

SIMULACIÓN DE UN ENSAYO EN TÚNEL DE VIENTO APLICANDO CFD

Gustavo C. Balbastro¹, Victorio E. Sonzogni^{1,2}

¹ GIMNI, Facultad Regional Santa Fe, UTN
y Facultad Regional Rafaela, UTN
Lavaise 610, 3000 Santa Fe, Argentina.
Tel: 54-342-4750140
e-mail: gbalbastro@yahoo.com

² CIMEC, INTEC, UNL-CONICET
Güemes 3450, 3000 Santa Fe, Argentina.
Tel: 54-342-4511594 Fax: 54-342-4550944
e-mail: sonzogni@intec.unl.edu.ar

Palabras claves: viento – CFD – simulación.

Resumen: *El presente trabajo expone una simulación computacional de un ensayo realizado en túnel de viento de capa límite sobre un modelo de diseño mejorado, en el que se habían medido presiones sobre la superficie del modelo. La simulación se llevó a cabo procurando reproducir lo más fielmente posible las condiciones del ensayo, para lo cual se generó una "rugosidad" en la malla del modelo computacional, similar a la aplicada sobre el modelo físico para forzar el régimen ultracrítico con un número de Reynolds menor. Además, se aplicó un perfil de velocidades en la entrada, modificado para generar en el flujo una intensidad de turbulencia equivalente a la producida en el la cámara de ensayos del túnel de viento. Las mencionadas condiciones son necesarias para que los ensayos sobre modelos puedan ser considerados representativos del fenómeno del viento natural sobre estructuras a escala real, por lo que se procuró reproducirlas también en la simulación numérica.*

Los resultados obtenidos dan una buena reproducción de los que se tenían del ensayo realizado en el túnel.

1 INTRODUCCIÓN

Con gran frecuencia se pueden ver en la República Argentina construcciones cuya cubierta tiene directriz circular o parabólica. Estos se construyen casi exclusivamente con estructuras metálicas formadas por arcos de celosía, vinculados con correas de celosía o perfiles livianos de chapa plegada, que reciben chapas de acero galvanizado a modo de cubierta. Su bajo peso propio las hace especialmente vulnerables a los vientos fuertes, eventos en los que sufren daños que van desde arrancamiento de chapas hasta el colapso total, según se ha podido constatar en reiteradas oportunidades¹.

Estas construcciones pueden encontrarse con o sin cerramiento perimetral según su uso, siendo en este último caso cubiertas aisladas, comunes tanto en zonas urbanas como rurales.

El ingeniero estructural se vale del auxilio de tablas de coeficientes de presión para evaluar las acciones sobre la estructura, contenidas usualmente en los códigos. En el caso de la República Argentina, tanto reglamento vigente² como el proyecto de reglamento³ que actualmente está próximo a reemplazarlo no aportan datos específicos para el cálculo de acciones sobre las cubiertas abovedadas aisladas. En el primer caso se propone asimilar la cubierta abovedada a una cubierta de faldones planos, inscrita en el arco, analogía que no resulta apropiada, ya que las características del flujo alrededor de una cubierta a dos aguas, que presenta una arista viva en la cumbre, son sustancialmente diferentes de las del flujo alrededor de una cubierta curva, que depende fuertemente del número de Reynolds, tal como pusieran de manifiesto Marighetti et al⁴. mediante ensayos en el Túnel de Viento de Capa Límite de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). En el segundo caso, sólo se cuenta con valores para edificios con cubiertas curvas cerrados total o parcialmente. También en este caso el flujo alrededor de este tipo de construcciones es diferente del correspondiente a la cubierta aislada, según muestran los trabajos sobre este tema realizados por Natalini et al.⁵ y Natalini⁶.

Los ensayos en túnel de viento de capa límite son una metodología bien conocida para determinar los coeficientes de presión para el estudio de las obras civiles, pero sin embargo presentan algunas limitaciones al momento de cumplir estrictamente las leyes de semejanza de modelos, ya que resulta sumamente difícil alcanzar en los ensayos el mismo número de Reynolds que en el prototipo a escala real. Esta limitación cobra importancia al tratar con formas geométricas cuyo comportamiento aerodinámico resulta muy sensible al número de Reynolds, como es el caso de las cubiertas curvas. Para salvar esta limitación, se emplean determinadas técnicas experimentales, como las analizadas por Ribeiro⁷. En los ensayos tomados como referencia se recurrió a una de estas técnicas experimentales, produciendo cierta rugosidad superficial sobre la cubierta de los modelos, adhiriéndole arena de distintas granulometrías, con el fin de forzar el régimen transcrito con un número de Reynolds menor.

Actualmente se procura producir resultados aptos para el uso práctico. En trabajos anteriores^{8,9} se abordaron distintos aspectos de este tema mediante métodos computacionales, procurando validar los resultados computacionales con los aquellos obtenidos mediante ensayos en túnel de viento realizados en la UNNE^{10,11}. En estos trabajos se habían encontrado algunas diferencias con los resultados usados como referencia. Estas diferencias fueron

atribuidas a varios motivos. Uno de estos posibles motivos era la forma de instrumentar el modelo ensayado en el túnel de viento, que consistía en tubos de pequeño diámetro que comunicaban las tomas de presión en el modelo con los instrumentos de medición. Para procurar eliminar la posible influencia que la presencia de estos tubos tuvieran en el flujo, se realizaron nuevos ensayos sobre modelos de distinta construcción, que fueron reportados recientemente por Balbastro y Sonzogni¹². Estos modelos no emplean las conexiones antes mencionadas, lo que facilita la construcción de la geometría para la simulación computacional, como se ve en las figuras 2 y 3. Estos se construyen con un sector de tubo de PVC, en el que se calan conductos de toma de presión que quedan embebidos en el espesor y se conectan a las patas, formadas por tubos de cobre que se conectan al instrumental bajo el piso del túnel.

En este trabajo se presentan resultados de simulaciones sobre estos últimos modelos, comparando los valores con los experimentales.



Figura 1: Vista de una construcción típica.



Figura 2: Vista superior de uno de los modelos de referencia, con rugosidad superficial.



Figura 3: Vista inferior de uno de los modelos de referencia.

2 MODELOS ANALIZADOS

Los modelos analizados tienen la geometría mostrada en la figura 4. El espesor de la cubierta es de 3 mm. El dominio representa una porción de la sección de ensayo del túnel de viento. La geometría y la malla se generó con GiD 7.1, y el análisis se realizó con el programa PETSc-FEM, en el cluster “Aguiles” del CIMEC. Para el postproceso de los resultados se empleó GiD 7.1 y Matlab 6.

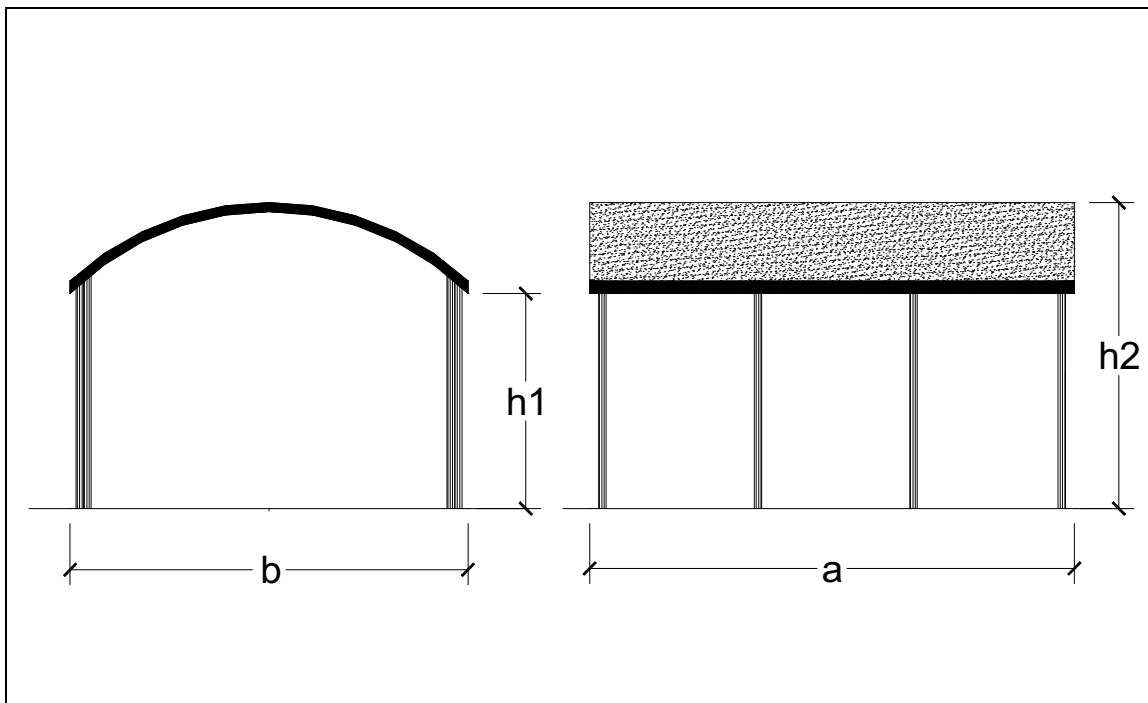


Figura 4: Geometría del modelo.

Tabla 1: Dimensiones de los modelos.

Modelo	a (m)	b (m)	h1 (m)	h2 (m)
M1	0.324	0.133	0.071	0.095
M2	0.162	0.133	0.071	0.095

El programa PETSc-FEM, desarrollado en el CIMEC, está orientado principalmente a la resolución numérica de problemas de mecánica de fluidos, se basa en la librería de cálculo científico PETSC¹³ (Portable Extensible Tool for Scientific Computations) y la librería de paso de mensajes MPI¹⁴ (Message Passing Interface). El código PETSC-FEM es ventajoso en su flexibilidad y capacidad de paralelizar en forma eficiente el proceso de resolución, permitiendo además utilizar diferentes estrategias para la misma.

El volumen se discretiza con $1,8 \times 10^6$ tetraedros. La malla se refinó en proximidad de la superficie de la cubierta y del piso del túnel. Con esta malla la dimensión de los elementos en la superficie del cuerpo de $1,35 \times 10^{-3}$ m. Analizando las escalas asociadas el flujo, de acuerdo con Tennekes y Lumley¹⁵, es decir la microescala de Taylor, asociada a los movimientos a escala integral, definida por $\lambda = (15/A)^{1/2} R_i^{-1/2} l$, y la microescala de Kolmogorov, definida por $\eta = A^{-1/4} R_i^{-3/4} l$, siendo R_i el número de Reynolds a escala integral, l la longitud característica adoptada igual al doble del radio de curvatura de la cubierta, y A una constante que supondremos igual a 0,5. Con estos valores se obtuvo $\lambda \approx 1,4 \times 10^{-3}$ m y $\eta \approx 1,5 \times 10^{-5}$ m.

En la sección de entrada se aplicó un perfil de velocidades medias equivalente al empleado para los ensayos en túnel de viento, que reproduce el viento en zonas suburbanas, el cual fue perturbado para introducir un defecto de cantidad de movimiento que produzca vórtices que se desplacen con el flujo, siguiendo un criterio parecido al empleado para generar turbulencia en la cámara de ensayos en los túneles de viento y aplicado por Uchida y Ohya¹⁶.

Las simulaciones realizadas con PETSc-FEM se hicieron usando un paso de tiempo de 1×10^{-3} s, con un total de 6000 pasos útiles, para que la simulación represente un tiempo igual al empleado para las tomas de lecturas en el túnel de viento. Para esta resolución se aplicó un modelo de turbulencia LES.

Para simular el efecto de la rugosidad aplicada sobre los modelos en el túnel de viento, las coordenadas de los nodos de las mallas fueron perturbadas sobre la superficie de la cubierta.

3 RESULTADOS

A partir de la simulación se obtuvieron los campos de velocidad y presión para cada paso de tiempo. Con los valores de presión sobre la superficie de la cubierta curva se calcularon los coeficientes de presión externa c_{pe} , e interna c_{pi} , en cada punto, según la ecuación (1).

$$c_{pe,i} = \frac{\Delta p}{q_{ref}} \quad (1)$$

En esta se denomina:

Δp = a la diferencia entre la presión en un punto sobre la cubierta y la presión estática de

referencia.

q_{ref} = es la presión dinámica de referencia, siendo:

$$q_{ref} = \frac{1}{2} \rho u_{ref}^2 \quad (2)$$

Donde:

$u_{ref} = 13,5$ m/s es la velocidad de referencia.

Las presiones y velocidades de referencia se toman en la ubicación de la antena de Pitot-Prandtl adoptada en el ensayo de referencia, que fue a un costado del modelo, en la zona no perturbada de la corriente de aire, y a la altura de la cúspide de la bóveda. El número de Reynolds se definió según la expresión (3).

$$Re = \frac{u d}{\nu} \quad (3)$$

$u = u_{ref}$

d = el doble del radio de curvatura del modelo

ν = viscosidad cinemática del aire, μ/ρ

El valor alcanzado fue $Re = 1,85 \times 10^5$.

Se determinaron valores medios de los c_{pe} y c_{pi} , los cuales teniendo en cuenta la finalidad práctica que se pretende, se presentan promediados por áreas. Esto a su vez facilita la comparación con los valores experimentales, que se presentan conjuntamente.

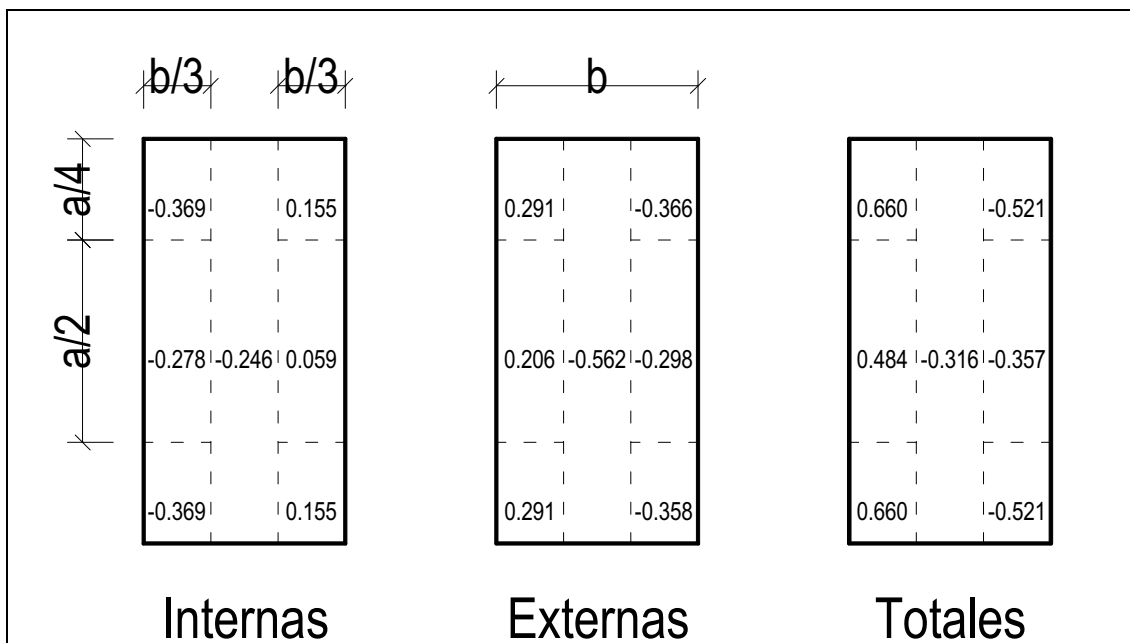


Figura 5: Modelo M1, resultados CFD c_{pe} , c_{pi} , c_{ptot} . Viento desde la izquierda

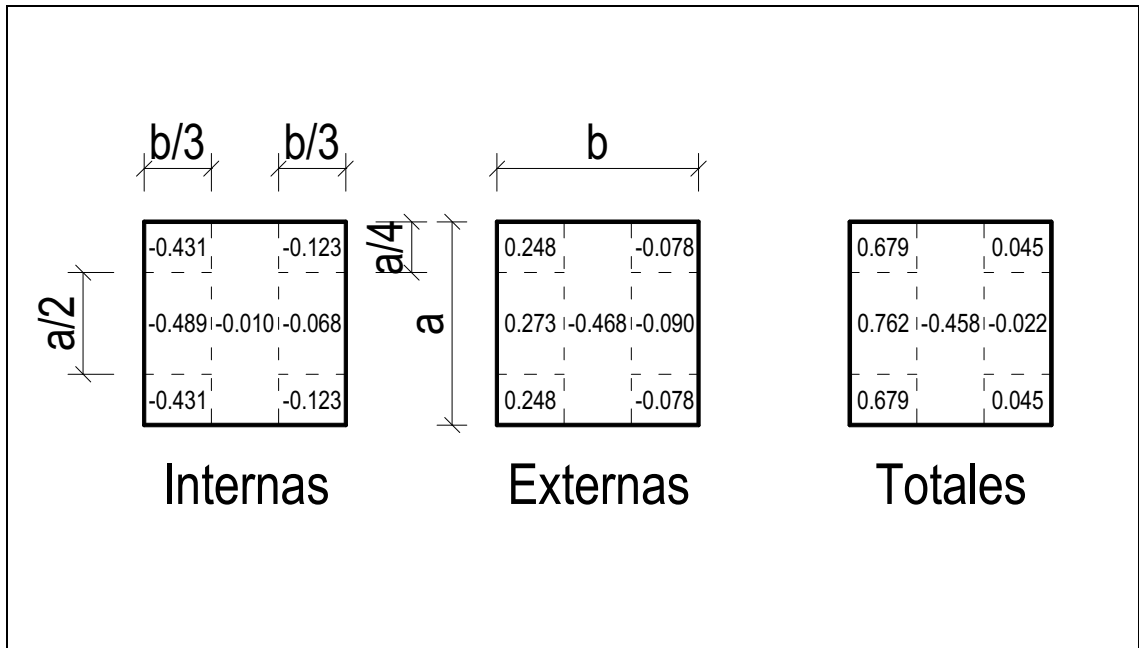


Figura 6: Modelo M2, resultados CFD c_{pe} , c_{pi} , c_{ptot} . Viento desde la izquierda

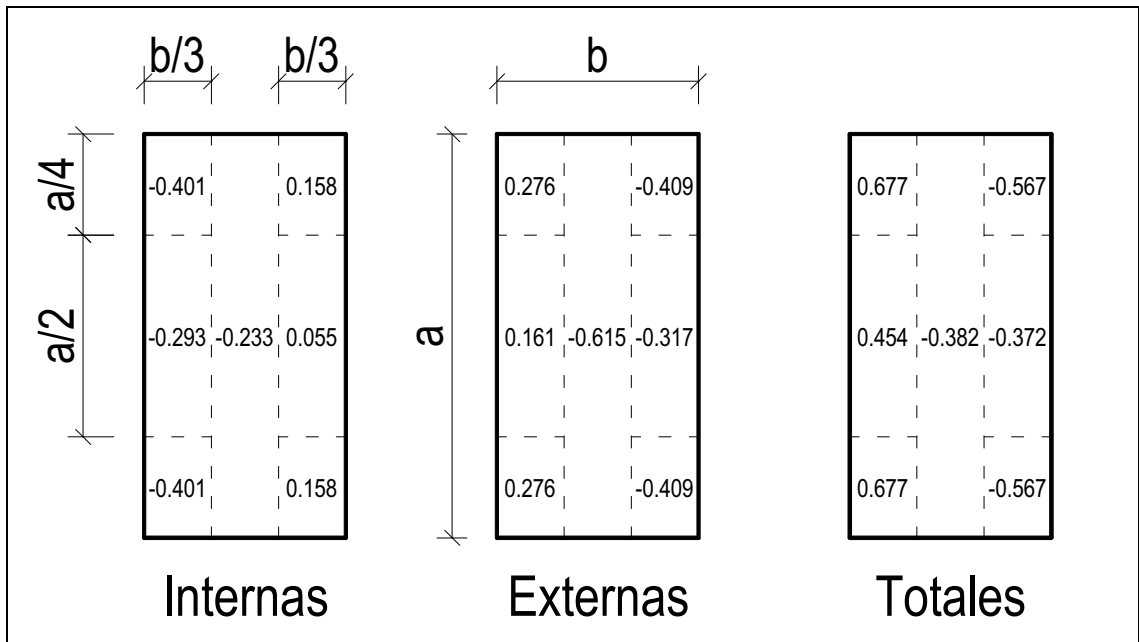


Figura 7: Modelo M1, resultados experimentales c_{pe} , c_{pi} , c_{ptot} . Viento desde la izquierda

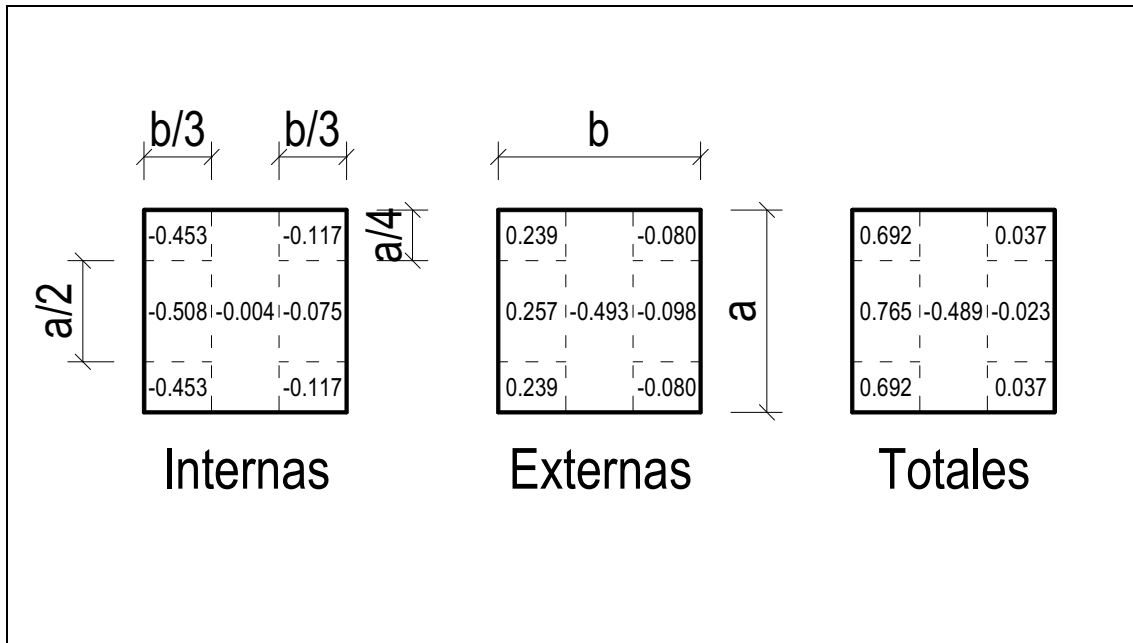


Figura 8: Modelo M2, resultados experimentales c_{pe} , c_{pi} , c_{ptot} . Viento desde la izquierda

4 CONCLUSIONES

Puede verse que los valores obtenidos mediante las simulaciones resultan próximos a los que se tenían a partir de los ensayos en túnel de viento. Las diferencias son en general menores al 10%, lo cual no resulta incompatible con las necesidades del proyectista de este tipo de estructuras. Las técnicas empleadas para reproducir las condiciones del ensayo resultan entonces satisfactorias, a la vez que son sencillas de aplicar, ya que la aplicación de la rugosidad superficial se realiza luego de generada la malla, mediante operaciones simples, con la sola precaución de no aplicar distorsiones excesivas que alteren la calidad de los elementos de la malla. Con respecto a la perturbación del perfil de velocidades, implica sólo operar sobre una de las condiciones de contorno, sin necesidad de introducir modificaciones al código.

Como extensiones de este trabajo, resultará apropiado estudiar las fluctuaciones de los valores instantáneos de presión sobre la cubierta, para hacer un análisis de valores extremos de los coeficientes de presión. Asimismo, puede pensarse en realizar las simulaciones sobre modelos que representen la estructura a escala real, no solamente un modelo a escala reducida, si bien no se dispone de valores de mediciones a escala real sobre este tipo de estructuras.

5 AGRADECIMIENTOS

Gustavo Balbastro es becario de posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional.

6 REFERENCIAS

- [1] G.C. Balbastro, V.E. Sonzogni, “*Pavón Arriba, lo que el viento se llevó*”, I Simposio Brasileiro de Desastres Naturales – I SIBRADEN, Florianópolis, (2004)
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. *Reglamento CIRSOC 102 – Acción del viento sobre las construcciones*. Buenos Aires, 1982.
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. *Proyecto de Reglamento Argentino de acción del viento sobre las construcciones CIRSOC 102*. INTI. Buenos Aires, 2001.
- [4] J.O. Marighetti, O.F. Canavesio, B. Natalini, M.B. Natalini, “*Comparación entre coeficientes de presión media en cubiertas aisladas planas y curvas*”, XVII Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, CD-ROM, Rosario, (2002)
- [5] M.B. Natalini, O.F. Canavesio, B. Natalini, M.J. Paluch, “*Wind tunnel modelling of mean pressures on curved canopy roofs*”, Proc. American Conference on Wind Engineering, CD-ROM, Clemson, (2001)
- [6] M.B. Natalini, “*Acción del viento sobre cubiertas curvas aisladas*”, Tesis de Doctorado, Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia, (2005)
- [7] J.L. Ribeiro, “*Efeitos da rugosidade superficial sobre as pressões medias e flutuantes em cilindros circulares fixos em fluxo bidimensional*”, Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, (1989)
- [8] G.C. Balbastro, V.E. Sonzogni, “*Acción del viento sobre cubiertas abovedadas aisladas: resultados numéricos preliminares*”, Mecánica Computacional Vol. XXII, Proc. ENIEF 2003, CD-ROM, Bahía Blanca, (2003)
- [9] G.C. Balbastro, V.E. Sonzogni, G. Franck, M. Storti, “*Acción del viento sobre cubiertas abovedadas aisladas: simulación numérica*”, Mecánica Computacional Vol. XXIII, Proc. ENIEF 2004, CD-ROM, Bariloche, (2004)
- [10] M.B. Natalini et al., op. cit.
- [11] M.B. Natalini, O.F. Canavesio, B. Natalini, M.J. Paluch, “*Pressure distribution on curved canopy roof*”, Proc. 2nd Intl. Symp. on Advances in Wind and Structures (AWAS’02), 21-23, Pusan, (2002)
- [12] G.C. Balbastro, V.E. Sonzogni “*Coeficientes de presión en cubiertas abovedadas aisladas*”, Proc. Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, CD-ROM, Mar del Plata, (2006)
- [13] S. Balay, W. Gropp, L.C. McInnes, B. Smith. “*Petsc 2.0 users manual. Technical Report UC-405*”, Argonne National Laboratory. Math. and Computer Sc., (1997).
- [14] Message passing interface (MPI). <http://www.mpi-forum.org/docs/docs.html>.
- [15] H. Tennekes, J.L. Lumley, “*A First Course in Turbulence*”. Cambridge, MA: MIT Press, (1994).
- [16] T. Uchida, Y. Ohya, “*Large-eddy simulation of turbulent airflow over complex terrain*”. J. Wind Eng. Ind. Aer. 91, 219-229, (2003)