

**Estudio del efecto de viento sobre sobre una cubierta tensada****Study of the effect of wind on a tensioned roof**

DOI:10.34117/bjdv5n7-152

Recebimento dos originais: 14/06/2019

Aceitação para publicação: 18/07/2019

**Julio Marañón Di Leo**

Ingeniero Aeronáutico

UIDET-LaCLyFA – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Plata.

Calle 116 e/ 47 y 48, CP 1900, La Plata, Argentina

CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)

Avda. Rivadavia, 1917, C1033AAJ, Ciudad. de Buenos Aires, Argentina

jmaranon@ing.unlp.edu.ar

**Juan Sebastián Delnero**

Ingeniero Aeronáutico

UIDET-LaCLyFA – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Plata.

Calle 116 e/ 47 y 48, CP 1900, La Plata, Argentina

CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)

Avda. Rivadavia, 1917, C1033AAJ, Ciudad. de Buenos Aires, Argentina

delnero@ing.unlp.edu.ar

**Mariano Oscar García Saíenz**

Ingeniero Aeronáutico

UIDET-LaCLyFA – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Plata.

Calle 116 e/ 47 y 48, CP 1900, La Plata, Argentina

mariano.garciasainz@ing.unlp.edu.ar

**Santiago Algozino**

Ingeniero Aeronáutico

UIDET-LaCLyFA – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Plata.

Calle 116 e/ 47 y 48, CP 1900, La Plata, Argentina

CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)

Avda. Rivadavia, 1917, C1033AAJ, Ciudad. de Buenos Aires, Argentina

santiago.algozino@ing.unlp.edu.ar

**Iban Echapresto Garay**

Ingeniero Aeronáutico

UIDET-LaCLyFA – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Plata.

Calle 116 e/ 47 y 48, CP 1900, La Plata, Argentina

CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas)

Avda. Rivadavia, 1917, C1033AAJ, Ciudad. de Buenos Aires, Argentina

iban.echapresto@ing.unlp.edu.ar

**RESUMEN**

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del ensayo en túnel de viento de capa límite para la determinación de la distribución de presiones sobre un modelo a escala 1:75 de una cubierta flexible de geometría compleja para el estacionamiento de vehículos de transporte, diseñada por la Consultora WAGG SA. Debido a la complejidad de la geometría y para obtener una mejor descripción de los efectos del viento se decidió realizar un ensayo en túnel de viento con el fin de validar y verificar las condiciones de cargas sobre la propuesta de una cubierta flexible.

**Palabras claves:** Presiones, Cubiertas flexibles, Cargas de viento, Túnel de capa límite

**ABSTRACT**

This paper presents the results obtained from the boundary layer wind tunnel test for the determination of the pressure distribution on a 1:75 scale model of a flexible cover of complex geometry for the parking of transport vehicles, designed by the Consultant WAGG SA. Due to the complexity of the geometry and to obtain a better description of the effects of the wind, it was decided to perform a wind tunnel test in order to validate and verify the load conditions on the proposal of a flexible roof.

**Keywords:** Pressures, flexible covers, wind loads, boundary layer tunnel

**1. INTRODUCCION**

Se presenta el abordaje general para la implementación de un ensayo de cargas de viento sobre una cubierta flexible de grandes dimensiones y con una configuración tridimensional compleja (Figura 1), emplazada en un entorno urbano (Figura 2).

La instrumentación y las consideraciones desarrolladas en el trabajo permiten el análisis de las fluctuaciones y correlaciones espaciales de eventos sobre la cubierta, pero el presente trabajo se limita a la presentación de resultados de cargas estáticas sobre la cubierta sin deformación (Holmes, 2007).

El trabajo experimental fue desarrollado en las instalaciones de la UIDET-LaCLyFA del Departamento de Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP, solicitado por la Consultora WAGG SA.

La Figura 3 presenta el túnel de viento mayor "Dr. Jorge Colman Lerner", el cual cuenta con una sección de prueba de 1,8 x 2,4m, una longitud de desarrollo de 9m y una velocidad máxima continua de 20m/s.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 MODELOS

La dimensión del modelo se define en función de una serie de parámetros de semejanza. Uno de ellos es la similitud del número de Reynolds entre las condiciones reales y las del modelo de ensayo. Afortunadamente para números de Reynolds lo suficientemente altos (mayor a  $10^4$ ), los coeficientes de presión sobre cualquier parte del edificio serán independientes para un rango amplio de número Reynolds, definido como  $N^\circ Re: \frac{u * L}{\nu}$ .

De acuerdo a CIRSOC 102-2005, la velocidad básica de viento para la Ciudad de Buenos Aires es de 46m/s (intervalo de 3seg., a 10m sobre el terreno con recurrencia de 50 años). El edificio propuesto tiene una longitud principal de 91m y una longitud secundaria de 18m, aproximadamente. Con estas longitudes características, los números de Reynolds se encuentran entre  $5,5 \times 10^7$  y  $2,8 \times 10^8$ .

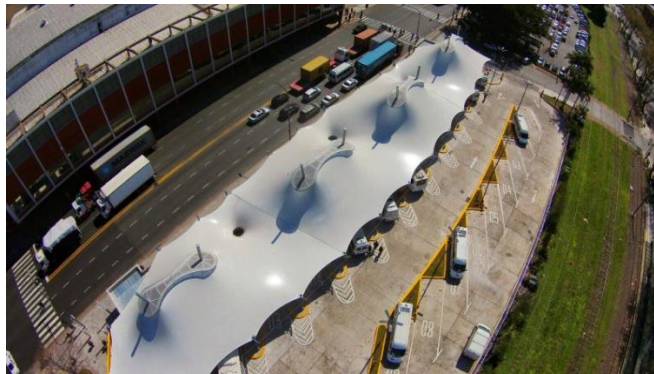


Figura 1. Foto aérea de la construcción en estudio terminada. Cortesía de Consultora WAGG (derechos reservados).



Figura 2. Detalle de la geometría de la cubierta flexible instalada. Cortesía de Consultora WAGG (derechos reservados).



Figura 3. Túnel de viento mayor de la UIDET-LaCLyFA.

Para aproximar esos valores de número de Reynolds en el túnel de viento de capa límite mayor de la UIDET-LaCLyFA, se busca una relación entre dimensiones del modelo y velocidades máximas de túnel para alcanzar un número de Reynolds lo suficientemente elevado para lograr independencia sobre los coeficientes de presiones.

Finalmente se configura un modelo cuyas dimensiones permiten desarrollar números de Reynolds que se encuentran entre  $2,7 \times 10^5$  y  $1,4 \times 10^6$ , para una velocidad de ensayos de 17m/s, ubicado bien por encima del umbral de  $10^4$ . Esta geometría del modelo de ensayo determina los siguientes parámetros de escala (Simiu&Scanlan, 1996):

$$\text{Escala geométrica: } \lambda_g = \frac{L_{maqueta}}{L_{real}} = \frac{1,21m}{91m} =$$

0,0133 (1: 75)L: *dimensión principal del edificio*

$$\text{Escala de velocidad } \lambda_v = \frac{V_{túnel\ de\ viento}}{V_{real}} = \frac{17\ m/s}{46\ m/s} = 0,37$$

Para escalar en forma adecuada, la frecuencia, el tiempo y la velocidad, el número de Strouhal del ensayo en túnel debe ser igual al del edificio real, considerando que;

$$\frac{1}{\lambda_f} = \lambda_t = \frac{1}{\lambda_v} * \lambda_g$$

Siendo  $\lambda_t$  el parámetro de escala de tiempo y  $\lambda_f$  el parámetro de escala de frecuencia. Por lo tanto, las mismas serán

$$\text{Escala de tiempo } \lambda_t = \frac{T_{maqueta}}{T_{real}} = 0,036$$

$$\text{Escala de frecuencia } \lambda_f = \frac{f_{maqueta}}{f_{real}} = \frac{1}{\lambda_t} = 27,8$$

El modelo de ensayo se construyó en fibra de carbono, MDF, madera balsa y alto impacto, como se observa en la Figura 4. El techo es completamente desmontable para facilitar la instrumentación de las tomas de presión local sobre ambas caras del mismo.

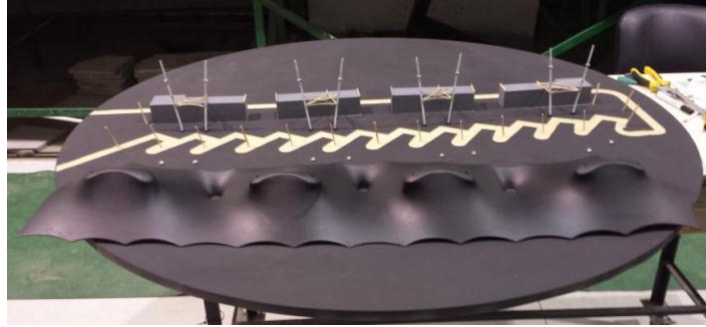


Figura 4. Modelo de ensayo en túnel de viento.

El modelo fue montado a nivel del piso del túnel de viento, sobre una plataforma circular para facilitar los cambios de orientación relativos al viento incidente, como se observa en la Figura 5.

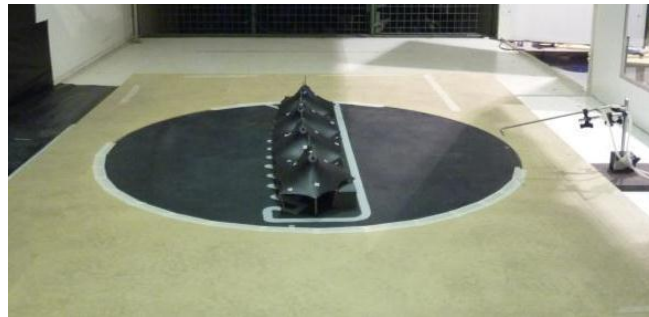


Figura 5. Implementación del modelo en el túnel de viento, sin obstáculos.

Una vez establecida la dimensión del modelo de ensayo en túnel, se verifica que la relación de bloqueo de la sección de prueba no supere el 5%, de manera de mantener despreciable los efectos de los factores de corrección por bloqueo sobre las condiciones de ensayo.

$$\frac{S_{\text{modelo\_máx}}}{S_{\text{túnel}}} = \frac{1,21m * 0,14m}{4,32m^2} = 0,039$$

Dadas las condiciones del entorno del emplazamiento (Figura 66), se incluyen en el modelo de ensayo en túnel de viento, los edificios vecinos comprendidos en un radio de 120m a la redonda y se decide configurar un perfil de capa límite incidente con una constante próxima a 0,16 (Figura 77), dejando que el flujo se desarrolle por la interacción con los obstáculos correspondientes a cada dirección de viento.

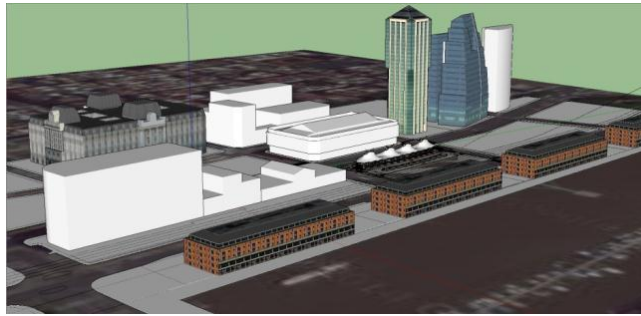


Figura 6. Detalle del entorno cercano.

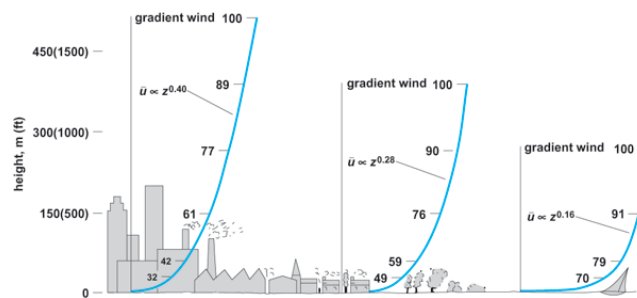


Figura 7. Ajustes característicos de los perfiles de velocidad de viento de capa límite atmosférica.

La incorporación de los edificios del entorno modifica la relación de bloqueo calculada inicialmente, en función de la orientación relativa al viento. En el caso extremo asciende a 10% (Figura 88), por lo que se aplican las correcciones correspondientes en cada caso. El efecto de la presencia de los obstáculos se evalúa mediante la comparación con los resultados correspondientes a los ensayos sin obstáculos, para la misma orientación de flujo incidente.



Figura 8. Implementación del modelo con obstáculos para vientos del sector Oeste.

La distribución final de los puntos de medición de presiones se determina a partir de los ensayos de visualización de flujo mediante técnica de humo, compatibilizando la disponibilidad de tomas de presión con una adecuada cobertura de la superficie de cada una de las caras del techo, priorizando la medición simultánea de todas los puntos para posteriores estudios de correlación de fenómenos en el modelo completo. (Figura 9 y Figura 10).



Figura 9. Visualización con humo, vista inferior.



Figura 10. Visualización con humo, vista superior y con obstáculo.

Los ensayos consistieron en la adquisición de las presiones locales sobre la cubierta, con una frecuencia de 500Hz, durante 30segundos, en un total de 32 tomas simultáneas por cada

cara de la cubierta (Figura 11), para 3 velocidades de la corriente libre, 10, 15 y 17m/s, considerando la configuración sin obstáculos y con obstáculos.

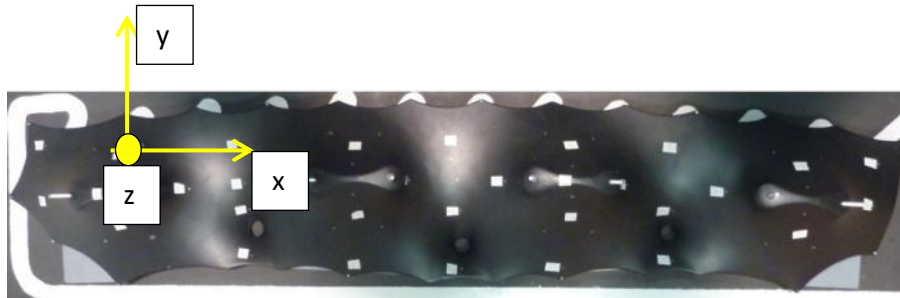


Figura 11. Tomas de presión en la cara exterior de la cubierta.

Considerando que no se disponía de un registro de datos de vientos del punto de emplazamiento, la elección de las orientaciones de vientos relativos de interés se define a partir de los registros del Aeroparque Jorge Newbery y las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional en las proximidades.

De esta manera se determinaron 8 orientaciones principales medidas respecto al Norte magnético, cubriendo las direcciones típicas de los fenómenos cotidianos y aquellas asociadas a los eventos significativos aunque de baja recurrencia anual (por ejemplo el viento conocido como Sudestada). Las direcciones a saber son:  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $270^\circ$  y  $315^\circ$ .

## 2.2 ENSAYOS Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Los ensayos de visualización se realizaron con una máquina generadora de humo diseñada para tal fin por la UIDET-LaCLyFA, mientras se graban videos con dos cámaras digitales simultáneas; una de alta definición a 30 cuadros por segundo y otra a 200 cuadros por segundo.

Para la adquisición de las presiones se utilizaron dos módulos Scanivalve DSA 3217 de 16 tomas simultáneas cada uno. Se adquieren los datos a una frecuencia real de 500Hz durante 30 segundos, para un total de 15000 valores instantáneos por cada toma de presión. Esto nos permite una adecuada resolución para el análisis de fenómenos no estacionarios y suficientes muestras para un adecuado tratamiento estadístico de la señal de presiones.

La velocidad de referencia para los ensayos se mide mediante un anemómetro Testo 512 20hPa con un tubo Pitot normalizado, convenientemente instalado, mientras que la presión



estática de referencia en la zona de ensayo se registra con un micro-manómetro digital TSI-ALNOR EBT721.

### 3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los casos que se consideran significativos. El  $\Delta C_p$  para cada instante de tiempo se define como:

$$\Delta C_p = C_{p_{exterior}} - C_{p_{interior}}$$

Cuando el  $\Delta C_p$  es negativo, implica que existe succión y la carga sobre el techo tiende a elevarlo, mientras que  $\Delta C_p$  positivos indican cargas de compresión sobre el techo.

También se incluyen los resultados para los  $\Delta C_{p_{medio}}$ . Como las presiones medidas evidencian en su mayoría una distribución de densidad de probabilidad normal, los resultados asociados a  $\Delta C_{p_{medio}}$  representan aquellos casos con 95% de probabilidad de ocurrencia, por lo que representan un buen estimador de los valores medios esperables.

La dirección del viento está indicada en rumbo magnético desde el Norte y el origen de coordenadas se ubica en la cabecera norte, al nivel inferior del techo (coordenada z de elevación), tal cual se observa en la Figura 12.

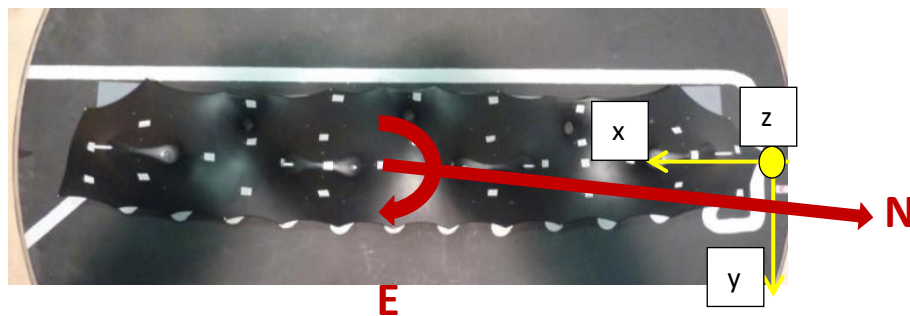


Figura 12. Orientación respecto al Norte y origen de coordenadas.

Dado que los mapas de  $\Delta C_p$ , tanto en magnitud como en distribución, resultaron similares para las tres velocidades de viento consideradas (10, 15 y 17 m/s), se presentan las distribuciones de presiones obtenidas más significativas para el análisis de cargas. Los resultados se presentan como un mapa de distribución de  $\Delta C_p$  sobre la geometría del modelo de ensayo en túnel (Figura 13 y Figura 14).

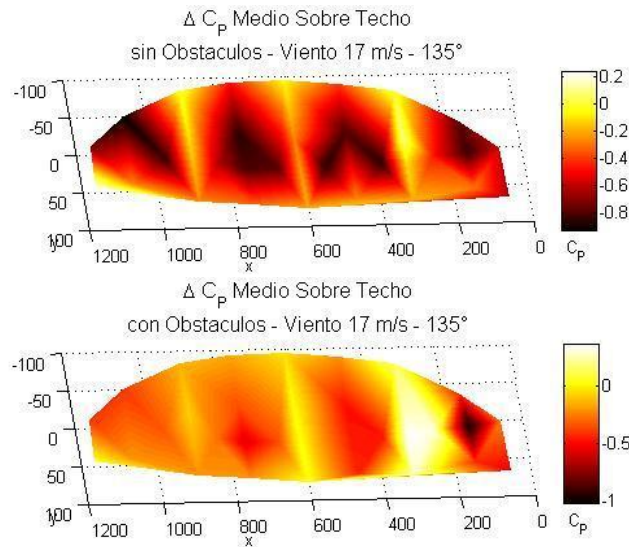


Figura 13. Delta CP medio, viento 135°.

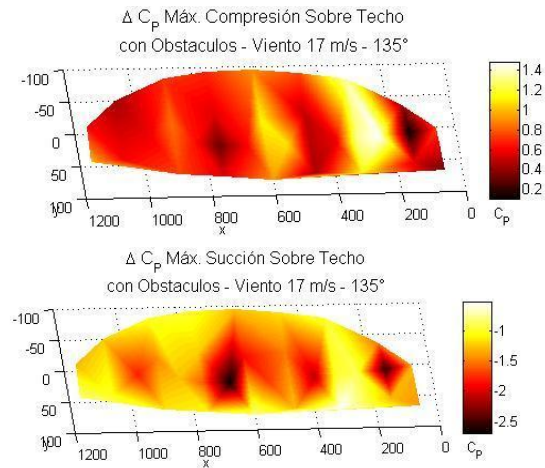


Figura 14.  $\Delta C_p$  de máxima compresión y máxima succión, dirección del viento 135°.

#### 4 CONCLUSIONES

Se realizaron ensayos en túnel de viento para la determinación de las cargas estáticas sobre una cubierta flexible sin deformación. Se verificó la independencia de las distribuciones de presiones respecto al número de Reynolds mediante la comparación de resultados a tres velocidades de corriente incidente, manteniendo el perfil de capa límite característico. También se evaluó el efecto del entorno sobre la distribución de presiones, comparando los resultados del modelo aislado respecto al modelo con interferencia.

Dadas la geometría de la edificación y las características del emplazamiento, los resultados son absolutamente dependientes de la orientación del viento incidente, aunque la construcción presente un plano de simetría; algunas orientaciones presentan los valores más

críticos en términos de coeficientes de presiones medias (definidas con el 95% de posibilidad de ocurrencia) pero no constituyen los escenarios críticos en términos de combinación de valores máximos ( $\Delta C_p$  máxima compresión o máxima succión, 5% probabilidad de ocurrencia), dominados por los efectos de los valores medios cuadráticos de las fluctuaciones locales (Peterka, 1983).

#### REFERENCIAS

CIRSOC 102-2005, 2005. *Reglamento Argentino de la acción del viento sobre las construcciones*. INTI Argentina.

Holmes J. D., 2007. *Wind loading of structures*. Taylor & Francis, London, 2nd. Edition.

Simiu E., Scanlan H., 1996. *Wind effects on structures*, John Wiley & Sons, New York. 3rd edition.

Peterka J. A., 1983. "Selection of local peak pressure coefficients for wind tunnel studies of buildings", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 13, no. 1-3, pp. 447-188.