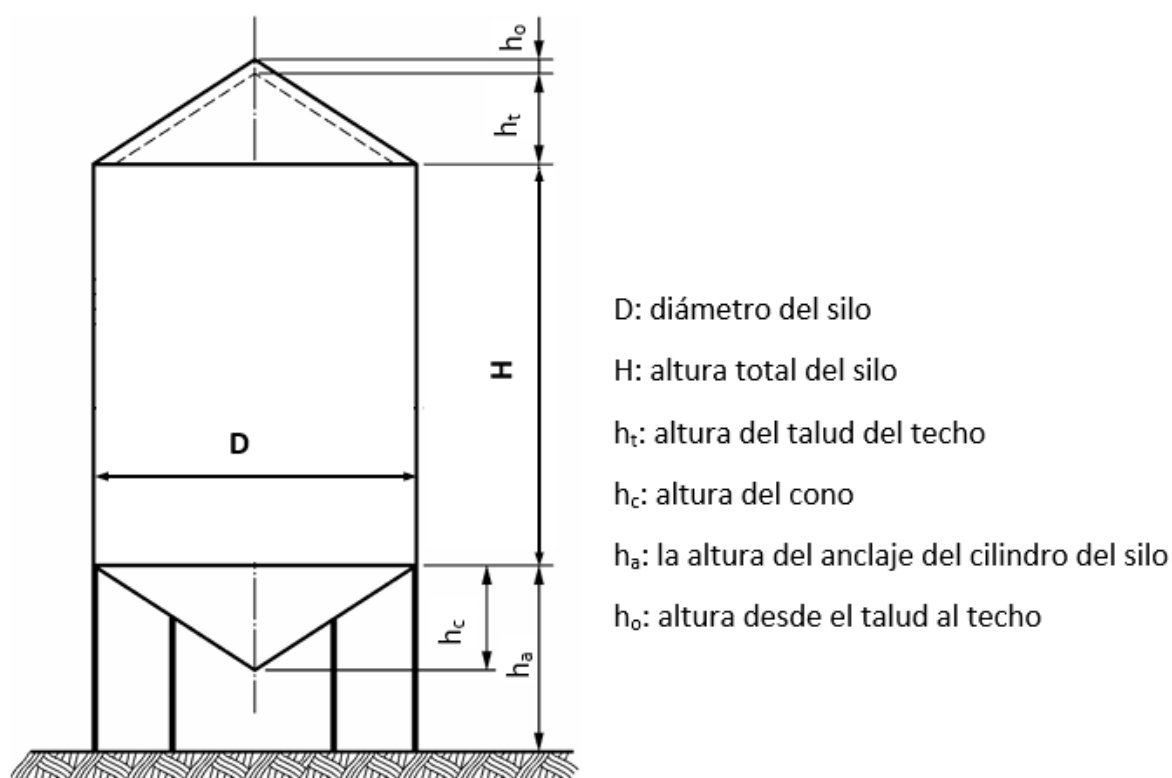


Figura 1. Esquema de la estructura

La norma IRAM 8150 calcula la presión dinámica en kN/m^2 a la altura h con la siguiente expresión:

$$p_{vh} = 0.000613 * K_z * 50^2 * 0.85 * 0.6 \quad (1)$$

K_z : factor de exposición

La ecuación 1 no plantea diferencias por categoría de exposición y la norma IRAM 8150 adopta la misma velocidad básica de 50 m/seg para cualquier ubicación en el país. Teniendo en cuenta que el silo es una estructura de bajo riesgo para la vida humana, se podría considerar de Riesgo I, mientras que las velocidades básicas del viento del CIRSOC 102 (2025) irían desde un valor de 41.1 a 75.4 m/s.

En algunas zonas del país, la velocidad básica que considera la IRAM 8150-1 estaría

subestimando la realidad y, por ende, aumentando el riesgo. Sin embargo, los silos para almacenamiento de granos mayoritariamente se encuentran ubicados en la región pampeana o el litoral argentino, donde esa consideración de velocidad básica del viento se ajusta a los vientos que se producen en la región.

Con este valor de p_{vh} se calcula luego la fuerza de empuje total horizontal (F_e) sobre el techo del silo (en KN), con la ecuación 2:

$$F_e = 0.63 * p_{vh} * D * \frac{h_t}{2} \quad (2)$$

P_{vh} : presión dinámica en kN/m² a la altura h

D : diámetro del silo (m)

h_t : altura del talud del techo (m)

Posteriormente, se calcula la presión local a barlovento y la presión a sotavento con las ecuaciones 3 y 4:

$$p_b = C_b * q_h \quad (3)$$

$$p_s = C_{s1} * q_h \quad (4)$$

C_b : coeficiente de forma para barlovento

C_{s1} : coeficiente de forma para sotavento

q_h es definida como la carga por unidad de perímetro a la altura media del techo. Se interpreta que se corresponde al p_{vh} a la altura media del techo.

La norma adopta un valor de coeficiente de forma para barlovento (C_b) de valor -0.8 y un coeficiente de forma para sotavento (C_{s1}) de -0.5 y divide el área del techo en dos partes iguales. La fuerza horizontal F_e que se debe aplicar sobre el techo según la norma IRAM 8150-1 no tiene correlación con ninguna carga aplicada en el CIRSOC 102.

La fuerza del viento F_v (kN) para la verificación de las paredes, se calcula de acuerdo a esta norma IRAM 8150-1 con la siguiente expresión:

$$F_v = 0.6 * p_{vh} * D * \left(H + \frac{h_t + h_c}{6} \right) * 1.2 \quad (5)$$

Siendo

D: diámetro del silo (m)

H: altura total del silo (m)

h_t : altura del talud del techo (m)

h_c altura del cono (m) y si es subterráneo se considera que el valor a adoptar es cero.

La IRAM 8150-1 calcula además una fuerza de viento que debe aplicarse para el cálculo de la resistencia del silo al vuelco que genera un momento flector sobre la base. La flexión circular debida al viento es una situación a considerar de suma importancia en los silos vacíos³.

El momento flector (kNm) a aplicar se calcula según la ecuación 6:

$$M_f = F_v * h_{av} \quad (6)$$

Siendo

$$h_{av} = h_a + 0.65 * H. \quad (7)$$

h_a : la altura del anclaje del cilindro del silo.

Para la verificación de la flexión debida a la acción del viento, la norma especifica en función de p_{vh} , los valores de momento a aplicar sobre las chapas. También son proporcionadas en función de la carga de viento las expresiones para la verificación de los montantes y del aro anti abolladura (elementos estructurales de los silos metálicos únicamente). Estos cálculos son específicos para los silos metálicos, y contemplan la adopción de las dimensiones y separaciones de los elementos portantes del silo.

REGLAMENTO CIRSOC 102 - REGLAMENTO ARGENTINO DE ACCION DEL VIENTO SOBRE LAS CONSTRUCCIONES (2025)

El CIRSOC 102 en su punto 4.5.2 establece las cargas en los silos aislados y en caso de que estén agrupados, haciendo diferencia en la presión de viento a considerar en cada caso.

Organiza:

Para la carga sobre las paredes de un silo aislado se usa la siguiente expresión (N):

$$F = q_z * G * C_f * A_f \quad (8)$$

Siendo q_z la presión dinámica a la altura H del silo, G el factor de ráfaga que en este caso se adoptó 0.85, C_f el coeficiente de presión que para silo aislado es 0.63 y A_f , el producto de la altura por el diámetro.

Para los techos de los silos, las presiones netas (N/m^2) se calculan con la siguiente ecuación:

$$p = q_h * (G * C_p - (G * C_{pi})) \quad (9)$$

q_h es la presión dinámica en la altura media de la cubierta del silo, C_p es el coeficiente de presión externa para techos que se obtiene de una tabla que varía según la inclinación del mismos, G es el factor de ráfaga que en este caso se adoptó igual a 0.85 y $G * C_{pi}$ es el coeficiente de presión interna, que como el silo es una estructura cerrada, se adoptó el valor +/- 0.18.

Los silos agrupados reciben una carga mayor a los aislados. Los efectos del agrupamiento de los silos se consideran cuando las separaciones entre los centros de dos silos contiguos son menores que 1.25 veces el diámetro de los mismos, como se grafica de la Figura 2.

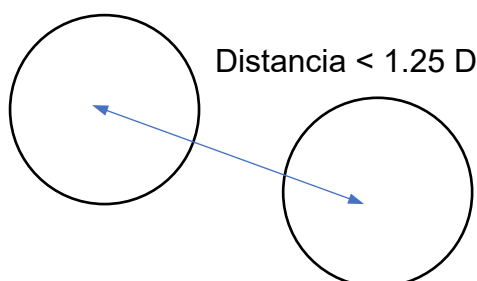


Figura 2: Distancia entre silos

Los incrementos de la fuerza de arrastre en los silos agrupados están documentados en numerosas publicaciones y en ensayos de túneles de viento, razón por la cual fue considerado en el nuevo CIRSOC 102 (2025).

Para considerar este efecto de silos agrupados se utilizan las mismas fórmulas que para silos aislados, solo cambian los valores de los coeficientes de presión en cubiertas C_p y coeficientes de fuerza de arrastre C_f . A diferencia del caso de silos aislados, para silos agrupados el coeficiente de fuerza C_f varía con la relación de la esbeltez del silo.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN

La relación de esbeltez de un silo se define como el cociente entre la altura del mismo (H) y su diámetro (D), valores que están especificados en la Figura 1.

Con el fin de analizar las cargas de viento sobre los silos, se han planteado tres ejemplos de silos con diferente relación de esbeltez, que van desde 0.4 a 2. En todos los casos se han considerado apoyados en el terreno.

En la Tabla 1 se muestran las características geométricas de cada caso de estudio.

	Silo 1	Silo 2	Silo 3
Diámetro	10	10	10
Altura	4	8	20
Relación de esbeltez (H/D)	0.4	0.8	2

Tabla 1 – Geometría de los silos

Carga de viento sobre las paredes del silo

La presión dinámica sobre las paredes para los tres ejemplos de aplicación, calculada para la misma velocidad básica del viento de 50 m/seg según ambas normativas, se muestra en la Tabla 2. Como se puede observar, la diferencia de las cargas no puede desestimarse, ya que para las relaciones de esbeltez menores que 1 estudiadas, la carga a considerar por el CIRSOC 102/2025 es un 37,4% mayor en relación a la exigida por la norma IRAM 8150-1, y este porcentaje aumenta para una relación de esbeltez de 2.

Caso	Presión dinámica (N)	Presión dinámica (N)	Diferencia relativa (%)
	IRAM 8150-1	CIRSOC 102	
Silo 1	19741,62	27130,81	37,4%
Silo 2	43328,09	59526,24	37,4%
Silo 3	127045,86	179402,39	41,2%

Tabla 2 -Resultados de presión dinámica en las paredes en N

En la Tabla 3 se presentan los resultados de la presión sobre las paredes considerando silo aislado o silo agrupado. El porcentaje de aumento de la carga es considerable si el silo está agrupado con otros, y este aumento de carga es menor para esbelteces de silos mayores.

	Presión dinámica Silo aislado (N)	Presión dinámica Silo agrupado (N)	Porcentaje de incremento
Silo 1	27130,81	55984,22	106%
Silo 2	59526,24	122831,92	106%
Silo 3	179402,39	313242,27	75%

Tabla 3 – Comparación entre silos aislados y silos agrupados

Carga de viento sobre el techo del silo

La IRAM 8150-1 calcula un valor de presión para la zona a barlovento y un valor para la zona a sotavento, mientras que el CIRSOC 102 proporciona dos valores para cada zona. En la Tabla 4 se presentan los valores obtenidos para los ejemplos propuestos, Se observa mayores presiones cuando son calculadas según el CIRSOC 102.

		Presión dinámica (N/m²) IRAM 8150-1	Presión dinámica (N/m²) CIRSOC 102		Diferencia relativa (%)	
			+0.18	-0.18	+0.18	-0.18
Silo 1	Barlovento	-573,14	-1089,28	-766,29	90,1%	33,7%
	Sotavento	-358,21	-633,30	-310,31	76,8%	-13,4%
Silo 2	Barlovento	-644,20	-1194,97	-840,64	85,5%	30,5%
	Sotavento	-402,62	-694,75	-340,42	72,6%	-15,4%
Silo 3	Barlovento	-765,96	-1440,57	-1013,43	88,1%	32,3%

	Sotavento	-478,72	-837,54	-410,39	75,0%	-14,3%
--	-----------	---------	---------	---------	-------	--------

Tabla 4 - Valores de presión en el techo del silo en N/m²

Como se observa en la Tabla 4, el valor más elevado de succión se da en el caso del techo a barlovento cuando se considera el coeficiente de presión interna +0.18. En la Tabla 5 se comparan los valores a barlovento con +0.18 para un silo aislado y un silo agrupado. Se observa el mismo incremento de la presión dinámica en todos los casos analizados y menor en porcentaje que el aumento de presión sobre la pared de un silo aislado en comparación a uno agrupado.

Techo +0.18 zona 1	Presión dinámica Silo aislado (N/m2)	Presión dinámica Silo agrupado (N/m2)	% porcentaje de incremento
Silo 1	-1089,28	-1304,61	19,8%
Silo 2	-1194,97	-1431,19	19,8%
Silo 3	-1440,57	-1725,35	19,8%

Tabla 5 – Comparación entre silos aislados y silos agrupados en N/m².

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores de las presiones para las paredes y techos de los silos calculados con la norma IRAM 8150-1 son menores que los calculados con el CIRSOC 102 para todas las relaciones de esbelteces consideradas y para la misma velocidad básica del viento.

El aumento de la presión en los silos agrupados con respecto a los aislados varía entre aproximadamente entre un 75 y un 100 por ciento para las paredes y un 20 por ciento para el techo.

CONCLUSIONES

El campo de aplicación para el cálculo de la carga de viento sobre silos del Reglamento CIRSOC 102-2025 es más amplia que la normativa IRAM 8150-1, porque no solo se aplica a silos metálicos. La normativa IRAM 8150-1 presenta los esfuerzos

para verificar los elementos estructurales que componen un silo metálico como el aro anti abolladura, montantes, chapas.

La carga de viento es más preponderante cuando el silo está vacío, por eso se realiza verificación del silo al vuelco.

El aumento considerable de la carga sobre la pared de un silo agrupado que se obtuvo en los casos de estudio no es despreciable y tiene que ser considerado en el diseño. El hecho de que este efecto no sea contemplado por la norma IRAM 8150-1 justifica la utilización del CIRSOC 102 para el cálculo de la carga de viento sobre silos.

Entonces, si bien la IRAM 8150-1 es una herramienta específica para el dimensionamiento intrínseco de los componentes del silo metálico (como montantes y aros anti abolladura), la actualización normativa del CIRSOC 102-2025 es indispensable porque subsana la subestimación de cargas generada por el efecto de grupo, el cual es crítico para garantizar la estabilidad estructural al vuelco en estado de silo vacío.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración del Dr. Ing. Leonel Pico que proveyó la norma IRAM 8150-1 y su colaboración en el artículo.

REFERENCIAS:

1. NORMA ARGENTINA IRAM 8150-1, "Silos aéreos de acero para almacenamiento de granos" Parte 1-método de Cálculo", Primera Edición 2019, Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
2. CIRSOC, "Reglamento Argentino de acción del viento sobre las construcciones (CIRSOC 102)", 2025, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (Edición 2025)., Buenos Aires, Argentina.
3. Roberto Hajnal, "SILOS: NO LES FALTEMOS EL RESPETO ¿Por qué colapsan los silos de granos?", REVISTA DE APOSGRAN, AÑO XXIX - N°147 – Volumen1-2024.