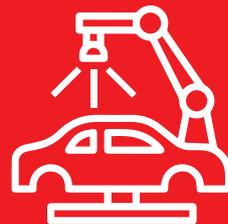


# Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería

- | Enseñanza de la Ingeniería-CAEDI
- | Gestión de la Educación en Ingeniería
- | Agrimensura, Geodesia y Ciencias de la tierra y el mar
- | Biotecnología y Bioingeniería
- | Materiales y Nanotecnología aplicada a los materiales
- | Desarrollo Tecnológico Social, Vinculación Universidad, Empresa y Estado
- | Ejercicio Profesional de la Ingeniería, Empresas y Servicios
- | Ferroviaria, Automotriz, Naval y Transporte
- | Alimentos y Agroindustria
- | Agronomía y Forestal
- | Energía, Energías Limpias, Energías Renovables y Eficiencia Energética
- | Ingeniería Sostenible, Gestión Ambiental y Cambio Climático
- | Innovación y Emprendedorismo en Ingeniería
- | Mujeres en Ingeniería y Cambio Social
- | Obras y Proyectos de Ingeniería, Infraestructura y Conservación del Patrimonio
- | Tecnología de la Información y Comunicación



**Memorias del Encuentro Argentino de Ingeniería : edición 2022 / José Basterra...**

[et al.] ; contribuciones de Carolina Orcola ; compilación de Martina Perduca ; prólogo de Nestor Braidot ; Jose Basterra. - 1a ed compendiada. - Corrientes : Universidad de la Cuenca del Plata. Secretaría de Políticas del Conocimiento, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4050-08-3

1. Ingeniería. 2. Educación. I. Basterra, José, prolog. II. Orcola, Carolina, colab. III. Perduca, Martina, comp. IV. Braidot, Nestor, prolog.

CDD 620.007

ISBN 978-987-4050-08-3



9 789874 050083



## Análisis teórico-experimental del comportamiento aerodinámico en torno a una cubierta cónica

Simon, Luciana <sup>a</sup>; Hurtado, Francisco A. <sup>a</sup>, Alvarez y Alvarez, Gisela M. <sup>a</sup>, Wittwer, Adrián R. <sup>a</sup>, Adotti, Marcelo I <sup>b</sup>, Iturri, Beatriz A. <sup>b</sup>, Marighetti, Jorge O. <sup>a</sup>, De Bortoli, Mario E. <sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Laboratorio de Aerodinámica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste

<sup>b</sup> Instituto de Modelado e Innovación Tecnológica IMIT (CONICET - Universidad Nacional del Nordeste)

giselaalvarez@alvarez@yahoo.com.ar

### Resumen

El presente trabajo se basa en la importancia de incorporar los nuevos desarrollos en aerodinámica experimental al cálculo de cubiertas de estructuras, abiertas o cerradas, sensibles a la acción del viento, como es el caso de un techo cónico o una cubierta de material liviano de un estadio.

Existen fenómenos aerodinámicos producidos en cubiertas troncocónicas que pueden afectar sus elementos constitutivos y por ello deben considerarse durante el diseño y en la verificación estructural. Estos problemas están ligados a la localización de los puntos de desprendimiento y de reinsertión del flujo sobre las superficies sometidas a la acción del viento. Por otro lado, pueden generar problemas asociados la variación de los coeficientes de arrastre con el número de Reynolds y vibraciones excesivas en el caso de materiales flexibles.

Se realizaron ensayos para establecer los coeficientes locales de carga aerodinámica sobre una cubierta troncocónica en el Túnel de Viento "Jacek Gorecki" del Laboratorio de Aerodinámica de la Universidad Nacional del Nordeste, considerando las condiciones establecidas por el Reglamento argentino CIRSOC 102 para estructuras civiles. La escala del modelo empleado es de aproximadamente 1:50 y se dispusieron 22 tomas de presión que se distribuyeron en tres capas. El modelo fue instrumentado para realizar las mediciones de las presiones medias y fluctuantes originadas por un viento atmosférico simulado correspondiente a una categoría de terreno entre rural y suburbano. Se presentan los resultados de los ensayos realizados en el túnel de viento expresados en coeficientes aerodinámicos globales para distintos números de Reynolds.

### Palabras clave:

Cubierta troncocónica, coeficientes aerodinámicos, túnel de viento.

### Abstract

This paper presents its based on the need of incorporating new developments in experimental aerodynamics to the covers structural calculations, open or closed, sensitive to wind action, as is the case of a conical roof or a light material cover of a stadium.

Aerodynamic phenomena produced in frustoconical covers can affect its components and should be considered during design and structural verification. These problems are related to the location of detachment and reattachment points of the flow on the surfaces exposed to the wind action. On the other hand, the variation of the drag coefficients with the Reynolds number and excessive vibrations in the case of flexible materials can generate associated problems.

Tests were made to establish the aerodynamic local load coefficients on a conical cover in the "Jacek Gorecki" Wind Tunnel of the Laboratory of Aerodynamics of the Universidad Nacional del Nordeste, considering the conditions established by the Argentinian Wind Code for civil structure models. A 1:50 scale model with 22 pressure taps arranged and distributed in three layers was used. The model was instrumented to measure the average and fluctuating pressures caused by a simulated atmospheric wind corresponding to a rural – suburban category. The results of the wind tunnel tests expressed in global aerodynamic coefficients for different Reynolds numbers are presented.

### Key Words

Frustoconical cover, aerodynamic coefficient, wind tunnel.

## INTRODUCCIÓN

Las estructuras y cubiertas con forma cónica pueden ser sensibles a la acción del viento y, dada su configuración geométrica, pueden presentar fenómenos aerodinámicos particulares que no están completamente definidos, ni específicamente tratados en los reglamentos de vientos. Además del análisis estático, en caso de cubiertas flexibles, debería preverse el análisis de vibraciones y oscilaciones excesivas por cargas fluctuantes o fenómenos asociados al desprendimiento de vórtices [1]-[2] -[3].

Se busca en el presente trabajo la obtención de coeficientes aerodinámicos distribuidos alrededor de una cubierta troncocónica. De esta manera será posible observar y analizar los efectos que el viento ejerce sobre las mismas y generalizar el cálculo a cubiertas troncocónicas con distintas dimensiones.

## DESARROLLO

### Características generales del modelo empleado

El modelo de cubierta fue construido sin definir una escala geométrica específica debido a que no se partió de un prototipo existente, pero se reprodujeron los detalles de relevancia aerodinámica con una misma escala.

Se empleó para el ensayo un modelo de cubierta troncocónica con una escala aproximada de 1:50. Las tomas de presión se dispusieron en tres niveles sobre la cubierta separadas uniformemente según la Figura 1.

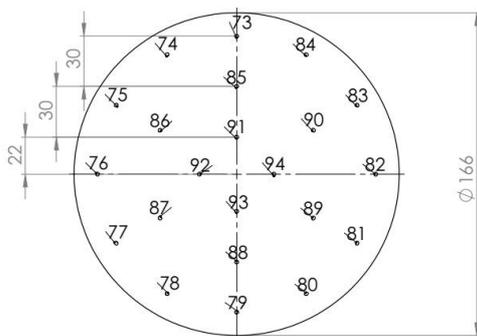


Figura 1: Disposición de las tomas en planta.

El modelo fue instrumentado para realizar las mediciones de las presiones medias y fluctuantes originadas por el viento. Se distribuyeron en total 22 tomas de presión, 12 en el nivel inferior, 6 en el nivel medio y 4 en el nivel superior. En la Figura 2 se observa el detalle del modelo ensayado.

### Ensayos del modelo en el Túnel de Viento

El ensayo fue realizado en túnel de viento de capa límite de circuito abierto "Jacek P. Gorecki" de la

UNNE (Figura 3). La cámara de ensayos tiene 2,4 m de ancho  $\times$  1,8 m de alto  $\times$  22,8 m de largo, posee un ventilador axial de 2,25 m de diámetro accionado por un motor trifásico inductivo de 92 kW que produce una velocidad máxima en vacío de 25 m/s en la mesa de ensayo II donde se ensayan estos modelos. La regulación de la velocidad se hace a través de un regulador de caudal mecánico [4].



Figura 2: modelo ensayado de la cubierta

Para la simulación de la capa límite atmosférica se empleó una técnica que combina elemento de rugosidad superficial dispuestos sobre el piso del túnel y dispositivos de mezcla ubicados a barlovento [5], que permiten obtener escalas de simulación adecuadas para su utilización en el área estructural. Conforme la clasificación que aparece en los reglamentos de viento CIRSOC 102 [6], el flujo atmosférico simulado corresponde a la categoría de terreno entre rural y suburbano.

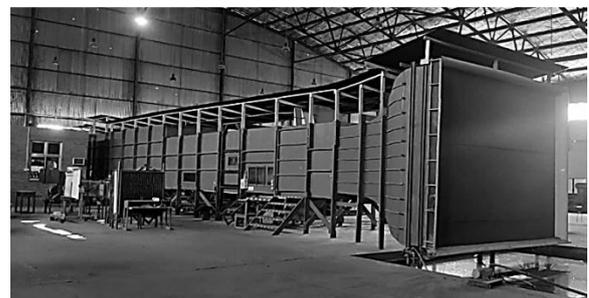


Figura 3: Túnel de Viento "Jacek Gorecki" de la UNNE

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 un máximo de 25 m/s.

Las presiones medias y fluctuantes se obtuvieron utilizando un sistema de medición Scanivalve de 96

canales y transductores electrónicos Honeywell PC 163. Simultáneamente, se midieron los valores de la velocidad media, a barlovento del modelo en la posición correspondiente a la altura máxima del modelo, utilizando un tubo de Pitot-Prandtl. esto permite obtener la presión dinámica de referencia,  $q$ , en forma simultánea a las mediciones de las presiones fluctuantes sobre la cubierta. La presión estática de referencia se obtuvo del mismo tubo de Pitot-Prandtl.

**Procedimiento de Cálculo y Análisis de Estructura**

En primer lugar, se determina la superficie total de la cubierta cónica para lo cual fue necesario establecer previamente la directriz de la misma y de esta forma calcular de la siguiente manera:  $S = \pi r L$  donde  $S$  es el área de la cubierta cónica,  $r$  es el radio de la cubierta y  $L$  es la directriz de la misma.

En base a la distribución de las tomas de presiones, se obtuvo el área de influencia de cada una, para lo cual se dividió la superficie total en tres niveles (inferior, medio y superior), al valor obtenido de los mismos, se los volvió a dividir por el número de tomas respectivo.

Con la superficie de influencia de cada toma y los valores de presiones actuantes sobre cada una obtenidos del ensayo en el túnel de vientos, se procede al cálculo de las fuerzas que inciden sobre las mismas:  $F_i = P_i A_i$  donde  $F_i$  es la fuerza incidente perpendicular a la toma,  $P_i$  es la presión por toma y  $S_i$  es el área tributaria.

Dicha fuerza se la debe proyectar sobre los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$  para luego llevar a cabo el cálculo de los coeficientes de presiones actuantes en cada dirección, de la siguiente manera:  $F_{zi} = F_i \sin \alpha$ ,  $F_{xyi} = F_i \cos \alpha$ ,  $F_{xi} = F_{xyi} \cos \beta_i$  y finalmente  $F_{yi} = F_{xyi} \sin \beta_i$ .

Como el viento incide sobre la cara frontal de la cubierta analizada, es necesario obtener la superficie de la misma para el cálculo de los coeficientes aerodinámicos globales medios de arrastre ( $C_d$ ), lateral ( $C_s$ ) y de sustentación ( $C_l$ ):

$$A = r H \tag{1}$$

$$C_d = C_x = \frac{\sum_{73}^{94} F_{xi}}{\bar{q} A} \tag{2}$$

$$C_s = C_y = \frac{\sum_{73}^{94} F_{yi}}{\bar{q} A} \tag{3}$$

$$C_l = C_z = \frac{\sum_{73}^{94} F_{zi}}{\bar{q} A} \tag{4}$$

Donde  $A$  es el área de referencia total frontal,  $r$  es el radio de la cubierta,  $H$  es la altura de la cubierta,  $\bar{q}$  es la presión dinámica media de referencia obtenida con el tubo de Pitot. El área de referencia total frontal y el

sistema de ejes adoptado puede observarse en la Figura 4.

**RESULTADOS**

Se presentan los resultados de los ensayos realizados en el túnel de viento, expresados en coeficientes aerodinámicos globales para distintos números de Reynolds.

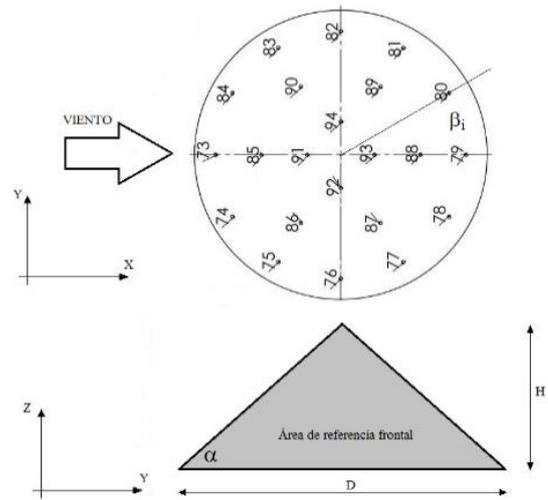


Figura 4: Sistema de ejes adoptado y área de referencia frontal para el cálculo de coeficientes aerodinámicos

En primera instancia se realiza un estudio de simetría de flujo evaluando el coeficiente de carga global lateral en las condiciones de ensayo citadas. Luego se presentan los coeficientes de arrastre.

**Determinación de los coeficientes globales aerodinámicos**

En la Figura 5 se presentan los coeficientes aerodinámicos laterales del modelo ensayado.

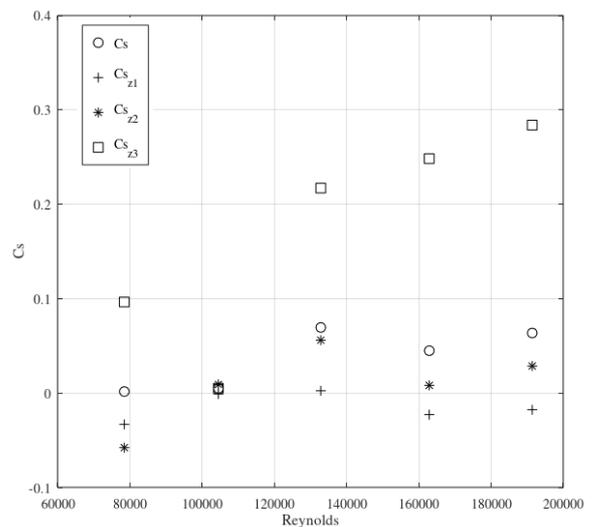


Figura 5: Coeficiente Aerodinámico Lateral

A valores menores del coeficiente de Reynolds es posible apreciar que el coeficiente se mantiene cercano a valores nulos y a medida que  $Re$  aumenta este también lo hace, se presenta un descenso y luego vuelve a aumentar.

Esto podría verse como que hasta cierto valor de  $Re$  se mantiene la simetría de flujo y luego se puede percibir una mínima inclinación lateral de las fuerzas sobre la cubierta. Esto sería posible de observar si se hiciera un análisis a ambos lados, analizando la simetría de flujo. Se realizaron los cálculos también para los tres niveles de tomas, observando que la zona inferior, al ser la que mayores dimensiones tiene, su coeficiente lateral es mayor.

En la Figura 6 es posible apreciar los valores de Coeficientes Aerodinámicos de Arrastre Globales totales.

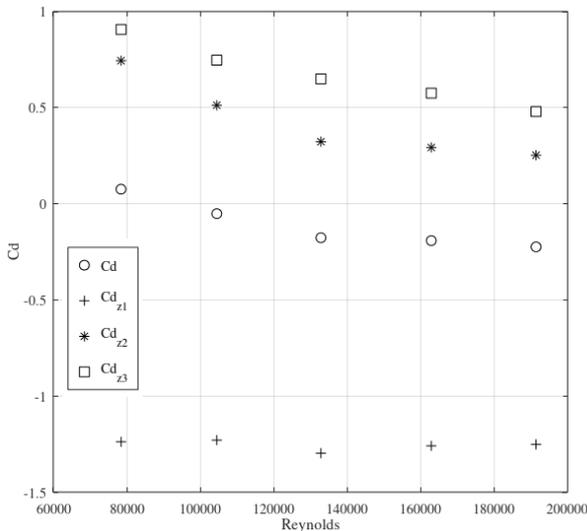


Figura 6: Coeficiente Aerodinámico Global

Es posible apreciar la dependencia del Coeficiente Aerodinámico Global con respecto al aumento del número de Reynolds. El mismo descende con elevada pendiente hasta llegar a valores del orden del  $1,3 \times 10^5$ , donde la pendiente disminuye y alcanza valores constantes.

También se observan valores positivos del Coeficiente Aerodinámico en coincidencia con el menor valor del número de Reynolds analizado. Esto puede verse como valores de presión positiva en la cubierta en flujo laminar, sin embargo, al aumentar  $Re$  y el flujo volverse más turbulento se puede ver que el  $C_d$  es negativo. Es posible interpretar esto como que a raíz de un cambio en el perfil estudiado se generan torbellinos y estos a su vez logran un desprendimiento de la capa límite de la cubierta que generarán esfuerzos de succión en la misma ( $C_d < 0$ ).

En la Figura 7 se grafican los coeficientes de sustentación  $C_s$ .

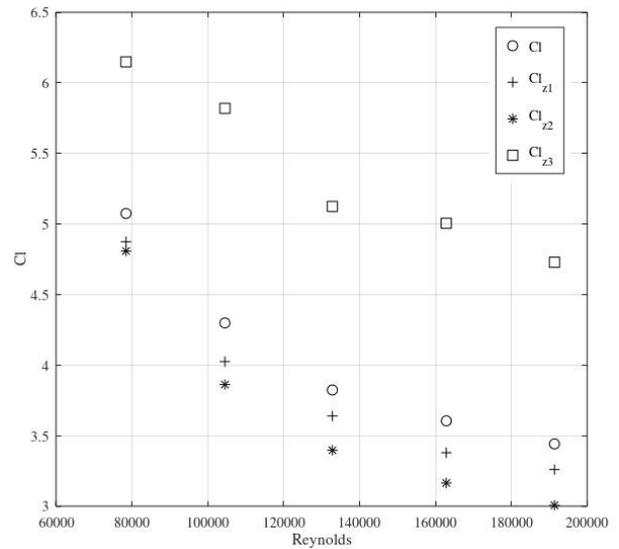


Figura 7: Coeficiente de Sustentación Global

En este caso se aprecia como el coeficiente de sustentación es mayor a menor  $Re$  y va disminuyendo a medida que el mismo aumenta.

Se presentan a continuación gráficas adicionales en vista en planta de la cubierta para el coeficiente de arrastre global (Figura 8), el coeficiente de arrastre lateral (Figura 9) y el coeficiente de sustentación (Figura 10).

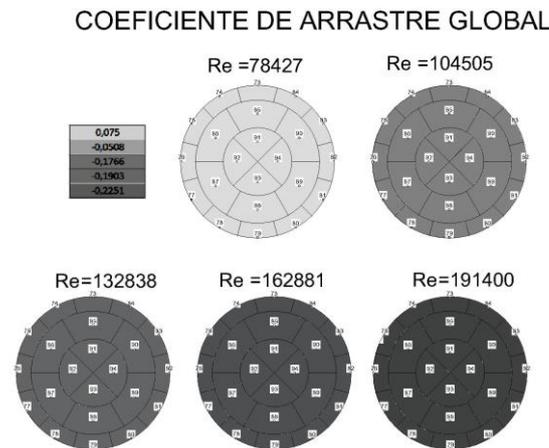


Figura 8: Coeficiente de Arrastre Global

CONCLUSIONES

Tras los ensayos en el túnel de viento fue posible obtener los coeficientes de carga experimentales sobre una cubierta troncocónica. El Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Estructuras destina el

Anexo I al análisis de cubiertas aisladas de vertiente única y a dos aguas, no considerando el caso de estudio.

COEFICIENTE DE ARRASTRE LATERAL

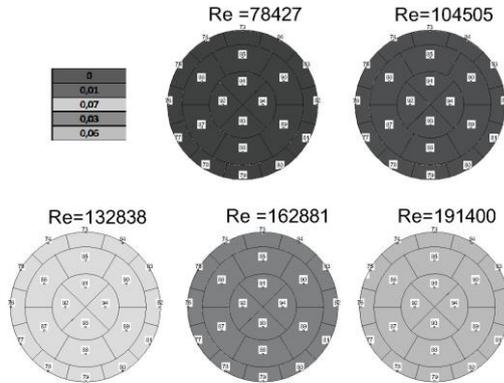


Figura 9: Coeficiente de Arrastre Lateral

COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN

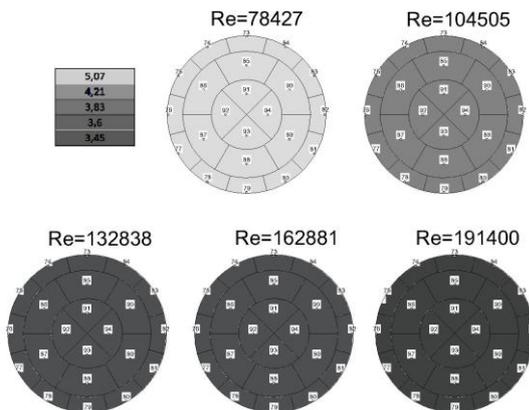


Figura 10: Coeficiente de Sustentación

Se obtuvieron coeficientes experimentales que mostraron simetría en las fuerzas laterales, y una dependencia de los coeficientes globales con respecto a la variación del número de Reynolds a medida que el flujo pasa de laminar a turbulento.

Estos aspectos deben ser considerados a la hora de diseñar y emplear cubiertas de este tipo. Se recomienda realizar ensayos con la cubierta apoyada en el piso, para analizar cómo se comportan los coeficientes de carga sobre esta cubierta sin el efecto de obstrucción que genera la estructura cilíndrica inferior.

REFERENCIAS

[1] J. Blessmann. “Aerodinâmica das Construções”. Editora da UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, 2011.

[2] Acir M. Loredou-Souza, Adrián Roberto Wittwer, “Avaliação em túnel de vento das ações e efeitos do vento sobre edificações, pessoas e o meio ambiente” en “Turbulência”, Volume 9, Coleção Cadernos de Turbulência, Editores: Maria Luiza Sperb Indrusiak et al., ISBN 978-85-85769-51-2, Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas, ABCM, UNISINOS, Escola Politécnica, RS, Brasil, 2014.

[3] J. Blessmann. “Introdução ao estudo das ações dinâmicas do vento”. Editora da UFRGS, 2ª ed, Porto Alegre, RS, Brasil, 2005.

[4] 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.

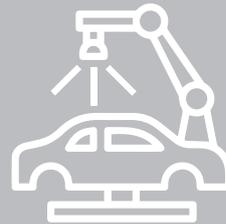
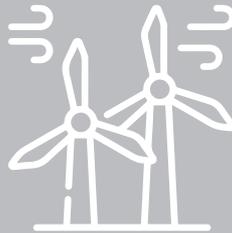
[5] N. J. Cook, “Wind-Tunnel Simulation of the Adiabatic Atmospheric Boundary Layer by Roughness, Barrier and Mixing-Device Methods”, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 3, 157-176, 1978.

[6] 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, Buenos Aires, 2001.



6° CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA

12° CONGRESO ARGENTINO DE ENSEÑANZA DE INGENIERÍA



ISBN 978-987-4050-08-3



9 789874 050083