

TRATAMIENTO REGLAMENTARIO DE LA ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS CON COMPORTAMIENTO DINÁMICO

Natalini, Bruno^a; Marighetti, Jorge O.^a; Balbastro, Gustavo C.^b

^aFacultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste,
bruno.natalini@ing.unne.edu.ar, jomaringha@gmail.com

^bUniversidad Tecnológica Nacional-FR Paraná, gbalbastro@frp.utn.edu.ar

Palabras clave: viento, acciones dinámicas, codificación, CIRSOC 102

RESUMEN

El sistema de reglamentos de CIRSOC es la principal referencia normativa para la comunidad argentina de la Ingeniería Civil. Para valorar las cargas de viento sobre edificios y estructuras rige el reglamento CIRSOC 102, que se actualizó en 2025, sobre la base de la edición más reciente del estándar ASCE 7.

En el tratamiento de las cargas dinámicas por acción del viento el reglamento sólo considera los efectos de las ráfagas en la dirección del viento.

Esto deja sin un documento de referencia a varios casos importantes de acciones dinámicas, tales como las vibraciones transversales, golpeteo (buffeting), vibraciones por desprendimiento de vórtices, y casos de inestabilidad aerodinámica: galope, flameo (*flutter*) y divergencia.

En este trabajo se presenta una revisión del tratamiento de tales acciones que hacen los reglamentos y estándares internacionales más actualizados y se discuten posibles escenarios para incorporar recomendaciones en la normativa argentina.

ABSTRACT

The CIRSOC system of regulations is the main regulatory reference for the Argentine Civil Engineering community. For assessing wind loads on buildings and structures, the CIRSOC 102 regulation, updated in 2025 based on the most recent edition of the ASCE 7 standard, governs the assessment of wind loads.

For the addressing dynamic wind loads, the regulation only considers the effects of gusts in the wind direction.

This leaves several important cases of dynamic actions without a reference document, such as transverse vibrations, buffering, vortex shedding vibrations, and cases of aerodynamic instability: gallop, flutter, and divergence.

This paper presents a review of how the most up-to-date international regulations and standards address these actions and discusses possible scenarios for incorporating recommendations into Argentine regulations.

INTRODUCCIÓN

La acción del viento sobre las construcciones constituye uno de los casos de carga fundamentales para el proyecto estructural. En estructuras convencionales de baja altura o con rigidez suficiente, los procedimientos reglamentarios habituales permiten representar sus efectos mediante presiones o fuerzas estáticas equivalentes. Sin embargo, en estructuras esbeltas, livianas o de bajo amortiguamiento, la respuesta dinámica puede resultar relevante tanto para la seguridad estructural como para los estados límites de servicio, la fatiga, la habitabilidad y el desempeño de componentes no estructurales.

La actualización del Reglamento CIRSOC 102¹, publicada en 2025, representa un avance significativo en la organización y actualización del tratamiento argentino de la acción del viento. Respecto a la revisión de 2005, esta actualización incorpora mapas de velocidades básicas asociados a categorías de riesgo, tipologías estructurales nuevas, tratamientos más actualizados y una reorganización en capítulos más clara. Al igual que la anterior revisión, incluye criterios de exposición, efectos topográficos, factor de efecto de ráfaga y requerimientos mínimos para la aplicación de procedimientos de túnel de viento. Su estructura es compatible, en líneas generales, con la de ASCE/SEI 7-22² sobre cuya base está desarrollado.

No obstante, el tratamiento que hace el CIRSOC 102-2025 de los efectos dinámicos se concentra esencialmente en la respuesta en la dirección del viento asociada a la turbulencia atmosférica, mediante el factor de efecto de ráfaga, la igual que lo que hace ASCE/SEI 7-22. El reglamento advierte, sin embargo, que existen estructuras o configuraciones para las cuales sus procedimientos generales pueden resultar inadecuados, entre ellas edificios u otras estructuras con respuesta dinámica inducida por vórtices, efectos torsionales significativos o inestabilidades aeroelásticas tales como galope o flameo. En tales casos se requiere acudir a estudios especiales, bibliografía reconocida, procedimientos de túnel de viento o simulaciones computacionales debidamente justificadas.

CIRSOC 102-2025 pertenece a la tercera generación de reglamentos de CIRSOC. La primera generación de reglamentos argentinos de viento incluía un documento específico para cargas dinámicas, la Recomendación CIRSOC 102-1/1982: Acción dinámica del viento sobre las construcciones³. Ese documento trataba la respuesta paralela al viento, la respuesta perpendicular asociada al desprendimiento de vórtices y procedimientos aproximados para la estimación del período fundamental en estructuras simples. Aunque formulado según el estado del conocimiento y el sistema reglamentario de su época, constituye un antecedente nacional directo para la elaboración de un nuevo documento complementario al CIRSOC 102-2025.

En este trabajo se presenta una revisión comparada del tratamiento de las acciones dinámicas del viento en documentos normativos, pre-normativos y documentos técnicos actuales, con el fin de identificar lineamientos preliminares para un documento complementario al CIRSOC 102-2025. Dicho documento se concibe como una propuesta técnica a ser sometida al análisis del CIRSOC y de la Comisión Permanente de Acción del Viento, no como una prescripción cerrada, sino como una guía para el abordaje de casos de comportamiento dinámico que sea compatible con el reglamento vigente y coherente con el estado actual de la ingeniería de viento.

ANTECEDENTE NACIONAL: CIRSOC 102-1/1982

La Recomendación CIRSOC 102-1/1982 fue concebida para el tratamiento de la acción dinámica del viento sobre las construcciones, complementando al reglamento de la primera generación. En su introducción se distingue entre acciones paralelas al flujo y acciones transversales, reconociendo que en ciertas estructuras las fuerzas aerodinámicas pueden producir efectos dinámicos relevantes. Entre estas estructuras se incluyen aquellas de bajo amortiguamiento, construcciones livianas y sistemas calificados como "flexibles" desde el punto de vista aerodinámico.

El Capítulo 2 desarrollaba un procedimiento para las acciones paralelas al viento. Su fundamento consistía en separar la respuesta media producida por la presión media del viento y la respuesta fluctuante debida a la turbulencia. A partir de esa descomposición se definía un factor de ráfaga como relación entre la respuesta máxima y la respuesta media. La acción dinámica se representaba mediante una acción estática equivalente capaz de inducir desplazamientos máximos equivalentes a los originados por el viento turbulento. Este planteo es conceptualmente consistente con la tradición iniciada por Davenport, quien formuló el problema del factor de ráfaga como una herramienta práctica para incorporar la respuesta fluctuante de estructuras sometidas al viento atmosférico^{4,5}. Este procedimiento se apoyaba en hipótesis simplificativas: comportamiento elástico lineal, predominio del modo fundamental, forma modal aproximadamente lineal y desprecio de los modos superiores. Estas hipótesis son razonables para un documento de aplicación práctica en su época, aunque resultan limitadas frente a un conjunto de casos que requieren formulaciones que tengan en cuenta los espectros de turbulencia, las funciones de admitancia aerodinámica, el acoplamiento modal, la historia de cargas ya sea en el dominio del tiempo o de la frecuencia, y criterios probabilísticos explícitos^{6,7,8}.

El Capítulo 3 trataba las acciones perpendiculares a la dirección del viento, asociadas principalmente al desprendimiento alternado de vórtices. Este fenómeno es especialmente relevante en estructuras prismáticas, cilíndricas o cuasi-prismáticas,

tales como chimeneas, torres, mástiles o elementos esbeltos de sección regular. La Recomendación reconocía que, en edificios altos, la respuesta transversal podía ser crítica respecto de aceleraciones y confort, aunque no necesariamente respecto de tensiones. Esta observación conserva plena vigencia, ya que en edificios altos modernos la respuesta transversal y torsional puede gobernar criterios de servicio y habitabilidad, aun cuando las verificaciones resistentes estén controladas por otros efectos^{9,10}.

En el Capítulo 4 se daban procedimientos aproximados para estimar períodos fundamentales en sistemas de forma simple: estructuras con masa concentrada en el extremo superior, masa distribuida en toda la altura, prismas o cilindros de sección constante, troncos de cono o pirámide y sistemas con masas discretas. Si bien en la práctica actual la determinación de frecuencias naturales debería realizarse mediante modelos estructurales adecuados, que están disponibles para el proyectista cuando la respuesta dinámica resulte relevante, las expresiones aproximadas conservan interés como herramientas preliminares de clasificación, verificación de orden de magnitud o detección de casos que requieren análisis más refinado.

Desde una perspectiva actual puede afirmarse que el CIRSOC 102-1/1982 conserva valor como antecedente nacional específico sobre acciones dinámicas del viento, como reconocimiento temprano de fenómenos que siguen siendo físicamente relevantes y como base para identificar qué contenidos fueron absorbidos por el reglamento vigente y cuáles quedaron sin tratamiento prescriptivo directo. Al mismo tiempo, sus procedimientos requieren actualización para compatibilizarse con la terminología y otros aspectos tales como los mapas de viento, las categorías de riesgo y los procedimientos de análisis del CIRSOC 102-2025.

TRATAMIENTO DE EFECTOS DINÁMICOS EN CIRSOC 102-2025

El CIRSOC 102-2025 establece los procedimientos para evaluar las cargas de viento sobre edificios y otras estructuras. El tratamiento de las acciones dinámicas se hace mediante lo que se conoce como factor de efecto de ráfaga. Este factor permite transformar la acción fluctuante del viento, que es un flujo de características turbulentas, en una acción estática equivalente para el diseño del sistema principal resistente a la fuerza del viento. El reglamento distingue entre edificios u otras estructuras rígidas y flexibles, utilizando la frecuencia natural fundamental como parámetro de clasificación. Para estructuras flexibles, la formulación incorpora una componente resonante de la respuesta y requiere la consideración del amortiguamiento estructural.

Este procedimiento cubre la respuesta longitudinal asociada a la turbulencia

atmosférica en el marco de las hipótesis del reglamento. Sin embargo, no constituye un tratamiento general de todos los fenómenos dinámicos inducidos por viento. El propio reglamento delimita su campo de aplicación y advierte que ciertos casos requieren recurrir a bibliografía reconocida o procedimientos de túnel de viento. Entre los casos que requieren tales enfoques se mencionan configuraciones con efectos de canalización o estelas, geometrías inusuales, edificios muy altos o esbeltos, frecuencias fundamentales bajas, respuesta inducida por vórtices, torsión aerodinámica o inestabilidades aeroelásticas.

En el Capítulo 6 del documento se introduce el procedimiento de túnel de viento como alternativa para edificios y otras estructuras. Este aspecto es esencial, porque muchos fenómenos dinámicos no pueden ser tratados de manera confiable mediante fórmulas prescriptivas simples. Los ensayos en túnel de viento de capa límite (BLWT) permiten evaluar presiones, fuerzas, momentos, efectos de entorno, direccionalidad, interferencia y, cuando corresponde, respuesta dinámica. En estructuras aerodinámicamente sensibles pueden requerirse modelos aeroelásticos o procedimientos experimentales específicos.

El vacío que motiva el presente trabajo no debe entenderse como una deficiencia del CIRSOC 102-2025, sino como una consecuencia razonable de su alcance, que provee el marco general para cargas de viento y reconoce la necesidad de tratamiento especial para estructuras dinámicamente sensibles. El documento complementario propuesto debería ocupar precisamente ese espacio: orientar la identificación de casos sensibles, clasificar fenómenos, proponer criterios de verificación preliminar, establecer cuándo corresponde el uso de túnel de viento o análisis avanzado y definir requisitos mínimos de documentación y revisión.

FUENTES NORMATIVAS, PRE-NORMATIVAS Y TÉCNICAS CONSIDERADAS

Para formular lineamientos compatibles con el estado actual de la práctica internacional conviene distinguir dos grupos de fuentes. El primer grupo está formado por normas, reglamentos, estándares y documentos pre-normativos. El segundo grupo está formado por publicaciones técnicas de referencia, que no tienen por sí mismas carácter reglamentario pero constituyen el fundamento conceptual o metodológico de muchas normas.

Entre las fuentes normativas o pre-normativas relevantes para distintos aspectos de los problemas dinámicos se encuentran CIRSOC 102-1/1982, CIRSOC 102-2025, ASCE/SEI 7-22, ya mencionados, el ASCE/SEI Prestandard for Performance-Based Wind Design V1.1 (PBWD), así como EN 1991-1-4¹¹, AS/NZS 1170.2:2021¹², ABNT NBR 6123:2023¹³, ISO 4354:2009¹⁴, ISO 10137:2007¹⁵, ISO 6897:1984¹⁶, NBC

2020¹⁷, y la norma india IS 875 Part 3:2015¹⁸.

ASCE/SEI 7-22 constituye una referencia fundamental para el CIRSOC 102-2025. Sin embargo, el tratamiento estadounidense de problemas dinámicos avanzados no se agota en ASCE 7. El Prestandard PBWD, publicado por ASCE/SEI, propone estrategias de reducción de la respuesta dinámica inducida por el viento, entre otros lineamientos, para edificios diseñados con criterios de desempeño. Aunque el propio documento aclara que no representa un estándar ASCE formal, resulta de especial interés porque incorpora objetivos de desempeño, caracterización probabilística de demanda de viento, túnel de viento, análisis lineal y no lineal, criterios de aceptación, revisión por pares y desempeño de la envolvente.

Entre las fuentes técnicas de referencia se destacan las publicaciones de autores que dieron origen a los métodos modernos de evaluación dinámica: Davenport¹⁹ sobre conceptos estadísticos y factores de ráfaga, Simiu y Scanlan y Holmes sobre efectos del viento en estructuras, incluyendo los dinámicos, Solari¹⁹ y Zhou y Kareem²⁰ sobre el factor de ráfaga respuesta longitudinal, extendiendo al efecto tridimensional en Piccardo y Solari²¹, además de bibliografía específica sobre túnel de viento, confort y edificios altos^{22,23}.

También son relevantes documentos como el estándar ASCE/SEI 49-21²⁴, referido a ensayos en túnel de viento para edificios y otras estructuras, el Manual of Practice 67²⁵ de ASCE sobre estudios en túnel de viento, la guía CTBUH sobre túnel de viento en edificios altos, así como los documentos ESDU sobre capa límite atmosférica, perfiles de velocidad y turbulencia^{26,27}. Estas fuentes resultan particularmente útiles para establecer requisitos mínimos de estudios especiales.

La distinción entre fuentes normativas y publicaciones técnicas no es meramente formal. Las primeras permiten identificar qué fenómenos han sido codificados o semi-codificados. Las segundas permiten comprender por qué ciertos temas son tratados sólo de manera informativa o derivados a estudios específicos. Este criterio es importante para evitar la adopción lisa y llana de fórmulas aisladas, asegurando que cualquier propuesta que se formule mantenga coherencia con el sistema reglamentario CIRSOC vigente.

MATRIZ COMPARATIVA PRELIMINAR

La Tabla 1 sintetiza una comparación preliminar entre los documentos argentinos y fuentes internacionales en cuanto al tratamiento de los fenómenos dinámicos, sin pretender agotar el relevamiento sino identificar una estructura de análisis que oriente el desarrollo del documento complementario.

Fenómeno	CIRSOC 102-1/1982 y CIRSOC 102-2025	Fuentes internacionales	Criterio preliminar para documento complementario
Respuesta en dirección del viento por turbulencia	Tratada en ambos mediante factor de ráfaga.	ASCE/SEI 7-22, EN 1991-1-4, AS/NZS 1170.2, ISO 4354, Solari, Holmes.	Remitir al CIRSOC 102-2025; evitar duplicación; aclarar límites de aplicación.
Factor de efecto de ráfaga	Formulación propia en 1982; procedimiento prescriptivo en 2025.	Davenport, Solari, Zhou y Kareem, ASCE/SEI 7.	Mantener compatibilidad con CIRSOC 102-2025; discutir casos fuera de alcance.
Respuesta transversal	Tratada para estructuras simples en 1982; advertida sin tratamiento en 2025.	AS/NZS 1170.2, NBR 6123, ISO 4354, IS 875, EN-1991, ESDU.	Incorporar criterios de identificación, verificación preliminar y derivación.
Desprendimiento de vórtices	Tratado en el Capítulo 3 de 1982; advertido sin tratamiento en 2025.	ISO 4354, AS/NZS 1170.2, NBR 6123, IS 875, EN-1991.	Incorporar procedimiento preliminar para secciones simples y criterios de BLWT.
Combinación longitudinal-transversal	Tratada en 1982; sin tratamiento en 2025.	ISO 4354, AS/NZS 1170.2, NBR 6123, IS 875, EN-1991.	Proponer reglas de combinación o análisis acoplado según complejidad.
Torsión dinámica	No tratada en 1982; advertida en 2025.	EN-1991, ISO 4354, ESDU ²⁸ , PBWD, CTBUH, túnel de viento.	Requerir análisis tridimensional en edificios altos o irregulares.
Galope	No desarrollado en 1982; advertido en 2025.	EN-1991, ESDU ²⁹ , básico en IS 875, literatura.	Criterio de alerta y derivación a estudio especial.
Flameo o <i>flutter</i>	No desarrollado en 1982; advertido en 2025.	EN-1991, AS/NZS 1170.2, para banderas, básico en IS 875, literatura.	Mantener fuera de procedimientos simples; exigir estudio especial, crítico en puentes y cubiertas flexibles
Divergencia	No tratada en 1982 ni en 2025.	EN-1991, Literatura aeroelástica.	Incluir como fenómeno a identificar; derivar a análisis especializado.
Buffeting o golpeteo	No tratado en 1982; advertido en 2025.	EN-1991, IS 875, Solari, Kareem, túnel de viento.	Definir alcance; vincular con demanda fluctuante y entorno.
Interferencia entre estructuras	No tratado en 1982; advertida canalización y estelas en 2025.	EN-1991, IS 875, CTBUH, PBWD, túnel de viento, literatura .	Definir alcance. Derivar a BLWT cuando sea significativa.

Tabla 1 - Fenómenos dinámicos inducidos por el viento, tratados en documentos argentinos e internacionales.

Parámetro o requisito	CIRSOC 102-1/1982 y CIRSOC 102-2025	Fuentes internacionales	Criterio preliminar para documento complementario
Aceleraciones y confort humano	Calculadas en 1982; calculadas en 2025 paralela al viento.	ISO 10137, ISO 6897, CTBUH, PBWD.	Incorporar criterios de servicio y habitabilidad.
Frecuencias naturales	Fórmulas aproximadas para sistemas simples en 1982; fórmulas aproximadas en 2025.	EN-1991, IS 875.	Incluir métodos preliminares y requisitos de análisis. Modelos estructurales modernos.
Amortiguamiento	Valores tabulados simples en 1982; valores sugeridos en 2025.	ISO 4354, IS 875, EN-1991, PBWD, literatura.	Proponer valores orientativos y advertencias sobre incertidumbre.
Túnel de viento	No constituye procedimiento central en 1982; procedimiento reglamentario en 2025.	ASCE/SEI 49-21, ASCE MOP 67, CTBUH.	Definir requisitos mínimos y casos obligatorios.
Simulación computacional	No considerada en 1982; admitida con restricciones en 2025.	ASCE/SEI 7-22, IS 875, literatura CFD.	Uso complementario, validado y revisado por pares.
Revisión por pares	No tratada en 1982; prevista en 2025.	PBWD, práctica internacional.	Incorporar para estudios especiales y casos sensibles.

Tabla 2 - Parámetros y otros aspectos contenidos en los documentos argentinos e internacionales

La matriz muestra que algunos temas presentes en CIRSOC 102-1/1982 fueron absorbidos por el reglamento vigente, mientras que otros permanecen sin tratamiento prescriptivo directo. También muestra que los documentos internacionales no siguen una estrategia única. Algunos incorporan procedimientos normativos para determinados fenómenos, otros los ubican en anexos informativos y otros los derivan a túnel de viento, análisis racional o diseño basado en desempeño.

CONTINUIDADES, OMISIONES Y CAMBIOS DE ENFOQUE

La respuesta longitudinal por turbulencia es el caso de mayor continuidad conceptual. CIRSOC 102-1/1982 la trataba mediante un factor de ráfaga, mientras que CIRSOC 102-2025 incorpora un factor de efecto de ráfaga actualizado y compatible con su estructura reglamentaria general. En consecuencia, el documento complementario no debería duplicar ese procedimiento. Su función debería ser aclarar cuándo el factor de efecto de ráfaga resulta suficiente y cuándo deben considerarse otros mecanismos de respuesta dinámica.

La respuesta transversal y el desprendimiento de vórtices constituyen el caso más claro de contenido histórico que no tiene equivalente prescriptivo directo en el CIRSOC 102-2025. Estos fenómenos no han perdido relevancia física. Por el contrario, siguen siendo centrales en estructuras esbeltas, chimeneas, torres,

mástiles, cables, elementos prismáticos y edificios altos. La razón de su tratamiento más limitado en reglamentos generales modernos parece estar vinculada a la dificultad de establecer procedimientos simples, confiables y suficientemente generales para todas las geometrías, regímenes de Reynolds, niveles de turbulencia, amortiguamiento y condiciones de entorno, no obstante EN-1991-4 parece ser el documento con mayor cantidad de casos previstos para los efectos dinámicos.

Otro cambio de enfoque importante es la creciente incorporación de criterios de desempeño. El Prestandard PBWD representa una evolución significativa en este sentido. Su propuesta no se limita a determinar fuerzas de diseño, sino que establece objetivos de desempeño para confort, operación y ocupación continua, con criterios de aceptación diferenciados para el sistema principal resistente al viento, la envolvente y elementos no estructurales. Este enfoque resulta particularmente relevante para edificios altos, donde la respuesta al viento puede afectar aceleraciones, derivas, operación de ascensores, daño de cerramientos, infiltración de agua y percepción de movimiento por los ocupantes.

El tratamiento actual también otorga mayor importancia a la caracterización probabilística de la demanda. Para diseño basado en desempeño, el Prestandard PBWD requiere caracterizar la amenaza de viento para distintos intervalos de recurrencia media, considerar direccionalidad, tipos de tormenta, registros históricos, simulación de tormentas y análisis de incertidumbre. Este punto es especialmente relevante para Argentina, donde la actualización de mapas de vientos extremos constituye una línea de investigación complementaria al desarrollo del documento sobre efectos dinámicos.

Otro aspecto moderno es la formalización de los ensayos en túnel de viento. Mientras que en 1982 el uso de túnel de viento se reconocía como técnica necesaria para problemas complejos, la práctica actual dispone de estándares específicos, como ASCE/SEI 49-21, y guías de aplicación para edificios altos. En consecuencia, el documento complementario debería establecer criterios mínimos para decidir cuándo un estudio experimental es necesario, qué información debe proveer y cómo debe documentarse.

También se observa una mayor preocupación por la revisión por pares, requisito contemplado en el CIRSOC 102-2025 para ciertos aspectos de los ensayos en túnel de viento y para el uso de CFD. Este requisito aparece con claridad en el Prestandard PBWD, donde la revisión independiente forma parte del proceso de aceptación del diseño. En un documento argentino complementario, la revisión por pares ya introducida podría extenderse para estructuras especialmente sensibles, ensayos aeroelásticos, estudios de interferencia, uso de CFD como herramienta principal o diseño basado en desempeño.

Finalmente, algunos fenómenos deberían considerarse detenidamente para decidir su inclusión, o no, en el tratamiento prescriptivo simple, tales como flameo o *flutter*, galope y divergencia, para otros casos tales como acoplamientos aeroelásticos fuertes, puentes de grandes luces y cubiertas flexibles, que requieren estudios específicos, parece razonable mantenerlos sin un tratamiento detallado de carácter general. El documento complementario debería identificarlos, definir criterios de alerta y establecer requisitos mínimos de análisis, pero no intentar reducirlos a fórmulas generales de aplicación reglamentaria.

LINEAMIENTOS PRELIMINARES PARA UN DOCUMENTO COMPLEMENTARIO AL CIRSOC 102-2025

El documento complementario debería concebirse como una guía técnica compatible con el CIRSOC 102-2025, destinada a orientar el tratamiento de estructuras y fenómenos dinámicos no cubiertos por los procedimientos prescriptivos ordinarios del reglamento vigente. Su propósito no debería ser reemplazar al CIRSOC 102-2025, sino complementarlo.

El primer lineamiento consiste en establecer criterios de identificación de estructuras dinámicamente sensibles. Estos criterios podrían incluir frecuencia fundamental, esbeltez, bajo amortiguamiento, relación entre velocidad crítica y velocidad de diseño, sensibilidad a desprendimiento de vórtices, geometría no convencional, susceptibilidad torsional, entorno urbano complejo e importancia de criterios de servicio o confort.

El segundo lineamiento consiste en ordenar el alcance en dos niveles. El Nivel A incluiría estructuras para las cuales pueden formularse procedimientos prescriptivos o semiprescriptivos razonablemente consolidados: edificios altos o esbeltos, chimeneas, torres, mástiles, tanques, silos, carteles, estructuras reticuladas y elementos prismáticos o cuasi-prismáticos de sección uniforme. El Nivel B incluiría casos que deberían derivarse a estudios especiales: puentes, grandes cubiertas flexibles, estructuras con acoplamiento aeroelástico complejo, *flutter*, divergencia, galope, interferencia severa, geometrías no convencionales y estructuras con fuerte interacción fluido-estructura. Algunos de estos casos, luego de un análisis detallado, podrían pasar al Nivel A.

El tercer lineamiento consiste en evitar duplicar contenidos del CIRSOC 102-2025. El documento complementario debería remitir al reglamento vigente para velocidad básica, categorías de riesgo, exposición, presión dinámica, factor topográfico, direccionalidad, clasificación de cerramiento, factor de efecto de ráfaga y combinaciones de carga. Sólo debería ampliar el tratamiento donde el reglamento

reconoce limitaciones o deriva a análisis racional, túnel de viento o bibliografía reconocida.

El cuarto lineamiento consiste en incorporar criterios de servicio. En estructuras dinámicamente sensibles, las verificaciones resistentes pueden no ser suficientes. Deben considerarse aceleraciones, percepción humana, operación de ascensores, daño de particiones y cerramientos, infiltración de agua, fatiga y mantenimiento de funcionalidad. En este punto, ISO 10137, ISO 6897, CTBUH y el Prestandard PBWD ofrecen referencias útiles.

El quinto lineamiento consiste en establecer criterios mínimos para estudios especiales. Para túnel de viento, deberían definirse requisitos sobre simulación de capa límite, escala, número de direcciones, instrumentación, duración de registros, consideración del entorno, análisis direccional, efectos dinámicos, documentación de incertidumbres y revisión independiente. Cabe mencionar que estos requisitos no fueron establecidos en forma explícita y cuantitativa en CIRSOC 102-205, mientras que ASCE 7-22 refiere este aspecto a ASCE 49-21. Para CFD, debería exigirse validación frente a datos experimentales, justificación del modelo de turbulencia, condiciones de borde, sensibilidad de malla y límites de aplicabilidad, así como revisión independiente.

El sexto lineamiento consiste en incorporar la revisión por pares para casos sensibles. Esta revisión no debería entenderse como una instancia burocrática, sino como una condición técnica de confiabilidad cuando se utilizan procedimientos no prescriptivos, modelos aeroelásticos, análisis no lineales, estudios de interferencia o criterios de desempeño.

PROPUESTA PRELIMINAR DE ÍNDICE DEL DOCUMENTO COMPLEMENTARIO

Una estructura razonable para el documento podría ser la siguiente:

1. Objeto y campo de aplicación.
2. Documentos de referencia.
3. Definiciones y simbología.
4. Clasificación de estructuras dinámicamente sensibles.
5. Parámetros dinámicos de la estructura: frecuencias naturales, modos de vibración, masa generalizada y amortiguamiento.
6. Parámetros aerodinámicos y meteorológicos.
7. Respuesta en dirección del viento.
8. Respuesta transversal - Desprendimiento de vórtices.
9. Combinación de respuestas longitudinal, transversal y torsional.

10. Casos de inestabilidad aeroelástica: galope, flameo o *flutter* y divergencia.
11. Criterios de servicio, confort y aceleraciones.
12. Fatiga inducida por viento.
13. Ensayos en túnel de viento - Modelos aeroelásticos.
14. Simulación computacional.
15. Revisión por pares.
16. Documentación mínima del proyecto.
17. Anexos informativos.

Este índice no implica que todos los temas deban recibir tratamiento prescriptivo. Algunos capítulos podrían contener procedimientos de cálculo simplificados, mientras que otros deberían limitarse a criterios de identificación, advertencias, requisitos mínimos de estudio y derivación a especialistas.

CONCLUSIONES

El CIRSOC 102-2025 es el reglamento vigente para la evaluación de la acción del viento sobre construcciones en Argentina y representa una actualización significativa respecto de versiones anteriores. Sin embargo, su tratamiento dinámico prescriptivo se centra únicamente en la respuesta en dirección del viento mediante el factor de efecto de ráfaga, advirtiendo la limitación del mismo.

La Recomendación CIRSOC 102-1/1982 constituye un antecedente nacional relevante, porque abordaba explícitamente las acciones dinámicas paralelas y transversales y su combinación, también la estimación de períodos en sistemas simples. Parte de ese contenido fue superado o absorbido por el reglamento vigente, pero otros temas permanecen sin tratamiento prescriptivo.

La revisión preliminar de documentos internacionales muestra que no existe una estrategia única para codificar los fenómenos dinámicos inducidos por viento. Algunos documentos incorporan procedimientos prescriptivos, otros utilizan anexos informativos y otros derivan los casos complejos a túnel de viento, análisis racional, diseño basado en desempeño o revisión por pares.

El futuro documento complementario al CIRSOC 102-2025 debería evitar duplicar procedimientos ya cubiertos por el reglamento vigente. Su aporte debería concentrarse en la identificación de estructuras dinámicamente sensibles, la clasificación de fenómenos, la definición de criterios preliminares de verificación, la incorporación de criterios de servicio y confort, y la derivación fundada a estudios especiales.

Se propone distinguir entre un Nivel A, constituido por estructuras para las cuales

pueden desarrollarse procedimientos prescriptivos o semiprescriptivos, y un Nivel B, correspondiente a fenómenos o configuraciones que requieren análisis especializado. Esta distinción permitiría elaborar un documento técnicamente útil sin exceder el grado de generalidad admisible para una recomendación reglamentaria.

La incorporación de criterios para ensayos en túnel de viento, revisión por pares, documentación mínima, desempeño de la envolvente y confort humano permitiría acercar el tratamiento argentino al estado actual de la práctica internacional. El resultado esperado no debería ser una transcripción de normas extranjeras, sino un documento compatible con el CIRSOC 102-2025, trazable en sus fundamentos y adaptado a las necesidades de la práctica profesional argentina.

REFERENCIAS

- 1 INTI-CIRSOC. Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones. CIRSOC 102-2025. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, Buenos Aires, 2025.
- 2 ASCE/SEI. Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. ASCE/SEI 7-22. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 2022.
- 3 INTI-CIRSOC. Acción dinámica del viento sobre las construcciones. Recomendación CIRSOC 102-1. Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, Buenos Aires, 1982.
- 4 Davenport, A. G. "The application of statistical concepts to the wind loading of structures". Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 19, Issue 4, 1961, pp. 449-472.
- 5 Davenport, A. G. "Gust loading factors". Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 93, No. ST3, 1967, pp. 11-34.
- 6 Simiu, E.; Scanlan, R. H. Wind Effects on Structures: Fundamentals and Applications to Design. 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 1996.
- 7 Holmes, J. D. Wind Loading of Structures. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, 2015.
- 8 Solari, G. "Gust buffeting. I: Peak wind velocity and equivalent pressure". Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 2, 1993, pp. 365-382.
- 9 Kwok, K. C. S.; Burton, M. D.; Hitchcock, P. A. Wind-Induced Motion of Tall Buildings: Designing for Occupant Comfort. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Chicago, 2015.
- 10 ASCE/SEI. Prestandard for Performance-Based Wind Design. Version 1.1. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 2023.
- 11 European Committee for Standardization. EN 1991-1-4:2005+A1:2010. Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions. CEN, Brussels, 2010.

- 12 Standards Australia / Standards New Zealand. AS/NZS 1170.2:2021. Structural Design Actions. Part 2: Wind Actions. Standards Australia, Sydney, 2021.
- 13 Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6123:2023. Forças devidas ao vento em edificações. ABNT, Rio de Janeiro, 2023.
- 14 International Organization for Standardization. ISO 4354:2009. Wind actions on structures. ISO, Geneva, 2009.
- 15 International Organization for Standardization. ISO 10137:2007. Bases for design of structures - Serviceability of buildings and walkways against vibrations. ISO, Geneva, 2007.
- 16 International Organization for Standardization. ISO 6897:1984. Guidelines for the evaluation of the response of occupants of fixed structures, especially buildings and off-shore structures, to low-frequency horizontal motion (0,063 to 1 Hz). ISO, Geneva, 1984.
- 17 National Research Council of Canada. National Building Code of Canada 2020 - Volume 1, Part 4 of Division B. National Research Council of Canada, Ottawa, 2020.
- 18 Bureau of Indian Standards. IS 875 (Part 3):2015. Code of Practice for Design Loads (Other than Earthquake) for Buildings and Structures. Part 3: Wind Loads. BIS, New Delhi, 2015.
- 19 Solari, G. "Gust buffeting. II: Dynamic alongwind response". Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 119, No. 2, 1993, pp. 383-398.
- 20 Zhou, Y.; Kareem, A. "Gust loading factor: New model". Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 127, No. 2, 2001, pp. 168-175.
- 21 Piccardo, G.; Solari, G. "3-D gust effect factor for slender vertical structures". Probabilistic Engineering Mechanics, Vol. 17, No. 2, 2002, pp. 143-155.
- 22 Kareem, A.; Kijewski, T.; Tamura, Y. "Mitigation of motions of tall buildings with specific examples of recent applications". Wind and Structures, Vol. 2, No. 3, 1999, pp. 201-251.
- 23 CTBUH. Wind Tunnel Testing of High-Rise Buildings: An Output of the CTBUH Wind Engineering Working Group. Council on Tall Buildings and Urban Habitat, Chicago, 2013.
- 24 ASCE/SEI. Wind Tunnel Testing for Buildings and Other Structures. ASCE/SEI 49-21. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 2021.
- 25 ASCE. Wind Tunnel Studies of Buildings and Structures. Manuals and Reports on Engineering Practice No. 67. American Society of Civil Engineers, New York, 1999.
- 26 ESDU. Strong winds in the atmospheric boundary layer. Part 1: Mean-hourly wind speeds. ESDU Data Item 82026. Engineering Sciences Data Unit, London, 1982, with amendments.
- 27 ESDU. Computer program for wind speeds and turbulence properties: flat or hilly sites in terrain with roughness change. ESDU Data Item 01008. Engineering Sciences Data Unit, London, 2001, with amendments.
- 28 ESDU. Response of structures to atmospheric turbulence. Response to across-wind turbulence components. ESDU Data Item 89049. Engineering Sciences Data Unit, London, 2003.
- 29 ESDU. Response of structures to galloping excitation. Background and

Organiza:

approximate estimation. ESDU Data Item 91010. Engineering Sciences Data Unit, London, 2012, with amendments.