

ACCIÓN DEL VIENTO SOBRE UN EDIFICIO EN ALTURA DE PLANTA CIRCULAR – COMPARACIÓN DE DISTINTOS CÓDIGOS

Ing. Marcos De Virgiliis^a

^aProfesor Titular, Cátedra de Estructuras III, Estructuras IV y Estructuras V. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. <http://www.ing.unlp.edu.ar>

Palabras clave: Acción del viento, normas, edificio en altura.

Resumen. En este trabajo se presentan el cálculo y comparación de los estados de carga de viento en un edificio de altura según las recomendaciones de distintos reglamentos de edificación específicos en la acción del viento. El lugar de implantación del proyecto se supone en las cercanías a la ciudad de Buenos Aires, Argentina. Partiendo de las características geométricas y mecánicas surgidas del diseño del edificio, se estudian distintas normativas nacionales y extranjeras de reconocida utilización en el campo de la acción del viento, con el fin de comparar la metodología de cálculo y finalmente el estado de acciones resultante sobre el sistema estructural resistente a cargas horizontal de la torre en estudio.

Se analizan y comparan las acciones globales sobre el conjunto de la edificación según las prescripciones indicadas para cuerpos cilíndricos y como caso general, asimilando la edificación a un prisma de base cuadrangular.

En aquellos aspectos comparables de las normas se incluyen en conjunto resultados numéricos diferenciando cada una de ellas, mientras que en los alcances particulares de cada norma se aplican en forma aislada.

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo en la construcción de edificios de altura trae aparejada la necesidad de evaluación de algunos tipos de acciones con especial interés. Entre las acciones que toman importancia en estas estructuras se encuentran el sismo y el viento como estados de carga determinantes para el dimensionado, no sólo para el estado resistente último sino también para los estados límite de servicio como en aquellas edificaciones a ser habitadas por los seres humanos o estructuras destinadas a contener equipos de comunicaciones por ejemplo.

En el presente trabajo se analiza la acción del viento sobre un edificio de altura de planta circular a través de la aplicación de distintas reglamentaciones. La ubicación prevista para la implantación de la obra es calificada con acción sísmica muy reducida, o “zona categoría 0” por la reglamentación CIRSOC 103, por lo cual la acción lateral del viento será la que determine las dimensiones de los principales elementos resistentes del edificio.

Se centra el estudio en la determinación de la acción global sobre el edificio, sin discriminar entre presiones internas y externas ni evaluar aspectos locales en estructuras de soporte de cerramientos.

Son comparadas las siguientes normas:

- Reglamento CIRSOC 102-1994 “Acción del viento sobre las construcciones” y Recomendación CIRSOC 102-1-1982, “Acción dinámica del viento sobre las construcciones”.
- CIRSOC 102-2005 “Reglamento Argentino de Acción del viento sobre las construcciones”.
- Norma NBR-6123 “Forças devidas ao vento em edificações”.
- Norma EN 1991-1-4. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: Wind actions.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 Zona de ubicación

Partiendo de la zona de implantación del proyecto se adopta la velocidad de viento estimada para esa ubicación y la clasificación del tipo de terreno en cuanto a topografía y rugosidad. La ubicación de la torre se supone sobre un terreno plano, con escasas y bajas construcciones en los alrededores inmediatos, aproximadamente a 3 km de la costa del Río de La Plata. En la imagen siguiente (Figura 1) se pueden observar los alrededores de la zona de implantación, constituida en alguna dirección por terrenos libres de vegetación y construcciones de baja altura y en otras direcciones por edificaciones de baja altura no dispersas. A los fines del trabajo se estudiará la dirección que presenta la menor rugosidad del terreno, caracterizando a éste como plano, con escasa vegetación y construcciones de baja altura.

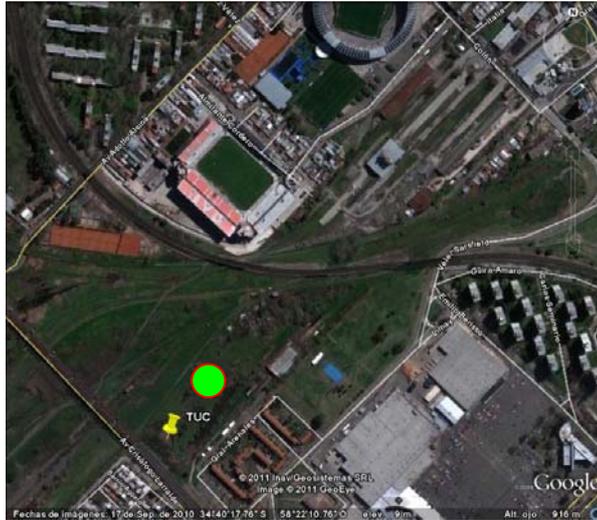


Figura 1: Zona de implantación. Imagen satelital obtenida de Google.

2.2 Características del edificio

Se trata de un edificio de 265 metros de altura, de planta circular de 47.20 metros de diámetro exterior. La superficie expuesta al viento está constituida por una pared doble de vidrio en toda la altura del edificio. El cerramiento de vidrio es liso, sin elementos salientes de dimensiones apreciables. En la parte superior de la torre, a partir del nivel +150m, el cerramiento se retira hacia el interior del edificio manteniendo la forma circular en planta con un diámetro levemente menor, quedando los entresijos en voladizo. En estos balcones se ubicará una serie de antenas de forma parabólica que proveen de mayor rugosidad a la parte superior de la construcción.

En cuanto a las características dinámicas de la torre, la frecuencia natural fundamental es de 0.125 Hz aproximadamente, calificando la construcción como flexible y dinámicamente sensible a fines del cálculo de la acción del viento. El centro de gravedad de las cargas permanentes del edificio se ubica a una altura $z=+105.0$ m.

El sistema resistente a cargas laterales está constituido principalmente por el trabajo acoplado de 4 núcleos centrales de hormigón armado teniendo poca influencia el conjunto de 24 columnas perimetrales. En la Figura 2 se presentan un corte y planta esquemáticos en los cuales se indican las medidas exteriores de la edificación.

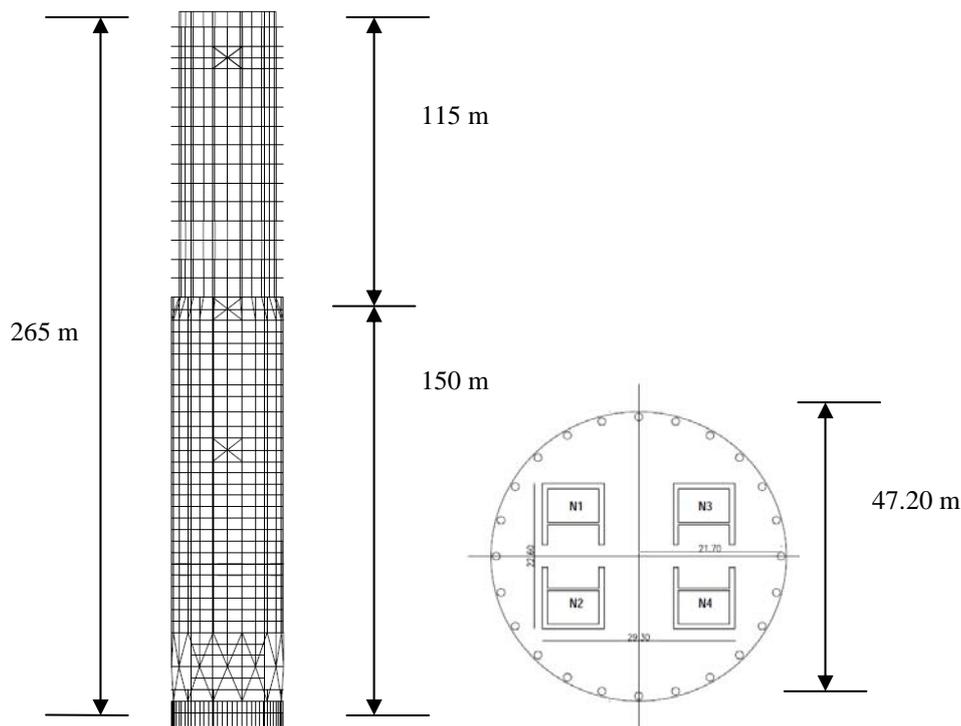


Figura 2: Esquemas de corte y planta (sin escala).

3 DETERMINACIÓN DE LA ACCIÓN DEL VIENTO

3.1 Velocidad del viento

Las normas en estudio proponen distintas velocidades de diseño con una recurrencia, altura desde el nivel de suelo y duración de la ráfaga propias.

En el caso del Reglamento CIRSOC 102-1994 y la Recomendación CIRSOC 102-1, la velocidad de referencia β está expresada para un período de recurrencia de 1 año, a una altura de referencia de 10 m de altura sobre el nivel de terreno abierto y una ráfaga de 3 s de duración. Los valores de β se indican en un mapa de la República Argentina. Esta velocidad es afectada por un coeficiente C_p que tiene en cuenta la vida útil de la obra y la probabilidad de que la velocidad sea superada en ese período siguiendo una distribución de Frechet para valores extremos. Según el destino de la construcción se adoptó una probabilidad $P_m=0.02$ y un período de vida útil de 50 años.

El Reglamento CIRSOC 102-2005 indica un mapa de velocidades básicas de viento V considerando un intervalo medio de recurrencia de 50 años, con una duración de ráfaga de 3 s y a 10 m de altura sobre el terreno de categoría de exposición C (terreno abierto). Es utilizada la distribución de probabilidades de Gumbel.

La norma NBR-6123 también considera un período de recurrencia de 50 años, con una duración de ráfaga de 3 s y a 10 m de altura sobre un terreno plano. La velocidad básica V_0 es provista a través de un mapa de velocidades de viento para el territorio de Brasil. Si bien en el mapa se indican velocidades básicas en proximidades al Río de la Plata, se adopta igual velocidad básica a la indicada por el Reglamento CIRSOC 102-2005 a fin de comparar las distintas normas.

Finalmente la norma EN 1991-1-4 provee la velocidad básica del viento V_{bo} en base a un viento de 10 minutos de duración, a una altura de 10 m sobre un terreno plano y para una recurrencia de 50 años. Por tratarse de una normativa que comprende a un conjunto de países, los valores de velocidad básica de viento son provistos por cada país en función de las características geográficas y climáticas de cada uno. Para adoptar la velocidad básica con iguales condiciones a la adoptada con el Reglamento CIRSOC 102-2005 se relacionan las velocidades promediadas en t segundos a la velocidad media horaria, resultando las siguientes proporciones:

$$V_o(t=3s) = 1.53V_o(t=3600s) \quad (1)$$

$$V_o(t=600s) = 1.07V_o(t=3600s). \quad (2)$$

$$V_o(t=3s) = 1.43V_o(t=600s) \quad (3)$$

En el cuadro comparado (Tabla 1) se indican las condiciones en las cuales se basa la velocidad básica de viento en cada normativa y los valores de velocidad adoptados.

	CIRSOC 102-94 CIRSOC 102-1	CIRSOC 102-2005	NBR-6123	EN 1991-1-4
Recurrencia	1 año	50 años	50 años	50 años
Duración de la ráfaga	3 s	3 s	3 s	10 min
Altura sobre el terreno	10 m	10 m	10 m	10 m
Tipo de terreno	terreno abierto	terreno abierto	terreno abierto	terreno abierto
Velocidad	Vel.de referencia $\beta=27.5$ m/s $C_p=2.13$ Vel. básica $V_o=C_p * \beta$ $V_o=58.6$ m/s	Vel. básica $V=46$ m/s	Vel. básica $V_o=46$ m/s	Vel. básica fundamental $V_{b,o}=32.2$ m/s

Tabla 1: Condiciones en las velocidades de diseño y valores adoptados.

3.2 Factores geográficos y topografía del terreno

Se incluye en las normas aplicadas los efectos de la topografía del terreno donde se ubica la construcción en la velocidad del viento. En el caso en estudio, por tratarse de un terreno plano, sin presencia de colinas y taludes, el coeficiente de afectación de la velocidad de viento por la orografía es igual a uno.

3.3 Importancia de la construcción

En la norma CIRSOC 102-1994 el destino de la construcción está tenido en cuenta en el coeficiente C_p y la vida útil de la obra. En CIRSOC 102-2005 se clasifican los edificios según cuatro categorías según la naturaleza de la ocupación. Se adopta en este caso la categoría IV,

que resulta en un factor de importancia $I=1.15$.

La norma NBR 6123 indica un factor estadístico S_3 que tiene en cuenta la vida útil de la edificación para cinco categorías. Se adopta el Grupo 1 para el cual $S_3=1.10$.

En el caso de la norma EN 1991-1-4 no clasifica las construcciones en base a su uso.

3.4 Dimensiones del edificio

Para tener en cuenta las dimensiones del edificio las normas aplicadas proveen de coeficientes de afectación de la velocidad de diseño.

El Reglamento CIRSOC 102-1994 aplica un coeficiente de reducción en función de las dimensiones de la edificación para el cálculo de las presiones estáticas. No es de aplicación esta reducción cuando se consideran los efectos dinámicos según la Recomendación CIRSOC 102-1.

El Reglamento CIRSOC 102-2005 incluye las dimensiones de la construcción en la categoría de la exposición y en el cálculo del factor de ráfaga.

La norma NBR 6123 clasifica las construcciones en tres clases, en función de sus dimensiones máximas y afecta la acción del viento a través de los parámetros que intervienen en la variación de la velocidad con la altura $S_2(z)$.

En la norma EN 1991-1-4 las dimensiones de la construcción se tienen en cuenta a través del coeficiente estructural $C_s C_d$.

3.5 Rugosidad del terreno

La velocidad del viento varía con la altura teniendo en cuenta la rugosidad del terreno del lugar de implantación de la edificación. Todas las normas en estudio proponen una clasificación de terrenos en base a la rugosidad que presentan y una ley de variación en altura de la velocidad de viento.

Elegir una determinada categoría de exposición depende del conocimiento de la zona de implantación y el criterio del proyectista, en particular en los casos de encontrarse con variaciones en las características del entorno ya sea en distintas direcciones o en la distancia a la construcción de zonas con transición de rugosidades.

Una vez adoptado el tipo de rugosidad de terreno se aplica el perfil de velocidades propuesto en las normas. La ubicación de la construcción en estudio se ubica en una zona suburbana, con distintas características del terreno circundante en cuanto a rugosidad. En una dirección presenta un terreno con pocas obstrucciones y edificaciones dispersas que se extiende una distancia varias veces la altura del edificio. Esta dirección define para este estudio el tipo de rugosidad. En la Tabla 2 se indican los valores adoptados.

Los límites del gradiente de velocidades se indican como $Z_{\text{mín}}$ y $Z_{\text{máx}}$. Para valores de altura menores a $Z_{\text{mín}}$ la velocidad se supone constante y lo mismo para valores de altura superiores a $Z_{\text{máx}}$.

	CIRSOC 102-94 CIRSOC 102-1	CIRSOC 102-2005	NBR-6123	EN 1991-1-4
Factor topográfico	Nivel de referencia z=0	$K_{zt}=1$	$S_I=1$	$C_o=1$
Importancia de la construcción	Grupo 1 Incorporado en coeficiente C_p	Factor de importancia Categoría IV $I=1.15$	Factor estadístico Grupo 1 $S_3=1.10$	No aplica
Dimensiones de la edificación	C_d sólo para presiones estáticas	Incorporado en el factor de ráfaga	Incorporado en $S_2(z)$	$C_s C_d=1.08$
Tipo de rugosidad del terreno	Tipo II	Factor de exposición C	Categoría III	Categoría II
Alturas límites para el gradiente de velocidades	$Z_{mín}=10.0m$	$Z_{mín}=5.0m$ $Z_{máx}=Z_g=274m$	$Z_{mín}=5.0m$ $Z_{máx}=Z_g=350m$	$Z_{mín}=2.0m$ $Z_{máx}=200m$
Variación con la altura	$c_z=0.024$ $*\ln^2(z/0.05)$	$K_z=2.01$ $*(z/274)^{0.2105}$	$S_2=0.79$ $*(z/10)^{0.14}$	$C_{rz}=0.17$ $*\ln(z/0.01)$
Coef para z=H	$c_z(H)=1.76$	$K_z(H)=1.99$	$S_2(H)=1.25$	$C_{rz}(H)=1.73$

Tabla 2: Rugosidad del terreno y ley de variación de velocidades.

3.6 Interacción entre la estructura y la turbulencia del viento

Todas las normas aplicadas en este trabajo afectan a la presión de viento por un factor que tiene en cuenta las características dinámicas de la estructura y su interacción con la turbulencia del viento. La incidencia es mayor cuanto más flexible es la estructura.

3.7 Determinación de las presiones de viento

Las presiones dinámicas para determinar las fuerzas que actúan sobre la construcción se determinan de la siguiente manera en las distintas normativas.

En la Recomendación CIRSOC 102-1 se obtiene la presión dinámica de cálculo

$$q'_z = G * c_z * C_2 * q_o \quad (4)$$

con $G=1.74$ el factor de ráfaga, C_2 un coeficiente de corrección de c_z que depende de la altura y el tipo de rugosidad, y q_o la presión dinámica básica

$$q_o = 0.000613 * V_o^2 = 2.06 \text{ kN/m}^2 \quad (5)$$

La norma CIRSOC 102-2005 dispone de la siguiente expresión para el cálculo de la presión dinámica:

$$q_z = 0.000613 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 * I \quad [\text{kN/m}^2] \quad (6)$$

donde:

K_d es un factor de direccionalidad, dependiente del tipo de construcción y las combinaciones de carga para dimensionado de las estructuras ($K_d=0.85$)

K_{zt} , K_z , V e I ya fueron definidos.

Queda entonces

$$qz=1.27*K_z \quad [kN/m^2] \quad (7)$$

presión que debe ser afectada por el factor de efecto de ráfaga $G=1.19$.

En el caso de la norma NBR 6123, para obtener las presiones dinámicas se calcula la velocidad de proyecto

$$Vp=0.69*Vo*S1*S3 \quad (8)$$

$$qo=0.000613*Vp^2 \quad (9)$$

y luego la presión dinámica se compone de una presión media más una presión fluctuante dependiente del modo de vibración de la estructura.

Finalmente la norma EN 1991-1-4 indica las siguientes expresiones para el cálculo de la presión dinámica

$$qp=[1+7*Iv]*0.5*\rho*V_m^2 \quad (10)$$

con la intensidad de turbulencia Iv , la densidad del aire ρ y V_m la velocidad principal de viento.

En la Figura 1 se muestran las presiones dinámicas obtenidas comparadas.

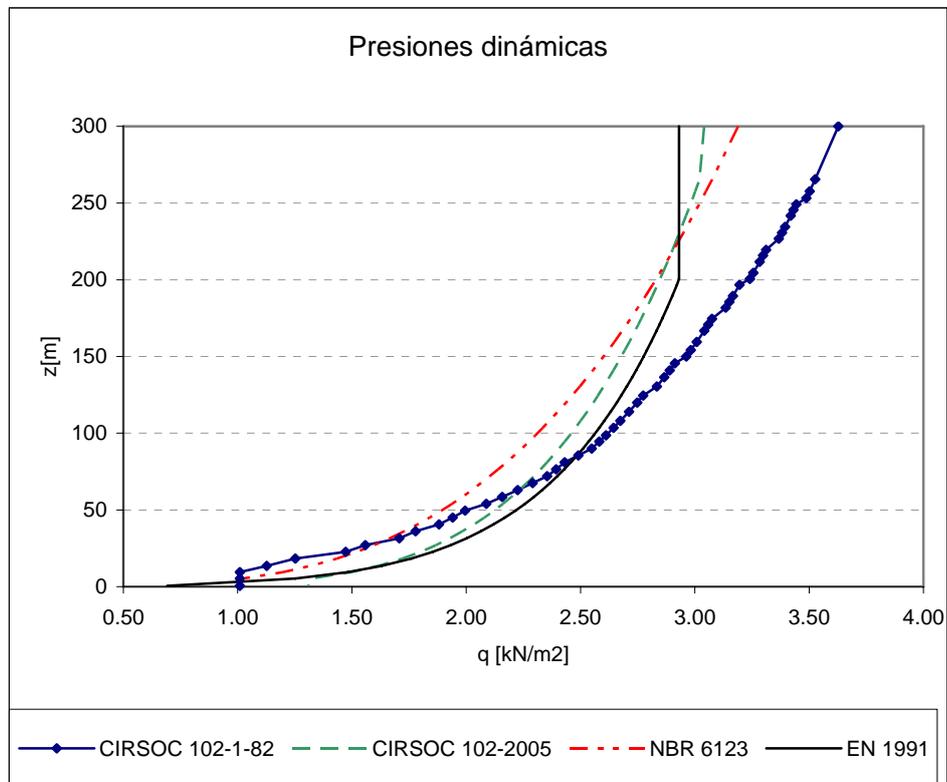


Figura 3: variación de la presión dinámica con la altura.

3.8 Fuerzas que accionan sobre la construcción. Parte 1: Cuerpos cilíndricos

Una vez obtenidas las presiones dinámicas de cálculo se obtendrán las fuerzas estáticas equivalentes teniendo en cuenta el área donde incide la presión y los coeficientes que afectan a ésta en función de las características de la construcción. Se apunta a obtener las fuerzas globales actuando sobre el conjunto de la construcción supuesta totalmente cerrada.

En este punto, el Reglamento CIRSOC 102-1994 distingue en capítulos separados dos tipos de tipologías: por un lado construcciones prismáticas de base cuadrangular y por otro lado construcciones prismáticas de base poligonal regular y cilindros. Distingue entre construcciones cilíndricas de superficie lisa y rugosa, indicando los coeficientes de presión exterior alrededor de la superficie cilíndrica. La integración de las fuerzas en todas las caras resulta en la fuerza global actuante en la construcción.

El edificio en estudio se clasifica como cilindro liso desde el nivel +0.00m hasta el nivel +1.50m (categoría V) y la parte superior como cilindro rugoso (categoría VI).

La relación de dimensiones

$$\lambda = H/D = 5.61 \quad (11)$$

el coeficiente de forma es función de λ

$$\gamma_0 = 1.08 \quad (12)$$

los coeficientes de presión exterior se obtienen de tabla, para cada dirección de la normal a la superficie, según el coeficiente de forma y la categoría de la construcción.

La fuerza a aplicar es variable con la altura, con la variación de la presión q .

El Reglamento CIRSOC 102-2005 hace referencia a los coeficientes de presión externa a aplicar en los sistemas principales resistentes a la fuerza de viento sin particularizar en edificaciones de planta cilíndrica, adoptando una forma cuadrangular que contiene a la planta del edificio cualquiera sea la forma de la misma. La forma cilíndrica se indica para otras estructuras, como chimeneas y tanques, para los cuales presenta coeficientes de empuje global específicos según la rugosidad de la superficie del edificio. Se adoptan estos últimos en una primera comparación.

La norma NBR-6123 asigna a las construcciones de forma cilíndricas un coeficiente de empuje global en función de la relación H/D y la rugosidad del edificio.

Por último, la norma EN-1991 permite utilizar coeficientes globales de empuje para edificios de relación $H/D > 5$, en función de la rugosidad de la construcción y del número de Reynolds.

En la Tabla 3 se indican las fuerzas resultantes que surgen de utilizar los coeficientes de fuerza para cuerpos con forma cilíndrica.

	CIRSOC 102-94 CIRSOC 102-1	CIRSOC 102-2005	NBR-6123	EN 1991-1-4
Relación geométrica	$\lambda=H/D=5.61$ $\gamma_0=1.08$	$\lambda=H/D=5.61$	$\lambda=H/D=5.61$	$\lambda=H/D=5.61$
Coefficiente de fuerza	Coef. global por integración Tabla 11. Ce (liso)=0.50 Ce(rugoso)=0.60	Coef. global Tabla 10 Cf (liso)=0.58 Cf(rug.)=0.78	Coef. global por integr. Tabla 9 Ce (liso)=0.49 Ce(rug.)=0.57	Coef. global Fig. 7.28 Cto(liso)=0.88 Cto(rug.)=1.04
Presión de cálculo	variable q(z)	variable q(z)	variable q(z)	variable q(z)
Corte en la base [kN]	Q=18336	Q=21242	Q=15857	Q=30969
Corte relativo a CIRSOC 102-2005	0.86	1.00	0.75	1.46
Momento en la base [kNm]	M=2449814	M=3283144	M=2441142	M=4629466
Mom relativo a CIRSOC 102-2005	0.75	1.00	0.74	1.41
Altura de aplicación de la resultante	Z=133.6m	Z=154.6m	Z=142.9m	Z=138,3.3m

Tabla 3: Fuerzas sobre la edificación según coeficientes de empuje global en cilindros.

3.9 Fuerzas que accionan sobre la construcción. Parte 2

Debido a que los coeficientes de presiones externas propuestos en la última versión del Reglamento CIRSOC 102 a utilizar en el Sistema Principal Resistente a la fuerza de viento no comprenden específicamente a las construcciones de forma cilíndrica, dedicando a éstas una clasificación aparte como chimeneas y tanques, se analizarán las fuerzas actuantes según el procedimiento de cálculo de un edificio con una planta de forma general, inscrita en una forma rectangular.

En la Tabla 4 se indican los valores obtenidos y la comparación de fuerzas globales respecto a los cálculos presentes en la Tabla 3.

	CIRSOC 102-94 CIRSOC 102-1	CIRSOC 102-2005	NBR-6123	EN 1991-1-4
Relación geométrica	$\lambda a = H/D = \lambda b = 5.61$ $\gamma \sigma = 1.14$ Fig.13	L/B=1	$\lambda = H/D = 5.61$	$\lambda = H/D = 5.61$
Coefficiente de presión	barlovento Ce = +0.80 sotavento Ce = -(1.3 $\gamma\sigma$ -0.8) = -0.68 Tabla 6	barlovento Ce = +0.80 sotavento Ce = -0.50 Fig.3	barlovento Ce = +0.80 sotavento Ce = -0.60 Tabla 4	barlovento Ce = +0.80 sotavento Ce = -0.70 Tabla 7.1
Presión de cálculo	variable q(z)	barlovento: variable q(z) sotavento: constante q(H)	variable q(z)	barlovento: variable q(z) sotavento: z > H-D q(H) D < z < H-D q(z) z < D q(D)
Corte en la base [kN]	Q=49453	Q=43968	Q=37669	Q=52089
Corte relativo a CIRSOC 102-2005	1.12	1.00	0.86	1.18
Momento en la base [kNm]	M=7508450	M=6152417	M=5899831	M=7130829
Momento relativo a CIRSOC 102-2005	1.22	1.00	0.96	1.16
Altura de aplicación de la resultante	Z=151.8m	Z=139.9m	Z=145.6m	Z=125.9m
Variación en corte respecto a Parte 1	+170%	+107%	+138%	+68%
Variación en el Momento respecto a Parte 1	+206%	+87%	+142%	+54%

Tabla 4: Fuerzas sobre la edificación según coeficientes de presiones para construcción de base rectangular.

3.10 Incidencia de desprendimiento de vórtices

Dada la geometría de la construcción se estudia la necesidad de evaluar las acciones normales a la dirección del viento debido a la formación de vórtices, según lo presenta cada

norma.

CIRSOC 102-1 calcula las acciones normales a la dirección del flujo. A partir de la velocidad crítica

$$V_{cr} = D / (S * T) = 29.5 \text{ m/s} \quad (13)$$

Donde: D es el diámetro de la construcción
S es el número de Strouhal. (S=0.2 para cilindros de hormigón armado)
T es el período del edificio. (T=8 s)

La Recomendación indica que se podrá prescindir del cálculo de resonancia en caso que la velocidad crítica supere 25 m/s.

En el Reglamento CIRSOC 102-2005 no es de aplicación el efecto transversal a la dirección del flujo. No están dentro del alcance del Reglamento las estructuras sujetas a desprendimiento de vórtices.

La norma NBR 6123 propone el valor S=0.28 en función del número de Reynolds. Con esto la velocidad crítica es igual a 21 m/s. No indica limitaciones de velocidades como condición de análisis.

La norma EN 1991 propone en el Anexo E la necesidad de analizar el efecto de vórtices en los siguientes casos: 1) si la relación H/D > 6. 2) si $V_{cr} < 1.25 * V_m$. En el caso en estudio, la segunda condición no se cumple. Sí la primera.

4 COMENTARIOS FINALES

Se han comparado los distintos procedimientos indicados en las normativas estudiadas con el objetivo de estimar la acción del viento sobre una construcción en particular, desde el punto de vista del análisis estructural. Surgen los siguientes comentarios:

- 1) Las distintas normas proveen de un procedimiento analítico para la determinación de la acción del viento. En el caso del Reglamento CIRSOC 102-2005 indica y diferencia expresamente tres métodos de análisis: un Procedimiento Simplificado, un Procedimiento Analítico, desarrollado para este trabajo, y un Procedimiento del Túnel de Viento. Es esta norma la adoptada como referencia en los criterios de diseño del proyecto.
- 2) CIRSOC 102-2005 relaciona la presión de viento de diseño con las combinaciones de estados límite último a utilizar en el dimensionado de las estructuras.
- 3) Las normas NBR 6123 y EN 1991 presentan cinco categorías de rugosidad de terreno mientras que las normas CIRSOC proponen cuatro. En el Reglamento CIRSOC 102-2005 interviene la altura de la edificación en la categorización del terreno. Esto último es significativo por la gran relación de altura entre la torre proyectada y las edificaciones de los alrededores, además de los cambios de rugosidad por la presencia de la costa del Río de la Plata distante a 3 km aproximadamente. Sin embargo no presenta una metodología para la transición entre distintas rugosidades de terreno, característica de aplicación en el caso del proyecto en estudio por la variedad de obstáculos presentes en los alrededores.
- 4) La determinación del factor de ráfaga en el Reglamento CIRSOC 102-2005 presenta gran sensibilidad a la frecuencia natural de la construcción. En etapa de diseño lleva a una iteración entre solicitaciones y dimensiones de la estructura resistente más allá de estar definida la superficie de la envolvente expuesta al viento.

- 5) Se observa similitudes en la variación de presiones con la altura en las normas aplicadas. El perfil logarítmico y el perfil potencial son comparables. El caso de excepción es la aplicación en la Recomendación CIRSOC 102-1 del coeficiente de corrección del gradiente de velocidades C_2 , que es variable con la altura y afecta hasta un 33% más al nivel de remate del edificio que al nivel terreno.
- 6) La necesidad de tener en cuenta los desprendimientos de vórtices es variada en las distintas normas y esa condición depende en gran medida del número de Strouhal que difiere según la norma aplicada. Se concluye que será necesaria la verificación de la edificación respecto a la acción transversal del viento por desprendimiento de vórtices.
- 7) Si bien los cuerpos de forma cilíndrica de eje vertical y apoyados en el suelo han sido extensamente estudiados y se encuentra numerosa bibliografía que aborda el tema, en las normas aplicadas en este trabajo son restringidos principalmente a estructuras como silos, tanques y chimeneas. Se observa por lo tanto una diferencia en la clasificación de las construcciones, quedando la forma de planta rectangular como caso general al que se debe adaptar la forma regular de cualquier edificio. Se interpreta por edificio a aquella construcción en la que puedan habitar personas y por lo tanto entrará en una categoría distinta a una chimenea o tanque aunque cuenten con la misma geometría expuesta a la acción del viento. Por este motivo se ha evaluado la acción del viento asimilando la edificación a una forma de “caja” de base con lado igual al diámetro de la construcción. La diferencia las fuerzas totales actuantes entre la forma cuadrada y la forma circular es significativa, como es de prever por la menor resistencia al flujo que presenta la segunda. Queda a partir de este último análisis un amplio rango de formas de edificaciones que presentarán una respuesta intermedia entre los casos mencionados. Se entiende que los reglamentos proponen metodologías generales de cálculo que cubran la mayor cantidad de casos posibles manteniendo condiciones de seguridad adecuadas. Es tarea del proyectista la complementación del estudio de cargas de viento en base a la bibliografía específica y estudios de laboratorio.
- 8) Se encuentra mayor dispersión en las solicitaciones resultantes cuando se calculan las fuerzas de viento como cilindro. El coeficiente de arrastre y el grado de rugosidad de la edificación adoptados en cada caso son las causas principales de estas diferencias.
- 9) Por último, en base a lo comentado en el punto anterior y debido a las particularidades de la edificación se llevará a cabo un estudio en túnel de viento en el cual se podrá estimar la acción del viento sobre la estructura. El Reglamento CIRSOC 102-2005 presenta algunos lineamientos respecto a este estudio.

5 REFERENCIAS

- CIRSOC 102-, *Acción del Viento sobre las Construcciones*, INTI, 1994.
- CIRSOC 102-1, *Acción dinámica del Viento sobre las Construcciones*, INTI, 1982.
- CIRSOC 102, *Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones*, INTI, 2005.
- EN 1991-1-4, *Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions*, CEN, 2005.
- NBR 6123, *Forças devidas ao vento em edificações*, ABNT, 1988.