

EVALUACIÓN DE EFECTOS LOCALIZADOS DE VIENTO EN EL ESTADIO DE RACING CLUB DE AVELLANEDA

Wittwer, Adrián R.¹; Marighetti, Jorge O.²; De Bortoli, Mario E.³

¹Ingeniero Mecánico

²Ingeniero Mecánico

³Ingeniero Civil

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste.

a_wittwer@yahoo.es

RESUMEN

El trabajo presenta el análisis de los efectos localizados de viento sobre el Estadio de Racing Club mediante ensayos realizados en el túnel de viento "J. P. Gorecki" de la UNNE. Una simulación de tipo espesor total de la capa límite atmosférica correspondiente a un terreno suburbano fue utilizada en los ensayos. Con un factor de escala de 200, se construyó el modelo y se reprodujo el entorno edilicio próximo a la zona de emplazamiento del estadio. Coeficientes de presión media, de pico máximo y mínimo fueron determinados en áreas de interés de la cubierta del estadio. Fueron evaluadas las acciones de viento localizadas que se pueden producir sobre la gran pantalla a ser instalada en el estadio. En todos los ensayos se utilizó el sistema de medición de presiones simultáneas Scanivalve. Finalmente, se realizó una comparación de los resultados obtenidos en este estudio con resultados obtenidos 15 años atrás en un estudio de este tipo.

ABSTRACT

This paper describes a wind-tunnel analysis of local wind effects on the Racing Club Football Stadium. The tests were developed in the "J. P. Gorecki" wind-tunnel of the UNNE. A full-depth atmospheric boundary layer simulation corresponding to a suburban terrain was used in the tests. The building environment in the stadium's location area was reproduced with a scale factor of 200. Mean, maximum and minimum peak pressure coefficients were determined at areas of interest on the stadium covering. Local wind actions on the wide screen of the stadium were also analyzed. All the wind tunnel tests were carried out using the Scanivalve pressure measurement system. Finally, a comparison between the results obtained in this study with results obtained in a study conducted 15 years ago was realized.

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. 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.

En 1954 Jensen [2] dio a conocer una comparación de resultados de mediciones de presión sobre una casa en escala natural y sobre un modelo de la misma, a escala reducida, en túnel de viento. Los ensayos comprendían mediciones con el modelo sometido a flujo uniforme y suave y con el modelo inmerso en la capa límite desarrollada sobre diferentes placas rugosas. A partir de éste y posteriores trabajos publicados a principio de la década del '60 quedó definitivamente establecido que una determinación de cargas de viento que tenga en cuenta los criterios de semejanza entre modelo y prototipo, requiere un particular tipo de túnel de viento conocido como túnel de capa límite, diferente de aquellos de uso aeronáutico. Para estos túneles se han desarrollado técnicas de simulación de la capa límite atmosférica que permiten reproducir el perfil de velocidades medias y las características turbulentas del flujo atmosférico. 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 CIRSOC 102 además establece cuales deben ser las condiciones mínimas a cumplir en los ensayos en túnel de viento:

1. La capa límite atmosférica natural debe ser modelada para tener en cuenta la variación de la velocidad del viento con la altura.
2. Las escalas de la componente longitudinal de la turbulencia atmosférica serán modeladas aproximadamente a la misma escala que la usada para modelar el edificio u otra estructura.
3. El edificio u otra estructura modelada, las estructuras y topografía circundantes serán geoméricamente similares a sus contrapartes en escala natural, excepto para edificios de baja altura que reúnan los requisitos especificados en el Reglamento, en cuyo caso se permitirán ensayos en un único sitio de exposición para el edificio modelado.
4. El área proyectada del edificio u otra estructura y alrededores modelados debe ser menor al 8% del área de la sección transversal de ensayo, a menos que se haga una corrección por bloqueo.
5. Se debe tener en cuenta el gradiente de presión longitudinal en la sección de ensayo del túnel de viento.
6. Los efectos del número de Reynolds sobre las presiones y las fuerzas deben ser minimizados.

7. Las características de respuesta del instrumental del túnel de viento son consistentes con las mediciones requeridas.

El presente estudio fue realizado por el personal del Laboratorio de Aerodinámica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). El trabajo fue llevado a cabo para determinar las acciones provocadas por viento atmosférico sobre la cubierta y la pantalla de visualización instalada en el estadio “Presidente Perón” de Racing Club de Avellaneda, Buenos Aires, mediante análisis experimental en túnel de viento sobre un modelo a escala reducida. Los resultados corresponden a las cargas provocadas por el viento sobre las instalaciones del estadio que fueron determinadas a partir de ensayos en túnel de viento, considerando el efecto de vecindad mediante la reproducción del entorno edilicio y superficial inmediato. Se determinaron coeficientes de presión local y coeficientes de fuerza localizados sobre la cubierta y la pantalla de visualización, para 24 direcciones de viento incidente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos fueron realizados sobre un modelo rígido a escala reducida conforme indica el Reglamento CIRSOC 102 [1]. Se tuvieron en cuenta las características medias y los parámetros de turbulencia del viento atmosférico correspondiente al terreno de emplazamiento del estadio. Fue construido un modelo reducido del estadio de Racing Club, con su entorno natural y artificial reproducido hasta un diámetro de aproximadamente 600 m desde el centro del propio estadio, en escala geométrica 1/200, compatible con la escala del viento atmosférico simulado en el túnel de viento.

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 alcanza 25 m/s. Se midieron las 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°. Complementariamente, se determinaron coeficientes de presión neta sobre elementos estructurales específicos. Con los datos de las mediciones, para cada dirección de viento analizada, se determinaron los coeficientes de fuerza localizados.

El túnel de viento de la Universidad Nacional del Nordeste

El túnel “Jacek P. Gorecki” de la Universidad Nacional del Nordeste, UNNE (Figura 1), es un túnel de capa límite de circuito abierto, también denominado tipo Eiffel. La longitud total del túnel es de 39,65 m. La cámara de ensayos tiene 2,4 m de ancho x 1,8 m de alto x 22,8 m de largo. Posee dos mesas de ensayos giratorias de 1,2 m de diámetro; una a 3,8 m del inicio de la cámara (mesa I), y la otra a 19,4 m (mesa II). Un ventilador axial de 2,25 m de diámetro accionado por un motor trifásico inductivo de 92 kW produce una velocidad máxima en vacío de 25 m/s en la mesa II [3]. La

regulación de la velocidad se hace a través de un regulador de caudal mecánico.

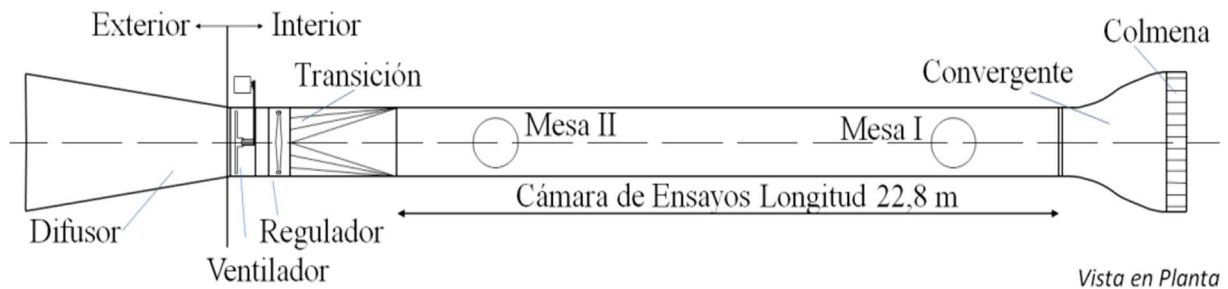


Figura 1. Túnel de viento "Jacek P. Gorecki" de la Universidad Nacional del Nordeste.

Simulación física de la capa límite atmosférica

La técnica de 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 [4], que permiten obtener escalas de simulación adecuadas para su utilización en el área estructural. La longitud de rugosidad superficial sobre el piso del túnel, durante los ensayos se estableció en función de la categoría de terreno a reproducir. A barlovento, se ubican dos generadores de vorticidad del tipo de Counihan [5] para generar un déficit inicial de cantidad de movimiento y distribuirlo en altura para obtener características semejantes a las atmosféricas (Figura 2).



Figura 2. Equipamiento de simulación de viento natural.

Conforme la clasificación que aparece en los reglamentos de viento, el flujo atmosférico simulado corresponde a la categoría de terreno suburbano. El perfil de

viento correspondiente, de acuerdo al tipo de terreno simulado, debe ser descrito en términos de alguna de las dos leyes de distribución de velocidades medias más usadas; la ley potencial o la ley logarítmica [6]. El reglamento CIRSOC 102 adopta como valor característico de los distintos tipos de terreno, el exponente de la ley potencial de velocidades medias, n .

La Figura 3 muestra las principales 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 ($n = 0,14$). Una discusión más detallada de estas simulaciones puede ser encontrada en referencias [7, 8].

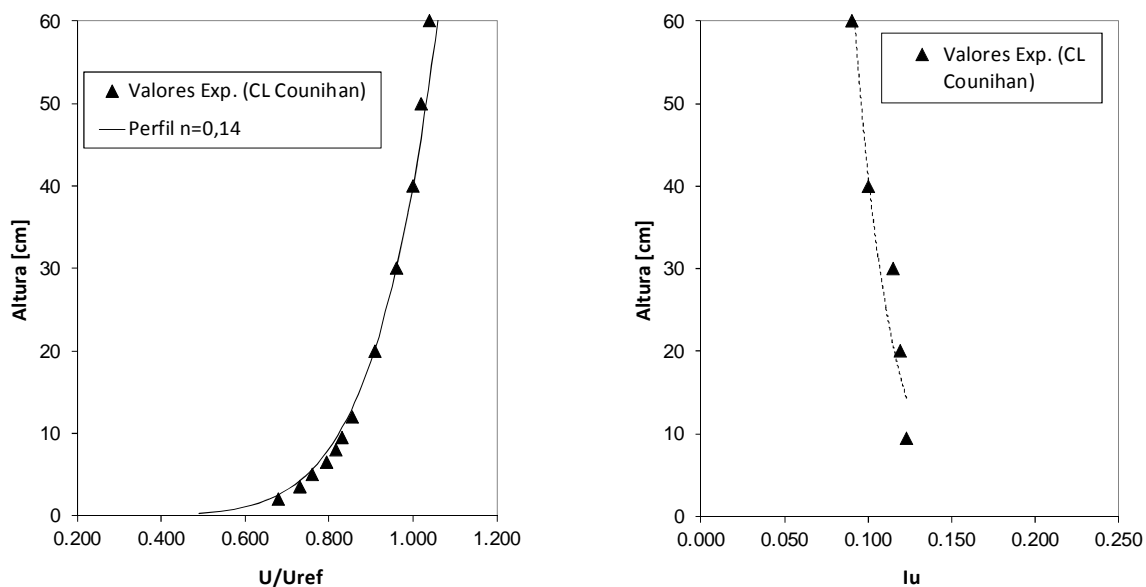


Figura 3. Perfiles de velocidad media e intensidad de turbulencia.

Modelo a escala reducida del estadio

Para que los coeficientes de presión obtenidos en el túnel de viento sobre el modelo guarden correspondencia con la estructura real deben respetarse condiciones de semejanza. Debe tenerse en cuenta que las características del flujo incidente sean semejantes a las del viento natural incidente en la estructura real, y el modelo debe guardar una semejanza geométrica con la estructura real dentro de un rango de escalas asociados a escalas geométricas presentes en el flujo incidente simulado. El modelo del estadio de Racing Club fue construido con una escala geométrica de 1:200, reproduciéndose los detalles de relevancia aerodinámica (Figura 5). Para cada una de las direcciones de viento analizadas se reprodujeron la rugosidad y los edificios cercanos. En Figura 6 se indica la orientación de las tomas de presión (externas e internas) con relación a las direcciones de viento incidente, la dirección de viento incidente de referencia correspondiente a 0° y el sentido de giro para las sucesivas rotaciones de 15° que determinan las 24 direcciones de viento analizadas.



Figura 4. Modelo del estadio de Racing Club y reproducción del entorno inmediato en la cámara de ensayos del túnel de viento.

Instrumental utilizado en las mediciones

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 fluctuantes. Las velocidades medias se determinaron con tubos de Pitot-Prandtl y micro-manómetro, tipo Betz. Para el análisis de las velocidades fluctuantes se utilizó un anemómetro de hilo caliente Dantec 56C con una placa de adquisición de datos 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.

Los registros de presiones fluctuantes de las tomas de presión ubicadas sobre la superficie de la cubierta y la pantalla de visualización fueron obtenidos mediante un sistema de medición de presiones simultáneas Scanivalve de 128 canales.

En todos los ensayos, 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 del estadio, 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 el modelo. La presión estática no perturbada se obtuvo del mismo tubo de Pitot-Prandtl.

Distribución de Tomas de Presión Estática

La distribución de tomas de presión se realizó de tal forma que puedan obtenerse las distribuciones de presión sobre toda la cubierta para cada dirección de viento incidente, como así también sobre la pantalla instalada. De esta forma, se colocaron 48 tomas de presión externa en la zona de barlovento y otras 48 tomas internas en la zona a sotavento, de acuerdo a lo indicado en la Figura 5 y en el detalle de Figura 6. Las tomas correspondientes a la pantalla se ubicaron de acuerdo a lo indicado en Figura 7, es decir, tres en el frente y tres en la parte posterior. Finalmente, en la Figura

8 se ilustra el montaje de las tomas de presión en el modelo del estadio. En esta Figura es posible observar, además de las tomas de presión estática sobre la cubierta y la pantalla, los sensores de velocidad tipo Irwin montados sobre la tribuna, que podrían detectar la existencia de corrientes de aire que afecten el confort del espectador.

Las áreas tributarias correspondientes a cada toma de presión se definieron considerando la mitad de distancia entre tomas y la distancia al borde en el caso de las tomas ubicadas en puntos extremos del área instrumentada o próximas al borde.

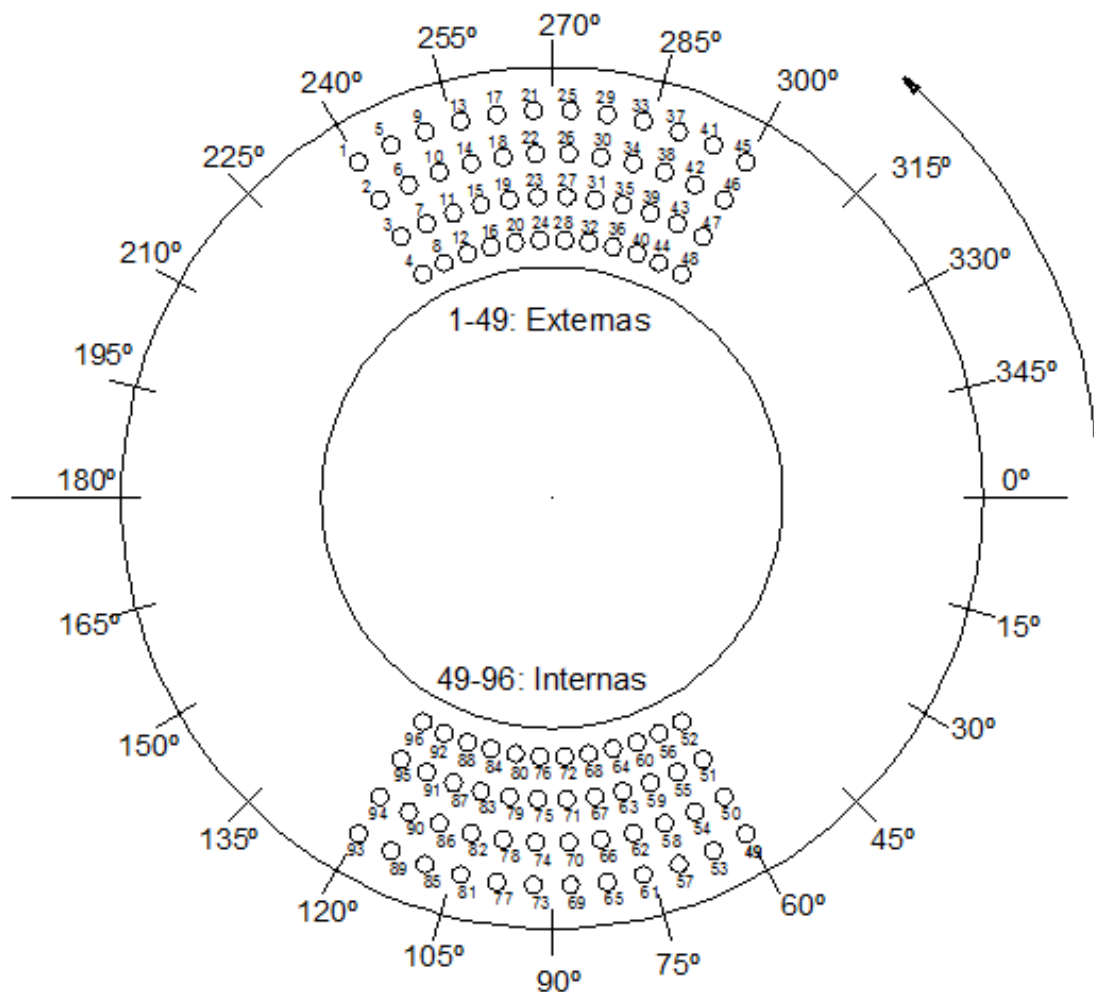


Figura 5. Posición de las tomas de presión con relación a las direcciones de viento incidente.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los valores de los coeficientes de presión y de fuerza localizada, y al final se indica cómo se obtienen los coeficientes de fuerza global a partir de los coeficientes de presión.

Coefficientes de Presión

Los coeficientes de presión local se determinaron en 102 puntos distribuidos sobre la superficie de la cubierta y la pantalla. Conceptualmente, los coeficientes son cargas adimensionalizadas mediante parámetros de referencia. Conforme se indica en la literatura especializada, se detallan a continuación las siguientes definiciones que son compatibles con las que indica el Reglamento Argentino de vientos CIRSOC 102.

El coeficiente de presión local exterior está definido por la expresión (1):

$$\bar{c}_p = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T \Delta p(t) dt}{q} \quad (1)$$



Figura 6. Detalle de la ubicación de las tomas de presión sobre la cubierta del estadio.

Donde,

Δp : es la diferencia de presión estática 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).

q : es la presión dinámica medida a la altura de referencia.

T : intervalo de tiempo de adquisición

\bar{c}_p : coeficiente de presión local media

Valores positivos de los coeficientes de presión local corresponden a acciones dirigidas hacia la superficie.

Pantalla

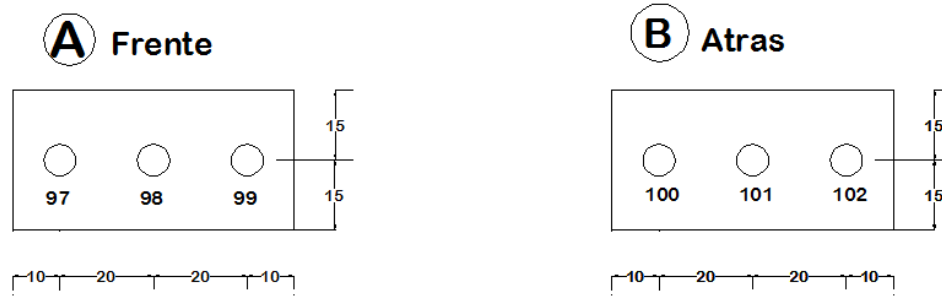


Figura 7. Ubicación de tomas de presión sobre la pantalla.



Figura 8. Detalle del montaje de tomas de presión sobre la cubierta y la pantalla.

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, rms, mínimo y máximo, respectivamente para cada ángulo de incidencia del viento.

El coeficiente de presión local rms está definido por la expresión (2):

$$\tilde{c}_p = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p(t) - \bar{p})^2 dt}}{q} \quad (2)$$

Donde \tilde{c}_p es el coeficiente local rms.

Los coeficientes de presión local máxima y mínima están definidos por:

$$\hat{c}_p = \frac{P_{max}}{q}; \quad \check{c}_p = \frac{P_{min}}{q} \quad (3)$$

Donde,

$p_{max}; p_{min}$: valor máximo y mínimo de presión correspondiente al registro medido

\hat{c}_p : coeficiente local máximo

\check{c}_p : coeficiente local mínimo

En las siguientes tablas se muestran los coeficientes de presión local medio, mínimo, máximo y rms obtenidos en cada toma para cada una de las direcciones de viento analizadas. Cada uno de los coeficientes es agrupado en una tabla resumida donde se indican los valores correspondientes a las tomas 1, 2, 3, 4, 5..., 102 solamente a modo ilustrativo. Los valores del coeficiente de presión local medio son presentados en la Tabla 1, coeficiente de presión local RMS en Tabla 2, coeficiente de presión local mínimo en Tabla 3, y coeficiente de presión local máximo en Tabla 4.

\bar{c}_p	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
1	-0,37	-0,83	-0,64	-0,18	-0,31	-0,40	-0,41	-0,46	-0,57	-0,59	-0,57	-0,46
2	-0,36	-0,59	-0,63	-0,28	-0,40	-0,48	-0,53	-0,64	-0,79	-0,82	-0,81	-0,67
3	-0,26	-0,33	-0,45	-0,11	-0,27	-0,36	-0,43	-0,54	-0,75	-0,80	-0,80	-0,60
4	-0,29	-0,29	-0,43	-0,18	-0,37	-0,46	-0,55	-0,71	-1,04	-1,09	-1,17	-0,84
5	-0,42	-1,02	-0,78	-0,29	-0,35	-0,48	-0,48	-0,51	-0,60	-0,61	-0,60	-0,49
...
102	0,12	0,18	-0,05	0,33	-0,12	-0,36	-0,42	-0,45	-0,52	-0,40	-0,40	-0,34

\bar{c}_p	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
1	-0,49	-0,50	-0,52	-0,54	-0,64	-0,84	-1,34	-1,73	-2,02	-2,33	-2,10	-1,40
2	-0,70	-0,66	-0,69	-0,67	-0,79	-0,88	-0,96	-1,22	-1,56	-1,81	-1,35	-0,53
3	-0,61	-0,55	-0,50	-0,46	-0,54	-0,65	-0,69	-0,75	-0,86	-1,07	-0,84	-0,29
4	-0,85	-0,69	-0,65	-0,58	-0,66	-0,72	-0,75	-0,80	-0,83	-0,92	-0,80	-0,25
5	-0,50	-0,52	-0,53	-0,52	-0,62	-0,77	-1,01	-1,32	-1,71	-2,24	-2,01	-1,36
...
102	-0,30	-0,29	-0,36	-0,43	-0,49	-0,57	-0,58	-0,53	-0,36	-0,23	-0,08	0,49

Tabla 1 – Coeficientes de presión media

ζ_p	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
1	0,35	0,50	0,29	0,27	0,13	0,13	0,13	0,13	0,16	0,20	0,20	0,17
2	0,18	0,30	0,21	0,22	0,12	0,13	0,14	0,14	0,18	0,24	0,25	0,20
3	0,13	0,20	0,17	0,20	0,13	0,16	0,17	0,19	0,25	0,34	0,34	0,26
4	0,11	0,16	0,16	0,24	0,21	0,24	0,27	0,39	0,53	0,58	0,67	0,44
5	0,39	0,59	0,34	0,32	0,15	0,14	0,13	0,13	0,15	0,19	0,21	0,18
...
102	0,13	0,15	0,12	0,16	0,09	0,07	0,06	0,07	0,08	0,10	0,08	0,08

ζ_p	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
1	0,15	0,13	0,13	0,14	0,15	0,28	0,42	0,46	0,49	0,59	0,66	0,60
2	0,17	0,14	0,13	0,14	0,14	0,19	0,27	0,38	0,46	0,59	0,53	0,40
3	0,22	0,18	0,16	0,16	0,14	0,17	0,21	0,23	0,25	0,37	0,28	0,18
4	0,48	0,37	0,25	0,19	0,22	0,21	0,19	0,20	0,18	0,23	0,20	0,14
5	0,16	0,14	0,13	0,15	0,15	0,21	0,29	0,40	0,51	0,68	0,78	0,77
...
102	0,08	0,10	0,11	0,09	0,08	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,14	0,16

Tabla 2 – Coeficientes de presión RMS

ζ_p	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
1	-2,86	-4,40	-2,50	-1,91	-1,25	-0,91	-1,22	-1,23	-2,02	-2,00	-2,11	-1,40
2	-1,75	-2,17	-1,84	-1,48	-1,59	-1,09	-1,56	-1,80	-2,22	-2,33	-2,30	-2,71
3	-1,18	-1,64	-1,37	-1,36	-1,00	-1,23	-1,28	-1,62	-2,18	-2,54	-3,09	-2,15
4	-0,90	-1,99	-1,57	-2,33	-1,55	-1,86	-2,22	-3,44	-4,05	-4,44	-4,70	-4,00
5	-3,10	-4,02	-3,12	-2,35	-1,58	-1,11	-1,39	-1,19	-1,53	-1,91	-1,96	-1,52
...
102	-0,37	-0,31	-0,53	-0,25	-0,47	-0,64	-0,66	-0,71	-0,78	-0,75	-0,69	-0,64

ζ_p	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
1	-1,55	-1,42	-1,18	-1,30	-1,74	-2,15	-3,44	-4,16	-4,11	-5,19	-5,72	-5,53
2	-1,74	-1,63	-1,55	-1,23	-1,65	-2,13	-2,58	-3,05	-4,22	-4,18	-4,44	-3,12
3	-2,19	-1,87	-1,29	-1,17	-1,12	-1,73	-2,86	-2,07	-2,54	-3,14	-3,04	-2,21
4	-4,33	-3,10	-2,27	-1,38	-2,02	-2,28	-2,02	-2,11	-1,91	-2,21	-2,07	-1,60
5	-1,60	-1,26	-1,26	-1,15	-1,44	-2,00	-2,76	-4,25	-4,89	-5,70	-5,82	-5,22
...
102	-0,58	-0,64	-0,75	-0,76	-0,78	-0,83	-0,89	-0,87	-0,70	-0,60	-0,59	-0,06

Tabla 3 – Coeficientes de presión mínima

\hat{e}_p	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
1	0,75	0,70	0,43	0,66	0,20	0,10	0,11	-0,03	0,11	0,20	0,13	0,17
2	0,35	0,39	0,14	0,49	0,06	-0,04	-0,03	-0,04	-0,04	0,17	0,16	0,08
3	0,28	0,48	0,25	0,67	0,23	0,31	0,15	0,13	0,27	0,46	0,50	0,40
4	0,17	0,43	0,16	0,69	0,46	0,41	0,32	0,34	0,34	0,53	0,46	0,58
5	0,80	0,68	0,35	0,89	0,27	0,09	0,01	-0,07	-0,01	0,11	0,25	0,23
...
102	0,65	0,79	0,41	0,91	0,32	-0,09	-0,15	-0,15	-0,15	-0,01	-0,10	-0,03

\hat{e}_p	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
1	0,06	0,07	0,06	0,01	-0,12	-0,03	0,08	0,02	-0,17	-0,04	0,10	0,80
2	-0,02	-0,10	-0,14	-0,10	-0,33	-0,11	-0,08	-0,20	-0,30	0,03	0,13	0,47
3	0,30	0,09	0,05	0,37	0,04	0,11	0,16	0,04	-0,03	0,23	0,19	0,43
4	0,44	0,40	0,22	0,19	0,30	0,09	0,05	-0,10	-0,11	-0,12	-0,03	0,63
5	0,14	0,03	-0,02	0,13	-0,11	-0,01	0,10	-0,02	0,15	0,09	0,47	1,36
...
102	0,04	0,11	0,07	-0,05	-0,19	-0,30	-0,28	-0,11	0,00	0,30	0,47	1,04

Tabla 4 – Coeficientes de presión máxima

Coeficientes de Fuerza Localizados (C_{FL})

Combinando los valores de presiones externas y las correspondientes presiones internas obtenidas a partir de un giro de 180° del modelo, se obtuvieron los coeficientes de presión neta ($\bar{c}_{p_e} - \bar{c}_{p_i}$) que asociados a sus correspondientes áreas tributarias permiten definir los coeficientes de fuerza localizados. Los valores correspondientes a las tomas 1 a 48, que corresponden a la distribución de cargas en la cubierta para las 24 direcciones de viento analizadas, se indican en forma resumida (tomas 1, 2, 3, 4, 5..., 48) en la Tabla 5. Para las direcciones 15, 30 y 45° , se registraron coeficientes de aproximadamente -1.5 (succión) en el borde a barlovento. Para la misma zona de la cubierta pero en el borde a sotavento, se registraron sobrepresiones con valores próximos a +0.5. Las succiones preponderantes, con relación a la superficie de la cubierta que abarcan, se producen para 165 y 225° y superan el valor -1.0. Finalmente, se registraron valores superiores a -2.0 para la dirección 315° , aunque están muy localizados en el borde a barlovento.

Es posible afirmar que los resultados medidos sobre la cubierta guardan buena correlación con los que fueran obtenidos en el trabajo realizado anteriormente en este mismo Laboratorio [9], aunque puedan percibirse diferencias puntuales producto de la simulación del entorno urbano.

Los valores de los coeficientes de fuerza localizados o de presión neta que corresponden a las tomas ubicadas sobre la pantalla (tomas 97, 98 y 99), se indican en la Tabla 6. En general, los valores son bajos. Para las direcciones de viento incidente que corresponden a 300, 315° y 330° , cuando la pantalla está en la zona a sotavento, se registraron los mayores valores (sobrepresiones próximas a +0.5).

C_{FL}	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
1	-0,31	-0,72	-0,46	0,25	0,17	0,06	-0,10	-0,28	-0,38	-0,41	-0,56	-0,96
2	0,08	-0,07	-0,07	0,25	0,14	0,02	-0,20	-0,44	-0,60	-0,64	-0,78	-1,18
3	0,27	0,28	0,22	0,47	0,32	0,19	-0,02	-0,28	-0,51	-0,57	-0,70	-1,08
4	0,21	0,28	0,16	0,35	0,16	0,07	-0,15	-0,45	-0,84	-0,87	-1,08	-1,32
5	-0,21	-0,69	-0,23	0,26	0,19	0,09	-0,03	-0,23	-0,35	-0,48	-0,39	-0,94
...
48	0,21	0,15	0,05	0,29	0,24	0,12	0,05	0,01	-0,03	-0,02	-0,26	-0,94

C_{FL}	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
1	-0,69	-0,70	-0,39	-0,61	-0,44	-0,60	-1,18	-1,66	-1,98	-2,29	-2,09	-1,39
2	-0,92	-0,86	-0,55	-0,71	-0,54	-0,47	-0,50	-0,69	-1,00	-1,35	-0,97	-0,20
3	-0,82	-0,71	-0,32	-0,45	-0,26	-0,20	-0,16	-0,13	-0,21	-0,55	-0,38	0,14
4	-1,05	-0,82	-0,44	-0,54	-0,40	-0,31	-0,28	-0,23	-0,19	-0,39	-0,33	0,17
5	-0,65	-0,72	-0,47	-0,68	-0,44	-0,38	-0,60	-0,87	-1,33	-2,13	-1,99	-1,38
...
48	-1,01	-0,99	-0,92	-1,36	-0,93	-0,58	-0,35	-0,18	-0,13	-0,27	-0,09	0,43

Tabla 5 – Coeficientes de Fuerza Localizados (Presión Neta)

C _{FL}	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
97	0,07	0,08	0,11	0,14	0,05	0,01	0,01	0,01	-0,02	-0,09	-0,14	-0,18
98	0,20	0,22	0,24	0,36	0,24	0,21	0,20	0,23	0,25	0,25	0,17	0,11
99	-0,02	-0,01	0,07	0,11	0,02	-0,02	-0,07	-0,08	-0,09	-0,21	-0,18	-0,17

C _{FL}	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345
97	-0,07	-0,04	-0,06	-0,02	0,01	0,00	0,01	0,05	0,07	0,12	0,04	0,14
98	0,16	0,24	0,33	0,33	0,36	0,35	0,37	0,39	0,43	0,51	0,47	0,28
99	-0,25	-0,33	-0,37	-0,27	-0,18	-0,08	-0,08	-0,09	-0,06	0,01	-0,07	0,05

Tabla 6 – Coeficientes de Fuerza Localizados sobre la Pantalla

Cálculo de los Coeficientes de Fuerza Global (C_{FL})

Las fuerzas normales a la superficie, provocadas por la presión estática local en relación a las áreas tributarias superficiales, se pueden proyectar en ejes ortogonales x e y. Los coeficientes de fuerza se determinan a partir de los coeficientes de presión, integrando las acciones sobre cada área tributaria que requiere ser definida. Los coeficientes de fuerza para cada eje, C_{Fx} y C_{Fy}, son definidos por las expresiones (4):

$$C_{F_x} = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{c}_{p_j} A_j \sin\beta_j}{A_R}; \quad C_{F_y} = \frac{\sum_{j=1}^n \bar{c}_{p_j} A_j \cos\beta_j}{A_R} \quad (4)$$

Donde,

n : es el número de tomas consideradas para el área tributaria A_j .

\bar{c}_{p_j} : es el coeficiente de presión media correspondiente a la toma j .

A_j : es el área tributaria de la toma j .

β_j : ángulo que forma la fuerza normal superficial respecto al eje y positivo en sentido contrario a las agujas del reloj.

A_R : área maestra de referencia.

El área maestra de referencia, A_R , es definida como $A_R = W H$, donde W es la dimensión transversal del área maestra de referencia, y H la dimensión lateral o altura total considerada. Además se puede determinar el punto de aplicación y dirección de la fuerza global sobre la estructura. El ángulo de la dirección de la fuerza global se determina por la relación entre C_{F_x} y C_{F_y} .

APLICACIÓN DE LOS COEFICIENTES ADIMENSIONALES

Para extrapolar los valores de los coeficientes adimensionales obtenidos en los ensayos del modelo y llevarlos a las condiciones de escala real para obtener los valores de cargas sobre la estructura, debe realizarse el procedimiento que se indica a continuación, primero, para cargas locales y, luego, para cargas globales.

Las cargas locales se obtienen a partir de multiplicar los coeficientes de presión local por la presión dinámica del sitio de emplazamiento y por el área de referencia del elemento estructural considerado. Así, la presión dinámica de referencia utilizada en este trabajo se corresponde con la altura máxima del modelo del estadio. El procedimiento exige el cálculo de la velocidad de referencia, usualmente obtenida a 10 m de altura, siguiendo los procedimientos estipulados en el reglamento CIRSOC 102, y posteriormente esta velocidad debe extrapolarse a la altura utilizada en el ensayo en túnel de viento, que se corresponde con la altura máxima del estadio de Racing Club.

Para determinar una carga localizada sobre un elemento estructural de interés, se debe ubicar el coeficiente de presión local que se corresponde con esa área tributaria y multiplicar el coeficiente de presión local por la presión dinámica, determinada anteriormente, y por el área real del elemento estructural en cuestión. Como las áreas tributarias correspondientes a cada toma de presión local fueron definidas por la separación media entre tomas y la distancia a los bordes, el mismo criterio debe usarse a escala real. En este caso, a partir del objetivo planteado, se deben usar directamente los coeficientes de Fuerza localizados que se indican en la Tabla 5 y en la Tabla 6 para verificar la cubierta y obtener las cargas sobre la pantalla, respectivamente.

Para incluir las fluctuaciones de las cargas, es necesario adicionar a los valores medios de los coeficientes de presión local el valor del rms respectivo, donde la presión dinámica del sitio de emplazamiento se debe corresponder con una velocidad promediada sobre un intervalo de tiempo de 10 minutos a una hora.

Las cargas globales se obtienen a partir de multiplicar los coeficientes globales por la presión dinámica del sitio de emplazamiento y por el área de referencia considerada. La presión dinámica de referencia utilizada, de igual manera que en el caso anterior, se corresponde con la altura máxima del modelo del estadio y el procedimiento de cálculo de la velocidad de referencia se realiza con las mismas condiciones. En este caso el objetivo del estudio no era una evaluación general de la estructura, como normalmente ocurre en edificios altos, por lo que no se requiere un análisis de cargas globales.

CONCLUSIONES

Con relación a las cargas de viento sobre la pantalla, se obtuvieron los valores de sobrepresiones máximas cuando la misma se encuentra a sotavento, aunque no se registraron valores elevados.

Respecto a las cargas sobre la cubierta, los valores obtenidos muestran coherencia

con los que se obtuvieron anteriormente, aunque la distribución de tomas, el equipamiento de medición de presiones y la simulación del entorno urbano actual, permiten determinar efectos localizados de carga y reproducir características aerodinámicas de forma más adecuada y de acuerdo al estado del arte en Ingeniería de Vientos.

Es importante señalar que los coeficientes de presión local deben ser analizados en función al criterio de uso por ser fundamentalmente un área de esparcimiento. En este sentido, en el área de tribuna próxima a la zona instrumentada (pantalla y cubierta) se realizó una evaluación del campo de velocidades con sondas tipo Irwin. El análisis preliminar indica que las corrientes que se generan son de baja intensidad.

Colaboradores: Sandra Udrizar Lezcano, Juan Manuel Rodríguez Aguirre, Beatriz Iturri, Julián Ortiz.

Agradecimientos: Racing Club Asociación Civil, Avellaneda, Buenos Aires.

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] M. Jensen, "The model law for phenomena in natural wind", Ingenioren (International edition), 2 (4), 1954.
- [3] A. R. Wittwer, S. V. Möller, "Characteristics of the low speed wind tunnel of the UNNE", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 84 (3), pp. 307-320, 2000.
- [4] N. J. Cook, "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.
- [5] N. J. Cook, "Simulation techniques for short test-section wind tunnels: roughness, barrier and mixing-device methods", Wind tunnel Modeling for Civil Engineering Applications, pp. 126-136.
- [6] N. J. Cook, "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.
- [7] J. Blessmann, "O vento na engenharia estrutural", Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 1995.
- [8] M. De Bortoli, B. Natalini, M. J. Paluch, M. B. Natalini, "Part-Depth Wind Tunnel Simulations of the Atmospheric Boundary Layer", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 90, pp. 281-291, 2002.
- [9] J. Marighetti, A. Wittwer, M. De Bortoli, B. Natalini, M. Paluch, M. Natalini, "Fluctuating and mean pressure measurements on a stadium covering in wind tunnel", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 84, pp. 321-328, 2000.