



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

ENSAYO EN TUNEL DE VIENTO CON MODELO REDUCIDO DE UN EDIFICIO A SER CONSTRUIDO EN POSADAS (MISIONES)

De Bortoli, Mario^{*1}, Marighetti, Jorge¹, Wittwer, Adrian¹

^{*1} Laboratorio de Aerodinámica - Universidad Nacional del Nordeste
Av. Las Heras 727 Resistencia Chaco Argentina
correo-e: mdebortoli@yahoo.com.ar

RESUMEN

El Reglamento Argentino de Acción del Viento Sobre las Construcciones, CIRSOC 102 especifica coeficientes de carga aplicables a estructuras de formas regulares. El reglamento aclara que cuando la estructura posee grandes dimensiones, formas geométricas inusuales o efectos de vecindad por la presencia de edificios cercanos es necesario estudiar más detalladamente la estructura en túnel de viento. Esto además permite lograr un proyecto más seguro desde el punto de vista de las acciones del viento. Para analizar el efecto que produce el viento atmosférico en estructuras mediante modelos reducidos en el túnel de viento es necesario satisfacer las leyes de semejanza geométrica, cinemática y dinámica entre modelo y prototipo.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en estudios realizados en el Túnel de Viento de la UNNE "Jacek Gorecki" solicitados por MNS S.A. sobre un modelo a escala 1/200 del edificio a construirse en la ciudad de Posadas (Misiones) de 85 metros de altura aproximadamente. La estructura consiste en un edificio liviano, alto y con dos fachadas vidriadas, tipo curtain-wall. Los ensayos fueron realizados con una simulación de viento natural, que reproduce en el túnel de viento la variación en altura de las velocidades medias y fluctuantes del viento atmosférico. En el modelo a escala del edificio se reprodujeron los detalles de relevancia aerodinámica.

Para determinar las presiones estáticas superficiales se reprodujeron los edificios que conforman el entorno inmediato. Las mediciones se realizaron con viento incidiendo desde 0° a 360°, a intervalos de 15°, mediante un escáner de presiones que registra las presiones fluctuantes de manera simultánea en la superficie del modelo.

Palabras Claves: Edificios altos, Túnel de Viento, Presiones fluctuantes, Paredes vidriadas.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

El Reglamento Argentino de Acción del Viento Sobre las Construcciones, CIRSOC 102 [1], especifica coeficientes de carga aplicables a estructuras de formas regulares y de pequeño porte. El reglamento aclara que cuando la estructura posee grandes dimensiones, formas geométricas inusuales o efectos de vecindad por la presencia de edificios cercanos es necesario estudiar más detalladamente la estructura en túnel de viento. Esto además permite lograr un proyecto más seguro desde el punto de vista de las acciones del viento.

El Laboratorio de Aerodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE, que tiene como principal campo de aplicación el estudio del comportamiento de las estructuras dentro de la capa límite atmosférica, cuenta con un túnel de capa límite y el instrumental necesario para realizar ensayos estructurales con simulación de la capa límite atmosférica.

El Reglamento especifica en el Capítulo 6 que las condiciones mínimas a cumplir en los ensayos en túnel de viento con modelos reducidos son que la capa límite atmosférica natural ha sido modelada para tener en cuenta la variación de la velocidad del viento con la altura, las escalas de la componente longitudinal de la turbulencia atmosférica están modeladas aproximadamente a la misma escala que la usada para modelar el edificio u otra estructura., el edificio u otra estructura modelada, las estructuras y topografía circundantes son geoméricamente similares a sus contrapartes en escala natural, entre otras.

El presente estudio fue realizado por el Laboratorio de Aerodinámica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) para determinar las acciones provocadas por viento atmosférico sobre una torre a construirse en la ciudad de Posadas, provincia de Misiones, mediante análisis experimental en túnel de viento sobre un modelo a escala reducida. Se reprodujo el entorno edilicio para considerar el efecto de vecindad y se determinaron los coeficientes de presión local y coeficientes de fuerza global para 24 direcciones de viento incidente.

2. Descripción del trabajo experimental

Los ensayos fueron realizados sobre un modelo rígido a escala reducida considerando las condiciones de vecindad en torno a la estructura, las características medias y los parámetros de turbulencia del viento atmosférico correspondiente al terreno de emplazamiento de la estructura. El modelo reducido del edificio-torre, con su entorno natural y artificial fue reproducido hasta una distancia de 2,5 veces la altura de la torre, en escala geométrica 1/200, compatible con la escala del viento atmosférico simulado en el túnel de viento [2, 3]. Las mediciones de las presiones estáticas originadas por el viento sobre el modelo se realizaron en la cámara de ensayos del túnel de viento, donde la velocidad máxima en vacío es de 25 m/s. Se midieron presiones fluctuantes en la superficie exterior del modelo reducido por medio de tomas de presión estática, utilizando un sistema de medición scanivalve de 2 x 64 canales



simultáneos. Posteriormente se determinaron coeficientes de presión local correspondientes a las tomas de presión. Los ensayos fueron realizados con viento incidiendo desde 0° a 360° , a intervalos de 15° . Con los datos de las mediciones, para cada dirección de viento analizada, se determinaron los coeficientes de fuerza global.

3. Técnica de simulación de la capa límite en el túnel de viento

El túnel "Jacek P. Gorecki" de la UNNE es un túnel de capa límite de circuito abierto, con una cámara de ensayo de 2,4 m de ancho \times 1,8 m de alto \times 22,8 m de largo [4]. La simulación de la capa límite atmosférica implementada en el túnel de viento para estos ensayos se encuentra comprendida dentro de los métodos de rugosidad, barrera y dispositivo de mezcla [5], que permiten obtener escalas de simulación adecuadas para su utilización en el área estructural. A barlovento, se ubican dos generadores de vorticidad del tipo de Counihan para obtener características semejantes a las atmosféricas (Figura 1).

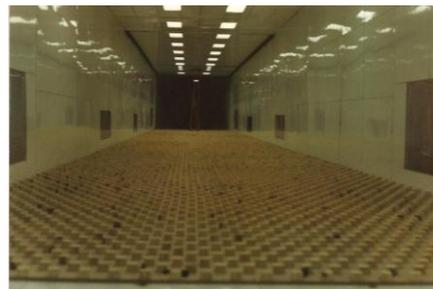


Fig. 1. Equipamiento de simulación de viento natural.

La Figura 2 muestra las características del escurrimiento incidente utilizado en estos ensayos; perfil de velocidades medias y perfil de intensidad turbulencia. El escurrimiento se puede asociar al de una zona suburbana ($n = 0,21$) [6].

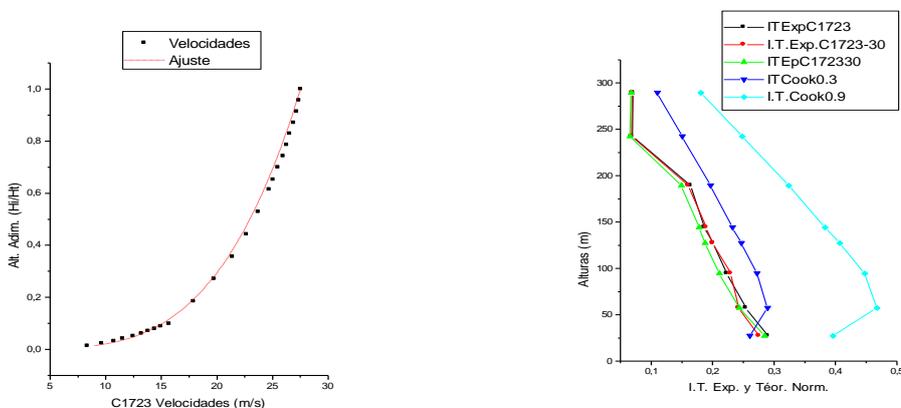


Fig. 2. Perfiles de velocidad media e intensidad de turbulencia.

Los reglamentos de viento clasifican al flujo atmosférico en función de la rugosidad superficial donde será construida la estructura, que para el caso de referencia se corresponde a la



categoría de terreno suburbano. El reglamento CIRSOC 102 adopta como valor característico de los distintos tipos de terreno, el exponente de la ley potencial de velocidades medias, n .

4. Descripción del modelo utilizado

Para que los coeficientes de presión obtenidos sobre el modelo guarden correspondencia con la estructura real deben respetarse ciertas condiciones de semejanza. El modelo fue construido con una escala geométrica de 1:200, reproduciéndose los detalles de relevancia aerodinámica (Figura 3). Para cada una de las direcciones de viento analizadas se reprodujeron la rugosidad y los edificios cercanos. En Figura 3, además, se indican la orientación de los ejes de referencia, la dirección de viento incidente correspondiente a 0° y el sentido de giro para las sucesivas rotaciones de 15° que determinan las 24 direcciones de viento analizadas.

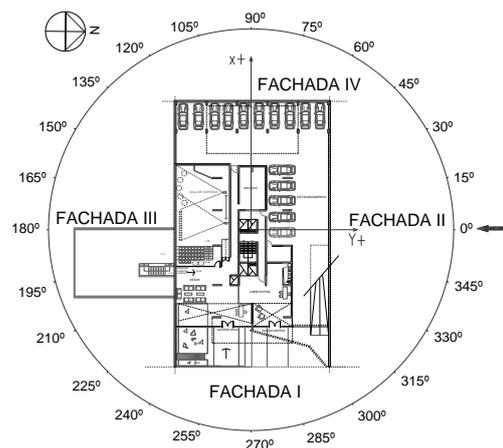


Fig. 3. Modelo del edificio en la cámara de ensayos del túnel de viento y ejes de referencia adoptados e indicación de ángulo (dirección viento incidente).

4. Instrumental utilizado

Para determinar las características de la simulación de la capa límite atmosférica en el túnel de viento se realizaron mediciones de las velocidades medias y fluctuaciones de velocidad. Las velocidades medias se determinaron con tubos de Pitot-Prandtl y micro-manómetro, tipo Betz. Se registraron las velocidades del escurrimiento medio en condición no perturbada (a barlovento del modelo para evitar interferencias) a la altura de referencia, equivalente a la altura máxima del modelo, utilizando un tubo de Pitot-Prandtl. Esto permite obtener la presión dinámica de referencia, q_z , en forma simultánea a las mediciones de las presiones fluctuantes sobre la torre. La presión estática no perturbada se obtuvo del mismo tubo de Pitot-Prandtl. Para el análisis de las velocidades fluctuantes se utilizó un anemómetro de hilo caliente Dantec 56C con una placa de adquisición de datos Computer Board PCI-DAS 1602/16 y los registros se procesaron con software desarrollado en este laboratorio. Mediante el procesamiento de datos se obtuvieron intensidades de turbulencia y espectros de potencia.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

Los registros de presiones fluctuantes de las tomas de presión ubicadas sobre la superficie de la torre, fueron obtenidos mediante un sistema de medición de presiones simultáneas scanivalve de 128 canales.

5. Distribución de tomas estáticas

La distribución de tomas de presión sobre el modelo presenta diferentes configuraciones de acuerdo a aspectos geométricos y de diseño estructural. Así, es posible considerar 4 grupos de tomas teniendo en cuenta su localización y su posterior aplicación al análisis de cargas de viento, locales o globales, y a la prevención de efectos aerodinámicos localizados de viento no necesariamente asociados a cargas locales.

El primer conjunto de tomas se denomina grupo A y está asociado con el análisis de cargas globales provocada por el viento sobre la estructura. Se caracteriza porque las tomas se ubican en las áreas expuestas directamente a la acción del viento, es decir, sobre las fachadas I, II, III y IV respectivamente. En las figuras 5 y 6 se muestran las fachadas I, II, III y IV con la correspondiente distribución de las tomas de presión. De acuerdo a la configuración en planta de la torre, teniendo en cuenta las 4 fachadas (I, II, III y IV) y las tomas se distribuyen perimetralmente considerando 8 niveles definidos por la altura respecto al suelo. En correspondencia con cada nivel se definieron la ubicación de las tomas de presión estática superficial y las áreas tributarias (ancho x alto) para cada toma de presión.

El grupo B corresponde a la zona de balcones abiertos en la que, por cada balcón instrumentado, se colocaron 3 tomas de presión. No se instrumentaron todos los balcones sino que se eligieron tres considerados los más representativos. Este grupo corresponde a la zona de balcones donde, como se indica en el detalle 1 de la Figura 7 y la ubicación de las tomas de presión estática en el área de estacionamiento.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

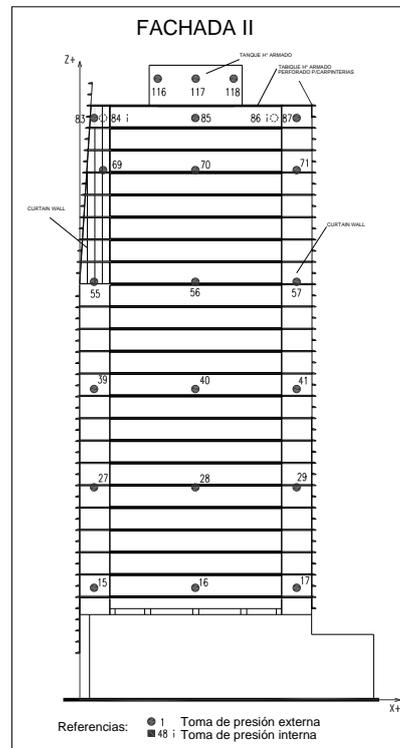
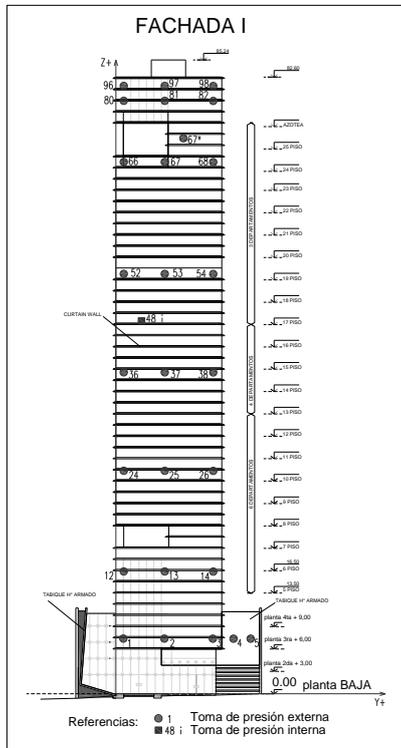


Fig. 5. Ubicación de tomas de presión en fachadas I y II (Grupo A).

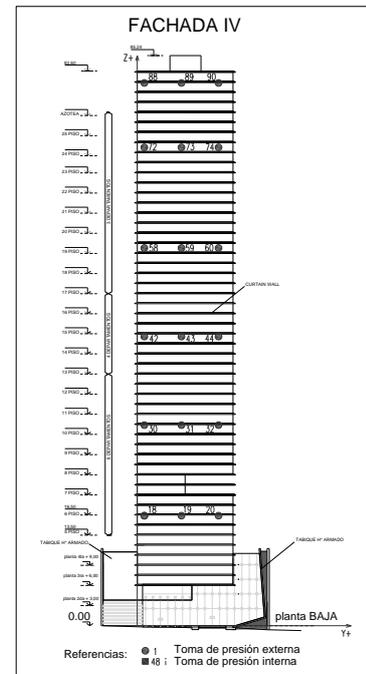
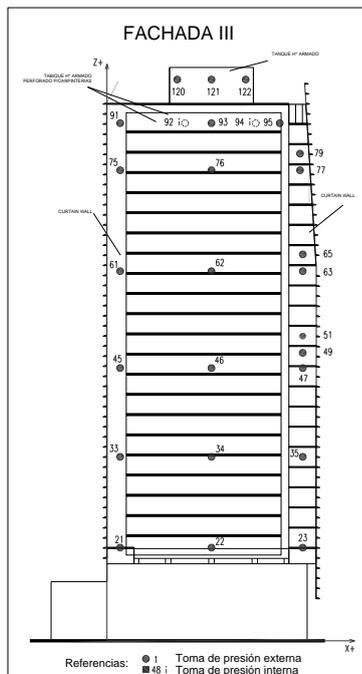


Fig. 6. Ubicación de tomas de presión en fachadas III y IV (Grupo A).

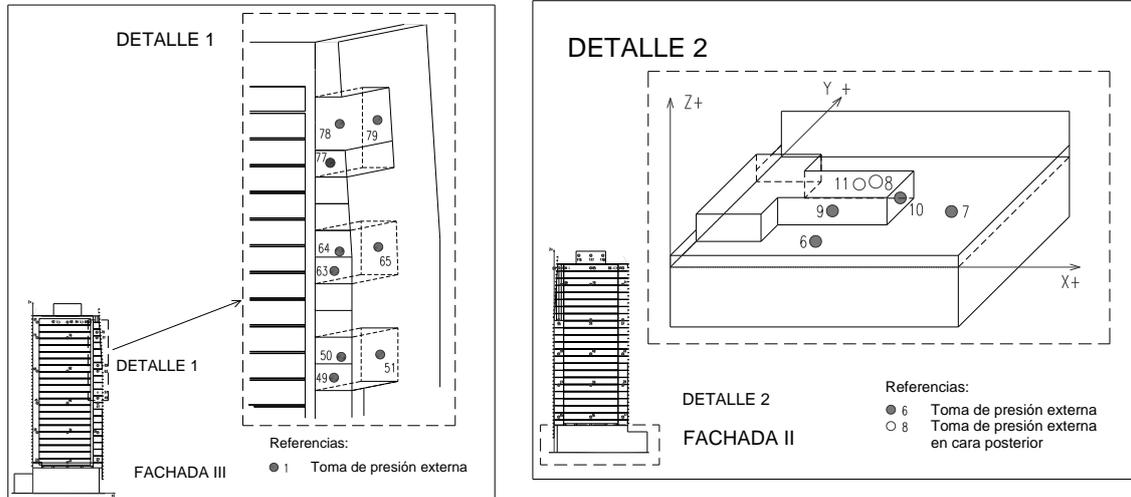


Fig. 7. Detalle ubicación de tomas de presión del grupo B (balcones) y grupo C.

Existe un conjunto de tomas asociado al área de estacionamiento vehicular (piso IV) que constituye el grupo C. El estrangulamiento que se genera, producto de la estructura principal y la superficie abierta, podría requerir el análisis de efectos localizados de ráfagas de viento combinados con escurrimientos medios intensos. El grupo D, Figura 9, está conformado por tomas ubicada en la zona de terraza del edificio; en este espacio, se debe considerar criterio de uso ya que constituye un área de esparcimiento.

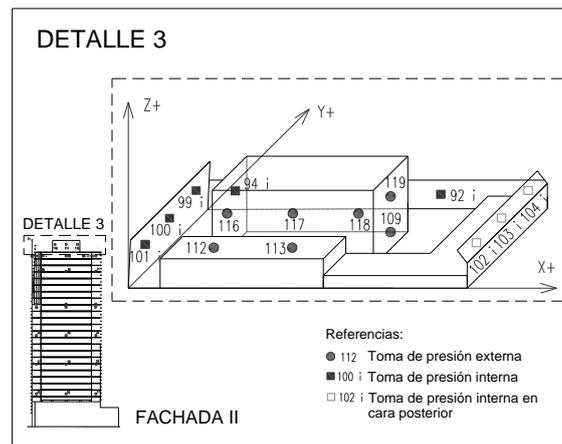


Fig. 9. Detalle en perspectiva de la ubicación de tomas de presión del grupo D (fachada II).

6. Coeficiente de Presión Local, de Fuerza y Momento Global

Se determinaron coeficientes de presión local en 127 puntos en las superficies exteriores de la torre, zona de balcones, área de estacionamiento y zona de terraza. Conforme a la literatura especializada, se dan las siguientes definiciones que son compatibles con las que indica el reglamento CIRSOC 102. El coeficiente de presión local exterior está definido por:



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

$$c_e = \frac{\Delta p_e}{q_z} \quad (1)$$

Donde, Δp_e : es la diferencia de presión estática exterior entre el punto de medición (toma de presión sobre la superficie) y la presión estática de referencia (toma estática del tubo Pitot-Prandtl ubicado en la posición de referencia) y q_z : es la presión dinámica medida a la altura de referencia. Valores positivos de c_e corresponden a acciones dirigidas hacia la superficie.

En Tablas 1, 2, 3 y 4 se muestran los coeficientes de presión local mínimo, máximo, medio y RMS obtenidos en cada toma y para cada dirección de viento analizada.

Tabla N° 1. Coeficiente de presión local mínimo

T	Dirección de viento incidente (α)									
	0	15	30	45	----	285	300	315	330	345
1	-2.01	-2.07	-2.43	-2.72	----	-0.72	-0.48	-1.28	-1.44	-1.90
2	-2.38	-2.67	-2.50	-3.10	----	-0.53	-0.57	-0.99	-2.01	-2.11
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
127	0.08	-0.02	-0.01	-0.02	----	-0.15	-0.14	-0.07	-0.11	-0.06
128	1.00	1.00	1.00	1.00	----	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabla N° 2. Coeficiente de presión local máximo

T	Dirección de viento incidente (α)									
	0	15	30	45	-----	285	300	315	330	345
1	0,35	-0,12	-0,02	-0,05	-----	1,15	1,19	0,80	1,03	0,64
2	0,18	-0,31	-0,32	-0,22	-----	1,09	1,19	0,69	0,57	0,22
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
127	0,49	0,42	0,35	0,38	-----	0,22	0,26	0,35	0,32	0,31
128	1,00	1,00	1,00	1,00	-----	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabla N° 3. Coeficiente de presión local medio

T	Dirección de viento incidente (α)									
	0	15	30	45	-----	285	300	315	330	345
1	-0.61	-0.83	-0.90	-0.80	-----	0.10	0.25	-0.10	-0.32	-0.56
2	-0.78	-1.08	-1.09	-1.03	-----	0.07	0.22	-0.14	-0.42	-0.69
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
127	0.29	0.23	0.17	0.18	-----	0.03	0.07	0.13	0.08	0.11
128	1.00	1.00	1.00	1.00	-----	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00



Tabla N° 4. Coeficiente RMS de presión local

T	Dirección de viento incidente (α)									
	0	15	30	45	-----	285	300	315	330	345
1	0.25	0.24	0.23	0.25	-----	0.18	0.22	0.20	0.24	0.25
2	0.26	0.28	0.27	0.32	-----	0.16	0.21	0.21	0.27	0.28
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
127	0.06	0.06	0.05	0.06	-----	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
128	1.00	1.00	1.00	1.00	-----	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Los coeficientes de presión local se determinaron a partir de las presiones fluctuantes medidas en cada toma, de forma tal que fue posible obtener el coeficiente local medio, mínimo, máximo y RMS, respectivamente. Los coeficientes de presión interna local, estos se definen como:

$$c_i = \frac{\Delta p_i}{q_z} \quad (2)$$

Donde Δp_i es la diferencia de presión estática interior entre el punto de medición y la presión estática de referencia (toma estática tubo Pitot-Prandtl). El coeficiente de presión neta o total, c , es la diferencia entre los coeficientes de presión exterior e interior, resulta $c = c_e - c_i$.

La fuerza normal a la superficie de la torre, provocada por la presión estática local en relación a las áreas tributarias superficiales, se proyectaron en los ejes ortogonales X e Y (Figura 6). Los coeficientes de fuerza para cada eje son:

$$C_{fx} = \frac{F_x}{q_z A_M}; \quad C_{fy} = \frac{F_y}{q_z A_M} \quad (3)$$

Donde F_x es la componente de la fuerza actuante en la dirección X sobre el modelo, F_y la componente de la fuerza actuante en la dirección Y sobre el modelo y A_M el área de referencia es definida como el producto de B_l y H_l que son el ancho y altura total de la fachada l correspondiente al frente de la torre respectivamente. En este ensayo, los coeficientes de fuerza se determinaron a partir de los coeficientes de presión, integrando las acciones sobre cada área tributaria, conforme a la siguiente expresión:

$$C_{fx} = \frac{\sum_{j=1}^n c_{pj} A_j \sin \beta_j}{A_M}; \quad C_{fy} = \frac{\sum_{j=1}^n c_{pj} A_j \cos \beta_j}{A_M} \quad (4)$$

Donde n es el número de tomas de la torre, c_{pj} es el coeficiente de presión neta o total correspondiente a la toma j , A_j es el área tributaria de la toma j , β_j es el ángulo que forma la fuerza normal superficial respecto al eje y positivo en sentido contrario a la agujas del reloj. Con las componentes de las fuerzas proyectadas en los ejes X e Y se determinaron los coeficientes



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

adimensionales de momento de volcamiento para cada torre y dirección de viento incidente.

Las expresiones empleadas resultan:

$$C_{M_x} = \frac{\sum_{j=1}^n c_{p_j} A_j \cos \beta_j h_j}{A_M H_I}; \quad C_{M_y} = \frac{\sum_{j=1}^n c_{p_j} A_j \operatorname{sen} \beta_j h_j}{A_M H_I} \quad (5)$$

Donde n es el número de tomas de presión de la torre, c_{p_j} es el coeficiente de presión neta o total correspondiente a la toma j , A_j es el área tributaria de la toma j , β_j es el ángulo que forma la fuerza normal superficial respecto al eje y positivo en sentido contrario a la agujas del reloj, h_j la altura de toma de presión j medida desde nivel del suelo, H_I es la altura total de la fachada I correspondiente al frente de la torre. En Tabla 5 se muestran los coeficientes de fuerza y coeficientes de momento de volcamiento para las direcciones de viento analizadas (α).

Tabla 5. Coeficientes de fuerza y momento de volcamiento para las direcciones de viento analizadas.

A	CF _x	CF _y	CM _x	CM _y
0	0.05	-2.70	0.03	-1.64
15	0.28	-2.88	0.19	-1.72
30	-0.03	-2.74	-0.01	-1.62
45	-0.67	-2.12	-0.40	-1.30
60	-0.86	-1.47	-0.53	-0.96
75	-0.88	-0.61	-0.55	-0.48
90	-0.86	0.57	-0.53	0.27
105	-0.92	0.76	-0.56	0.44
120	-0.90	1.40	-0.54	0.85
135	-0.61	1.97	-0.36	1.24
150	-0.20	2.57	-0.08	1.57
165	0.20	2.90	0.17	1.77
10	0.03	2.90	0.04	1.76
195	-0.18	2.89	-0.12	1.75
210	0.29	2.48	0.16	1.55
225	0.81	2.10	0.49	1.30
240	0.93	1.35	0.57	0.86
255	0.97	0.90	0.61	0.55
270	0.84	-0.09	0.54	-0.03
285	0.91	-1.48	0.56	-0.87
300	0.94	-1.96	0.54	-1.13
315	0.64	-2.33	0.39	-1.37
330	0.06	-2.75	0.04	-1.62
345	-0.14	-2.85	-0.10	-1.69

7. Discusión de resultados y conclusiones

Con relación a las cargas de viento, es posible establecer que las máximas cargas se producen en la torre cuando ésta queda ubicada con las caras de mayor superficie expuestas frontalmente, es decir, las fachadas II y III para direcciones de viento incidente 0, 15, 165, 180, 195 y 345 grados. En este primer análisis, los coeficientes locales de presión son presentados mediante sus valores medio, mínimo, máximo y RMS. Para el cálculo de cargas de viento mediante el reglamento CIRSOC 102, podrá ser utilizado el valor medio afectado por un coeficiente de ráfaga. No obstante, en zonas puntuales podrá complementarse el análisis



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

mediante la utilización de los valores fluctuantes de presión que fueron registrados en este estudio. En general se observa que la amplificación del coeficiente de presión local medio por ejemplo en tres veces el desvío estándar obtenido a partir de los valores instantáneos de las fluctuaciones de presión, para así incluir el 99% de los valores correspondientes a una muestra aleatoria gaussiana, es pertinente en algunas tomas de presión, pero esto no representa físicamente una carga sobre la estructura. Para ello debería aplicarse el método estadístico de máximos y mínimos a partir de promediado de carga considerando tiempo de aplicación, por ejemplo uno, cuatro y dieciséis segundos respectivamente.

8. REFERENCIAS

- [1] Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, Reglamento CIRSOC 102: "Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones", INTI, Bs. As., Noviembre de 2001.
- [2] Cook, N. J. "Wind-Tunnel Simulation of the Adiabatic Atmospheric Boundary Layer by Roughness, Barrier and Mixing-Device Methods", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 3, pp. 157-176, 1978.
- [3] Cook, N. J. "Simulation techniques for short test-section wind tunnels: roughness, barrier and mixing-device methods", Wind tunnel Modeling for Civil Engineering Applications, pp. 126-136, 1977.
- [4] Wittwer, A. R. and Möller, S. V. "Characteristics of the low speed wind tunnel of the UNNE", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 84 (3), pp. 307-320, 2000. Holmes, John D. *Wind Loading of Structures*. London and New York : Spon Press, 2001.
- [5] Cook, N. J. "Determination of the Model Scale Factor in Wind-Tunnel Simulations of the Adiabatic Atmospheric Boundary Layer", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 2, pp. 311-321, 1977/1978.
- [6] De Bortoli, M. E.; Natalini, B.; Paluch, M. J. and Natalini, M. B. "Part-Depth Wind Tunnel Simulations of the Atmospheric Boundary Layer", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 90, pp. 281-291, 2002.