

## **RESISTENCIA AERODINÁMICA DE TELAS Y MALLAS DE DISTINTA POROSIDAD**

**A. Scarabino\*, J. S. Delnero, M. Camocardi, M. Giannecchini**

Laboratorio de Capa Límite y Fluidodinámica Ambiental (LACLyFA)  
Departamento Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata  
Calle 116 entre 47 y 48 – La Plata (1900) – Argentina  
Tel/fax: 0054-221-4236679 - www.laclyfa.ing.unlp.edu.ar  
\* scarabino@ing.unlp.edu.ar

### **RESUMEN**

En este trabajo se reportan coeficientes de resistencia aerodinámica de telas y mallas de uso común en la construcción y el agro para protección de fachadas, protección antigranizo, etc. Se miden y analizan las cargas de viento en un marco cuadrado y uno rectangular de relación de aspecto 4:1, cubierto con telas de porosidades ópticas entre 12 % y 75 % para distintos ángulos de incidencia del viento. En un caso se compara la resistencia de una tela seca con la misma tela empapada en agua. Los resultados se comparan con las cargas sobre una lona impermeable para obtener factores de reducción de carga en función de la geometría y la porosidad, y con distintos modelos semiempíricos.

**Palabras clave:** mallas, telas, resistencia aerodinámica, cargas eólicas

### **INTRODUCCIÓN**

Telas y mallas expuestas al viento son utilizadas como barreras eólicas y protección antigranizo, media sombra, protección de cultivos contra aves, protección de fachadas en remodelación, carteles de publicidad, tiendas y carpas, y una gran variedad de aplicaciones en arquitectura, ingeniería, agronomía y otras áreas. También se utilizan en conductos de aire y túneles de viento como elemento de protección para la hélice o sección de prueba, para uniformizar la corriente de aire, reducir la turbulencia o introducir una caída de presión controlada en el flujo. Cuando se utilizan telas en estructuras sometidas a la acción del viento, el flujo que las atraviesa modifica la distribución de presiones que aparece en geometrías similares pero de superficies sólidas, y esta diferencia modifica a su vez las cargas eólicas.

En general, las cargas aerodinámicas sobre superficies porosas dependen de su permeabilidad, geometría del tejido y geometría de la estructura global: tamaño, forma y ángulo de incidencia del viento.

El reglamento CIRSOC 102 define cargas eólicas sobre estructuras reticuladas en función, entre otros parámetros de la relación de solidez  $\phi$ , definida como área cubierta sobre total. Pero la definición de cargas sobre estructuras reticuladas, dadas las dimensiones de los elementos que las componen, no es aplicable a mallas o telas, en las que el número de Reynolds basado en el diámetro de hilos es considerablemente menor. La resistencia aerodinámica de las telas tampoco es extrapolable a partir de la resistencia de hilos aislados, ya que la interferencia en un tejido es considerable.

La caída de presión y los cambios que introducen rejillas cuando se fuerza al flujo a atravesarlas han sido estudiados desde los años 50 (Annand 1953, Morgan 1962). Más recientemente se han estudiado los cambios en el flujo y la turbulencia incidente introducidos por barreras eólicas y paredes porosas (Perera 1981, Wilson 1987, Boldes et al 2002).

Algunos trabajos (Richards y Robinson 1999) han medido y presentan el coeficiente de resistencia aerodinámica de telas como función del coeficiente de pérdida de carga al forzar al aire a atravesarlas. Sin embargo, la resistencia de cualquier cuerpo depende fuertemente de su forma y del número de Reynolds, parámetros que determinan la configuración del flujo a su alrededor, por lo que en cada caso la geometría del cuerpo en cuestión debe ser considerada.

El objetivo de este trabajo es obtener valores de reducción de carga aerodinámica sobre marcos rectangulares de telas porosas o mallas abiertas, de distinta relación de aspecto pero con la misma superficie, y con distintos ángulos de incidencia, comparadas con una tela impermeable al viento, cuyo coeficiente de pérdida sería teóricamente infinito y en la práctica demasiado grande para ser medido con técnicas estándar. Los materiales analizados son telas y mallas de uso común en ingeniería y arquitectura, y se espera que los coeficientes de reducción de carga obtenidos puedan aplicarse cuando se calculan cargas de viento sobre estas telas como superficies sólidas siguiendo las recomendaciones vigentes.

## METODOLOGÍA

Se ensayaron en el túnel de viento del Departamento Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la UNLP muestras de distintos tipos de telas y mallas. Con cada tipo de tela se cubrieron dos marcos: uno aproximadamente cuadrado, de dimensiones internas 49.6 cm por 50.3 cm, área 0.2495 m<sup>2</sup> y otro rectangular, de 100.5 cm por 24.8 cm., área 0.2492 m<sup>2</sup>. La sección de prueba del túnel es rectangular de 1.4 m x 1 m., por lo que el mayor factor de bloqueo de la sección del túnel fue del 15 %, considerado aceptable para no incluir correcciones por este efecto. La figura 1 muestra la disposición del marco en el túnel de viento.

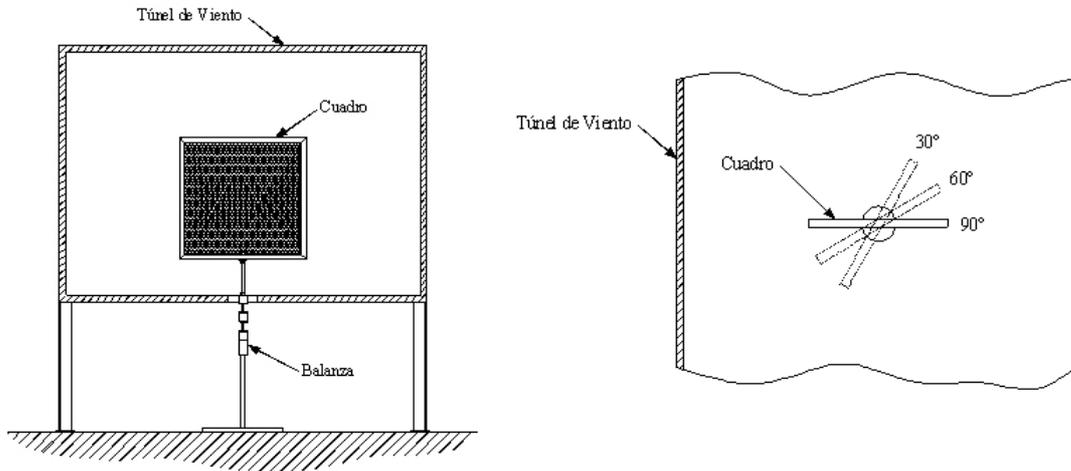


Figura 1: Disposición de los marcos de tela en el túnel de vientos.

Para cada tela se midió la porosidad óptica  $\beta$ , definida como la relación de área abierta sobre área total, por medio de conteo de píxeles en fotografías de alto contraste, como se muestra en la figura:

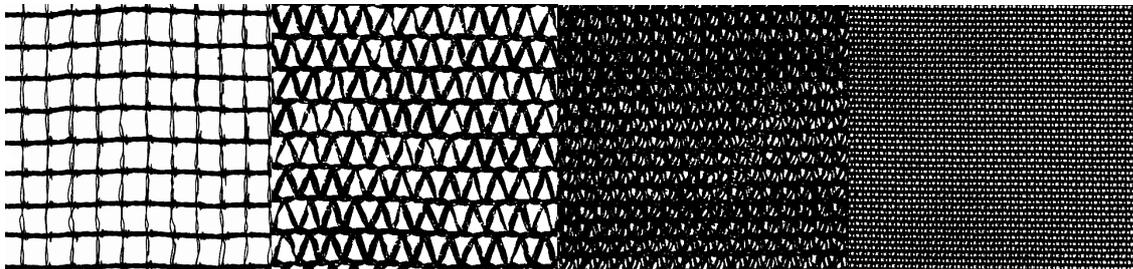


Figura 2: fotografías de alto contraste de las telas estudiadas (no a escala real). De izquierda a derecha, la porosidad óptica y tamaño medio de aberturas son respectivamente: 75% - 10 mm, 44% - 6 mm, 12% - 3 mm y 34% - 1mm

Primero, cada marco sin tela fue montado sobre la balanza aerodinámica y se determinó su resistencia al viento para tres velocidades distintas, 5, 10 y 15 m/s, medidas con el anemómetro Dantec Flowmaster, y para tres ángulos de incidencia del viento: 90, 60 y 30 grados respectivamente, determinados por medio de un sistema óptico ad-hoc. Después se ensayaron en las mismas condiciones los marcos cubiertos con los distintos tipos de tela y, en cada caso, a la carga obtenida se le restó la del marco solo, para obtener la fuerza aerodinámica ejercida sobre la tela solamente.

El coeficiente de resistencia en cada caso se calculó a partir de la fuerza de arrastre medida y corregida,  $D$ , la densidad del aire,  $\rho$ , corregida por temperatura, y la velocidad de viento  $V$ , como

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_{ref}} \quad (1)$$

donde el área de referencia  $A_{ref}$  es el área total del marco cuadrado o el rectangular según corresponda. Los valores obtenidos de coeficiente de resistencia se comparan con los de la tela impermeable provista, para obtener el factor de reducción de resistencia aerodinámica en cada caso. La tela impermeable de referencia es una lona plástica que no permite el pasaje de aire ni de agua, por lo que representa la peor condición de carga aerodinámica.

En el caso de la malla de aberturas de 1 mm (identificada como malla blanca), solamente se midió la resistencia de un marco cuadrado a 90° con la malla seca y con la malla empapada, para cuantificar la influencia que podía tener esta última condición.

## RESULTADOS

La tabla I muestra los coeficientes de resistencia obtenidos para los distintos tipos de tela, con marco cuadrado y marco rectangular, a distintos ángulos de incidencia del viento; la dispersión porcentual de los resultados medidos a distintas velocidades, y la relación con la resistencia de una tela impermeable al viento en las mismas condiciones de ensayo. En cada caso se caracteriza la tela con su porosidad óptica y la forma y tamaño medio de aberturas. En todos los casos, en el rango de velocidades medidas la variación de  $C_D$  con la velocidad no superó el 13 %.

Malla	Marco	Angulo de incidencia (°)	$C_D$	% dispersión de $C_D$ en ensayos	$C_D / C_D(imp)$
<b>Abierta 75%, cuadrados 10 mm</b>	<b>Cuadrado</b>	90	<b>0.294</b>	11.13	<b>0.139</b>
		60	<b>0.204</b>	6.94	<b>0.129</b>
		30	<b>0.113</b>	7.65	<b>0.166</b>
	<b>Rectangular</b>	90	<b>0.256</b>	11.15	<b>0.107</b>
		60	<b>0.190</b>	10.16	<b>0.106</b>
		30	<b>0.112</b>	10.11	<b>0.203</b>
<b>Media 44%, triángulos 6 mm.</b>	<b>Cuadrado</b>	90	<b>1.469</b>	7.56	<b>0.695</b>
		60	<b>1.010</b>	4.19	<b>0.637</b>
		30	<b>0.365</b>	2.71	<b>0.533</b>
	<b>Rectangular</b>	90	<b>1.671</b>	8.02	<b>0.696</b>
		60	<b>1.256</b>	6.24	<b>0.703</b>
		30	<b>0.458</b>	3.55	<b>0.830</b>
<b>Cerrada 12%, triángulos 3 mm.</b>	<b>Cuadrado</b>	90	<b>1.677</b>	7.61	<b>0.794</b>
		60	<b>1.154</b>	2.98	<b>0.727</b>
		30	<b>0.469</b>	5.41	<b>0.684</b>
	<b>Rectangular</b>	90	<b>1.813</b>	7.67	<b>0.755</b>
		60	<b>1.297</b>	6.16	<b>0.726</b>
		30	<b>0.446</b>	7.67	<b>0.809</b>
<b>Blanca Seca 34%, cuadrados 1 mm</b>	<b>Cuadrado</b>	90	<b>1.745</b>	2.32	<b>0.826</b>
	<b>Rectangular</b>	90	<b>1.908</b>	8.21	<b>0.795</b>
<b>Blanca Mojada</b>	<b>Cuadrado</b>	90	<b>1.984</b>	10.71	<b>0.939</b>
	<b>Rectangular</b>	90	<b>1.924</b>	12.88	<b>0.802</b>
<b>Impermeable</b>	<b>Cuadrado</b>	90	<b>2.113</b>	2.39	<b>1</b>
		60	<b>1.587</b>	0.31	<b>1</b>
		30	<b>0.685</b>	5.71	<b>1</b>
	<b>Rectangular</b>	90	<b>2.196</b>	3.76	<b>1</b>
		60	<b>1.787</b>	1.05	<b>1</b>
		30	<b>0.552</b>	2.26	<b>1</b>

Tabla I: Coeficientes de resistencia aerodinámica y relación con los de una lona impermeable.

Richards y Robinson (1999) proponen una relación semiempírica para el coeficiente de resistencia en mallas de alta porosidad, en las que la caída de presión y en consecuencia el coeficiente de pérdida son difíciles de medir. La relación propuesta para el flujo en dirección perpendicular es:

$$C_D = C_d \frac{(1 - \beta)}{[1 - 0.75(1 - \beta)]^2} \quad (2)$$

Donde  $C_d$  es el coeficiente de resistencia de un cilindro de las dimensiones de los elementos de la malla. La figura 3 muestra la curva resultante para  $\beta > 0.4$  y  $C_d = 1$  y los resultados obtenidos en nuestros experimentos.

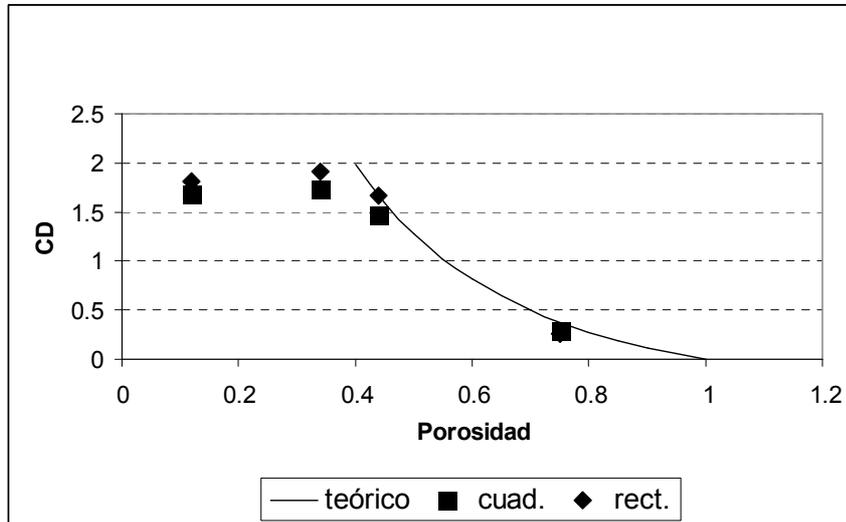


Figura 3: Curva experimental de  $C_D$  versus porosidad

Cuando el flujo incide sobre una malla porosa con un ángulo distinto a 90 grados, se producen dos efectos opuestos: por un lado el área frontal disminuye y lo mismo hace la componente normal de la velocidad; por el otro, la solidez aparente de la tela aumenta, o su porosidad óptica aparente disminuye, ya que para cada elemento de la malla el área abierta perpendicular al flujo se reduce en la misma proporción que la superficie total, pero el área obstruida por los hilos, debido a la geometría de éstos, permanece aproximadamente constante. Esto dificulta la predicción de las cargas aerodinámicas en estas condiciones.

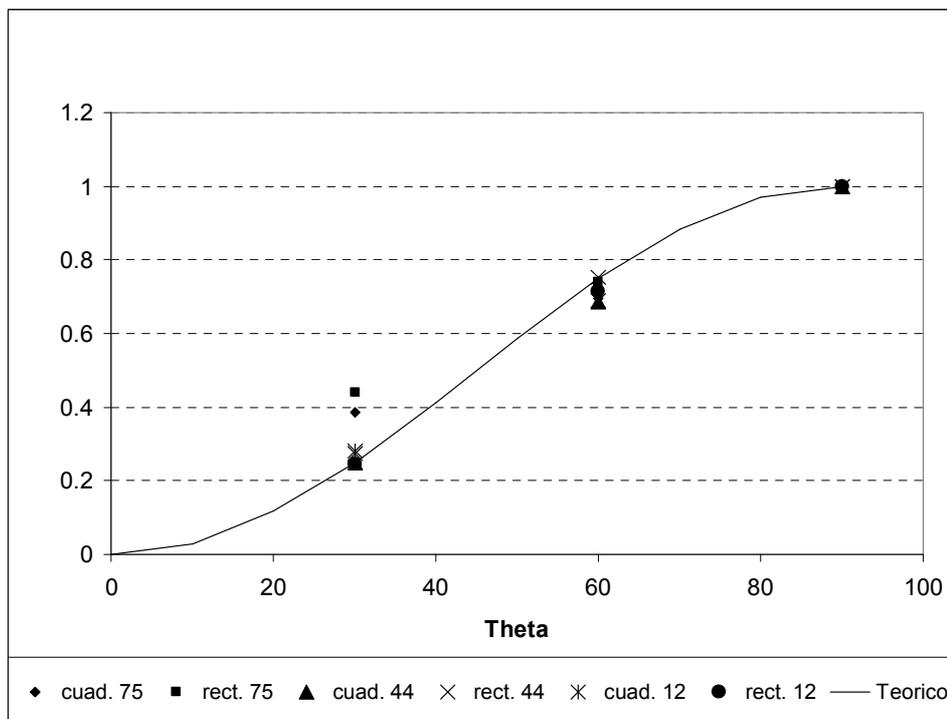


Figura 4: Variación del  $C_D$  en función del ángulo de incidencia

Para pequeños apartamientos de la dirección perpendicular, el factor  $(1-\cos^2\theta)$ , siendo  $\theta$  el ángulo de incidencia, resulta una buena aproximación, pero en mallas abiertas, este factor subestima la resistencia en forma considerable. La figura 4 muestra la variación de  $C_D$  con el ángulo de incidencia para las telas analizadas. También se deben tener en cuenta en este caso las componentes de fuerza perpendiculares a la dirección del viento, lo que constituye parte del trabajo futuro en esta área.

Por último, para la malla más fina, de 34 % de porosidad y orificios de 1 mm, se comparó la resistencia de marcos cuadrado y rectangular con la tela seca y mojada respectivamente. En el caso del marco cuadrado, la resistencia se incrementó un 14 %; en el marco rectangular el incremento fue imperceptible. Una posible razón es que para esta geometría una mayor fracción del flujo rodea el marco por los costados y la porosidad modifica menos la configuración que en el marco cuadrado, cuya distribución de presiones fuerza a una fracción mayor del flujo a atravesarlo.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se proporciona información de difícil acceso pero entendemos que de mucha utilidad para el diseño y dimensionamiento con márgenes razonables de seguridad de estructuras provisionarias como carpas, carteles publicitarios, recubrimientos de protección de obras, barreras eólicas temporales, mallas de protección antigranizo, etc., en los que se extendió el uso de telas media sombra y muy diversos tipos de mallas abiertas. Se analizan las fuerzas de arrastre aerodinámico para distintos ángulos de incidencia del viento y dos geometrías con distinta relación de aspecto. Los resultados cuantifican la dependencia de la resistencia aerodinámica con la porosidad óptica, pero también muestran una fuerte influencia del tamaño medio de malla para telas de similar porosidad, por efecto del Reynolds local decreciente. Para altas porosidades los valores medidos concuerdan con relaciones semiempíricas propuestas por otros investigadores.

La variación de coeficientes de resistencia con ángulo de incidencia del viento muestra que para bajas porosidades puede utilizarse la aproximación usada en telas sólidas,  $(1-\cos^2\theta)$ , pero para mallas abiertas la resistencia es superior a la estimada con esta relación.

Trabajo futuro incluye la determinación experimental de coeficientes de caída de presión en estos tipos de telas y mallas y su relación con las fuerzas aerodinámicas en direcciones paralela y normal al viento.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación aplicada y transferencia tecnológica fue solicitado y financiado por la empresa de estructuras tubulares MEKANO SRL.

## REFERENCIAS

- Annand W.J.D. (1953), The resistance to air flow of wire gauzes, *J. Roy. Aeronaut. Soc.* 57 pp. 141-146.
- Boldes U., Golberg A., Maraño Di Leo J., Colman J., Scarabino A.(2002): Canopy flow and aspects of the response of plants protected by herbaceous shelterbelts and wood fences, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90/11, pp. 1253-1270
- Morgan P.G. (1962), Flow through screens of low solidity, *J. Roy. Aeronaut Soc.* 66 pp. 54-56.
- Perera M.D. (1981), Shelter behind two-dimensional solid and porous fences, *J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 8 pp. 93-104.
- Reglamento CIRSOC 102: *Acción del Viento sobre las Construcciones*. Dic. 1984
- Richards P.J., Robinson M. (1999), Wind loads on porous structures, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 83, pp. 455-465
- Wilson J.D. (1987), On the choice of a windbreak porosity profile, *Bound. Layer Meteorol.* 38 pp. 37-49.

## ABSTRACT

This work presents drag coefficients of woven and knitted fabrics of extended use in facade protections, windbreak fences, hail shelters, etc. Wind loads are measured and analyzed for a square and a 4:1 rectangular frames respectively, covered with fabrics of optical porosity between 12% and 75%, for different angles of incidence of the wind. In one case wind drag on a wet sample is compared with that on a dry sample. Results are compared with loads on an impermeable canvas, in order to obtain load reduction factors as functions of geometry and porosity. They are also compared with different semiempirical models.

**Keywords:** meshes, fabrics, aerodynamic drag, wind loads.