

ANÁLISIS DE LAS CARGAS DEBIDAS AL VIENTO SOBRE UNA ESCULTURA

Marighetti, Jorge O. ¹; Barrios D'Ambra, Ricardo J. ²; Alvarez y Alvarez, Gisela M. ²;
Rodríguez Aguirre, Juan M. ³

¹Ingeniero Mecánico, ²Ingeniero Civil, ³Licenciado en Ciencias Físicas
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste
giselaalvarezyalvarez@yahoo.com.ar

RESUMEN

En este trabajo se presenta el análisis de cargas aerodinámicas, el diseño y cálculo de la estructura de acero portante de un calco de la escultura “El David” de Miguel Ángel, del pedestal y su plataforma, obtenidas del ensayo del modelo reducido en el túnel de viento “Jacek P. Gorecki”, de la Universidad Nacional del Nordeste. Los ensayos fueron realizados empleando una simulación de viento natural en correspondencia al tipo de terreno circundante y un modelo a escala 1:10, reproduciéndose detalles de relevancia aerodinámica para el presente estudio. Se midieron fuerzas globales sobre el modelo de la escultura con una balanza de fuerza y presiones medias y fluctuantes en el modelo del pedestal. Se determinaron coeficientes de fuerza globales para la escultura y coeficientes de presión locales para el pedestal y plataforma en ocho direcciones de viento incidente. Los coeficientes de fuerza y presión obtenidos, se utilizan para el cálculo de cargas de viento según procedimiento del reglamento de viento CIRSOC 102 y en el análisis de la estructura portante interna. Se determinaron que las mayores cargas de viento se producen cuando la escultura se posiciona de frente al viento.

ABSTRACT

This work presents the analysis of aerodynamic loads, the design and calculation of the supporting steel structure of a cast of Michelangelo's “David” sculpture, the pedestal and its platform, obtained from the test of the reduced model in the “Jacek P. Gorecki” wind tunnel of the Universidad Nacional del Nordeste. The tests were carried out using a natural wind simulation in correspondence to the type of surrounding terrain and a 1:10 scale model, reproducing details of aerodynamic relevance for the present study. Global forces were measured on the sculpture model with a force balance and average and fluctuating pressures on the pedestal model. Global force coefficients for the sculpture and local pressure coefficients for the pedestal and platform in eight incident wind directions were determined. The force and pressure coefficients obtained are used for the calculation of wind loads according to CIRSOC 102 wind code and in the internal load-bearing structure analysis. It was determined that the highest wind loads occur when the sculpture is positioned facing the wind.

Organiza:

Introducción

El Reglamento Argentino CIRSOC 102 [1] establece coeficientes de carga para estructuras de tamaño regular y pequeño. Sin embargo, para estructuras de grandes dimensiones, formas geométricas atípicas o afectadas por la cercanía de edificios vecinos, es imprescindible llevar a cabo estudios estructurales en túnel de viento. Esto garantiza un diseño más seguro frente a las fuerzas del viento.

En 1954, Jensen [2] presentó una comparación entre las mediciones de presión realizadas en una casa a escala real y en un modelo reducido en un túnel de viento. Los ensayos incluyeron mediciones tanto con modelos expuestos a un flujo uniforme y suave como con modelos inmersos en la capa límite, utilizando diferentes superficies rugosas. Estos estudios, junto con investigaciones posteriores a principios de la década de 1960, establecieron claramente que la evaluación precisa de las cargas de viento, que considera la similitud entre el modelo y el prototipo, requiere un tipo específico de túnel de viento conocido como túnel de capa límite. Estos túneles están diseñados para simular la capa límite atmosférica, permitiendo reproducir con precisión el perfil de velocidades medias y las características turbulentas del flujo atmosférico.

El Reglamento CIRSOC establece en su Capítulo 6 las condiciones mínimas que deben cumplirse en los ensayos programados: la capa límite atmosférica natural debe ser modelada teniendo en cuenta la variación de la velocidad del viento con la altura, las escalas de la componente longitudinal de la turbulencia atmosférica deben modelarse aproximadamente a la misma escala que la usada para modelar el edificio u otra estructura, el edificio u otra estructura modelada, las estructuras y topografía circundantes deben ser geoméricamente similares a sus contrapartes en escala natural, excepto que, para edificios de baja altura que reúnan los requisitos del artículo 5.1, se permitirán ensayos para el edificio modelado en un único sitio de exposición tal como se define en el artículo 5.6.1. Además, el área proyectada del edificio u otra estructura y alrededores modelados debe ser menor que el 8% del área de la sección transversal de ensayo, a menos que se haga una corrección por bloqueo, se debe considerar el gradiente de presión longitudinal en la sección de ensayo del túnel de viento, y los efectos del número de Reynolds sobre las presiones y las fuerzas serán minimizados y las características de respuesta del instrumental del túnel de viento deben ser consistentes con las mediciones requeridas.

El Laboratorio de Aerodinámica de la Facultad de Ingeniería de la UNNE se especializa en el estudio del comportamiento de las estructuras dentro de la capa límite atmosférica. Dispone de un túnel específico para capa límite y del instrumental necesario para llevar a cabo ensayos estructurales simulando las condiciones de la capa límite atmosférica.

En este trabajo se presenta el análisis de cargas aerodinámicas, el diseño y cálculo de la estructura de acero portante de una la escultura, realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) a pedido de la Fundación Urunday. El estudio se enfocó en analizar las fuerzas generadas por el viento

Organiza:

atmosférico sobre el calco de la escultura del "David", ubicada en el predio de la Bienal del Chaco en Resistencia, Argentina (coordenadas geográficas: latitud $-27^{\circ}44'S$, longitud $-58^{\circ}98'O$). Este análisis se realizó mediante ensayos en túnel de viento con un modelo a escala reducida, respetando la semejanza geométrica, cinemática y dinámica. Se calcularon los coeficientes de fuerza global y de presión local, y se determinó la dirección y punto de aplicación de la fuerza resultante para ocho direcciones de viento incidente.

Descripción de la estructura

La escultura del "David", calco de la escultura del "David" de Miguel Ángel, será implantada sobre un pedestal estructural regular y una plataforma circular trunca con escalinatas a nivel del suelo. La altura de la escultura aislada es de 5,17 m, soportado en un pedestal de 1,15 m por 1,80 m x 2 m de altura y una plataforma circular de 1 m de altura máxima y 13 m de diámetro. La altura máxima alcanza los 8,17 m (Figura 1).



Figura 1. Vista de la escultura de "El David", sobre pedestal y plataforma circular trunca, emplazada en el predio de la Bienal.

Descripción de los estudios experimentales

Los ensayos fueron realizados sobre un modelo rígido a escala reducida conforme al Capítulo 6 del Reglamento CIRSOC 102 [1]. Para la construcción del modelo, se consideraron condiciones de vecindad en torno a la estructura, características medias y parámetros de turbulencia del viento atmosférico en correspondencia a un terreno de tipo suburbano (Categoría III, CIRSOC 102).

El modelo reducido del conjunto estructural, escultura, pedestal y plataforma tiene una escala geométrica de 1/10 con un bloqueo menor al 5%. Las mediciones de los coeficientes de fuerza global sobre la escultura aislada, fueron realizadas con balanza estática, en tanto, sobre pedestal y plataforma, se midieron coeficientes de presiones estáticas en tomas de presión con sensores de presión electrónicos; el estudio de las cargas de viento sobre el modelo completo se realizó a una velocidad de 25 m/s. La presión dinámica de referencia, a la altura de referencia, fue medida a la altura máxima

de la escultura.

Para el registro de fuerzas sobre la escultura, se utilizó balanza de fuerza estática de 50 N de capacidad, de un grado de libertad; en tanto, la medición de las presiones medias y fluctuantes, en la superficie exterior del pedestal y plataforma, se distribuyen en 24 de tomas de presión estáticas, utilizando un sistema de medición Scanivalve de 96 canales y transductores electrónicos Honeywell PC163. Los estudios fueron realizados con viento incidiendo desde 0° a 360°, intervalos de 45°, en 8 direcciones de viento incidente.

Se determinaron coeficientes de fuerza global, para la estructura de la escultura aislada, punto de aplicación y dirección de la fuerza resultante; de manera semejante, los coeficientes de presión en pedestal y plataforma, fueron obtenidos en relación a la presión dinámica de referencia.

Túnel de viento de capa límite "Jacek P. Gorecki"

Los ensayos se realizaron en el túnel de capa límite de circuito abierto "Jacek P. Gorecki" de la UNNE (Figura 2). El túnel tiene una longitud total de 39,65 metros y su cámara de ensayos tiene 2,4 metros de ancho, 1,8 metros de alto y 22,8 metros de largo. Este túnel está equipado con dos mesas de ensayos giratorias de 1,2 metros de diámetro: una ubicada a 3,8 metros desde el inicio de la cámara (mesa I), y la otra a 19,4 metros (mesa II). Un ventilador axial de 2,25 metros de diámetro, genera una velocidad máxima en vacío de 25 m/s en la mesa II [3]. La velocidad del flujo de aire se regula mediante un regulador de caudal mecánico.

Simulación del viento de capa límite

La simulación de la capa límite atmosférica emplea la técnica del uso de elementos de rugosidad, barrera y dispositivo de mezcla [4], que permiten obtener escalas de simulación adecuadas [5]. Los generadores de vorticidad y la rugosidad superficial pueden observarse en la Figura 3. Conforme la clasificación de reglamentos de viento, el flujo atmosférico simulado corresponde a la denominada Categoría III, terreno suburbano



Figura 2. Túnel de viento "Jacek P. Gorecki" de la UNNE.

Organiza:



Figura 3. Equipamiento de simulación de viento natural.

Descripción del modelo reducido

Los coeficientes de presión obtenidos en el túnel de viento en el modelo guardan correspondencia con la estructura real, por las condiciones de semejanza en las características del flujo incidente en relación con las del viento atmosférico y la semejanza geométrica entre el modelo y la estructura real.

Para el caso de análisis, la estructura de la escultura, el pedestal y la plataforma, fueron elaborados con una escala geométrica de 1:10, en materiales plásticos, aluminio y madera, reproduciéndose los detalles de relevancia aerodinámica. En la Figura 4, se muestran medidas y detalles del modelo completo ensayado

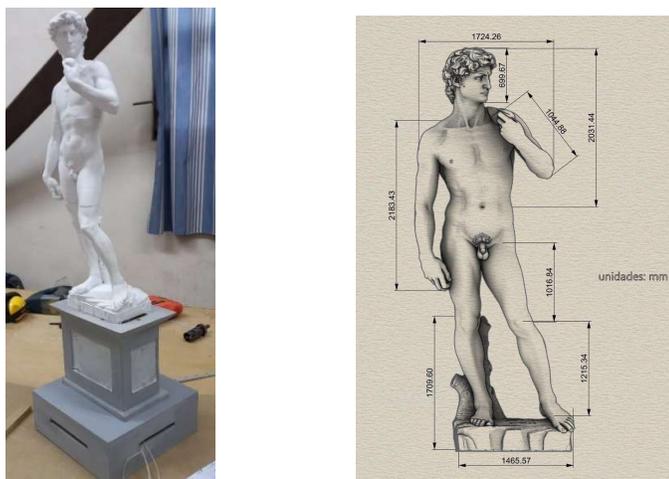


Figura 4. Medidas del modelo en escala reducida de la escultura del “David”

Organiza:

La estructura donde se emplaza la escultura del “David”, está compuesta de una plataforma circular trunca y un pedestal. La plataforma, con un diámetro de 12,8 m en el último escalón y 6,8 m en el primer escalón, tiene una configuración circular truncada, de seis escalones de 0,15 m de alto y 0,60 m de profundidad cada uno, con un total de 0,90 m desde nivel del suelo. Una estructura del pedestal, a partir del nivel 0,9 m, con una altura de 2,1 m y de sección rectangular de 1,8 m por 1,14 m, sobre el que se asienta la escultura del “David” de 5,17 m de altura. En la Figura 5 se observa el modelo estructural completo, pedestal y plataforma circular en la mesa de ensayo del túnel de viento.

El pedestal y la plataforma circular se instrumentaron con tomas de presión para la determinación de los coeficientes de presiones locales. En tanto que, sobre la escultura del “David”, aislada de su pedestal, se realizaron mediciones de fuerza empleando una balanza de fuerza de un grado de libertad, para la determinaron coeficientes de fuerzas.



Figura 5. Detalle del modelo de la escultura, estructura de emplazamiento y montaje en la cámara de ensayos del túnel de viento.

En la Figura 6, vista en planta de la plataforma circular y pedestal; se indican la dirección de viento incidente y el sentido de giro para rotaciones de 45°, que determinan ocho direcciones de viento analizadas.

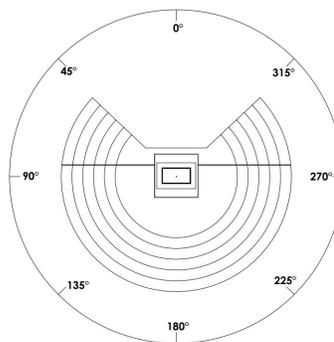


Figura 6. Ubicación del modelo en planta respecto a las direcciones viento incidente.

Organiza:

Instrumental empleado en mediciones en túnel de viento

Para la determinación de las cargas de viento medias globales sobre la escultura se utilizó una balanza estática de fuerza de un grado de libertad, dirección longitudinal del viento, instrumentada con galgas extensométricas (Figura 7). Para la medición de las fuerzas de arrastre se utilizaron dos medios puentes de Wheatstone medidos con y amplificadores de 4 canales para medición con bandas extensométricas Vishay 2100.

Los registros de presiones medias y fluctuantes en 28 tomas de presión estáticas ubicadas sobre la superficie del pedestal y de la plataforma, fueron obtenidos mediante un sistema de medición Scanivalve y transductores electrónicos Honeywell PC 163.



Figura 7. Balanza de fuerzas y acondicionador de señales de medición.

Simultáneamente, se midieron la presión dinámica de referencia y la presión estática de referencia en condición de flujo no perturbado, a barlovento del modelo y a la altura máxima del modelo, utilizando un tubo de Pitot-Prandtl.

Distribución de tomas de presión estática

La distribución de tomas de presión sobre el modelo del pedestal y la estructura circular, presenta diferentes configuraciones de acuerdo a los aspectos geométricos de diseño de la estructura. Las tomas de presión sobre el pedestal se distribuyeron sobre las superficies del frente, posterior y ambos laterales como se observa en la Figura 8. En la plataforma circular las tomas se distribuyeron en el frente y en el perímetro del segundo escalón superior (Figura 9).

Así, es posible considerar dos grupos de tomas teniendo en cuenta su localización y su posterior aplicación al análisis de cargas de viento y a la prevención de efectos localizados de viento, no necesariamente asociados a cargas locales.

Organiza:

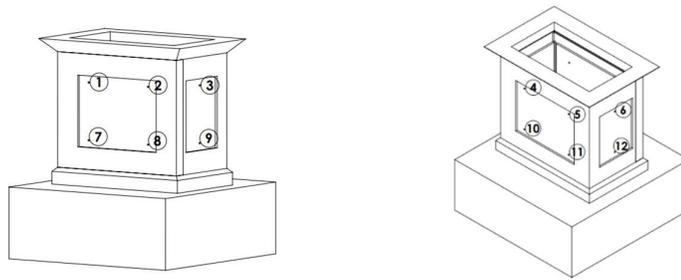


Figura 8. Ubicación de las tomas de presión sobre la estructura del pedestal.

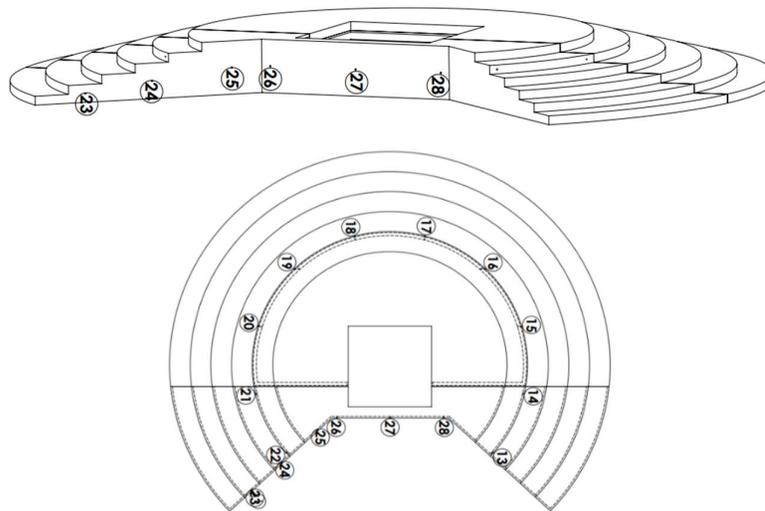


Figura 9. Ubicación de las tomas de presión en la estructura de la plataforma.

Coefficientes de fuerza global sobre la escultura

Para la determinación de los coeficientes de fuerza, la fuerza sobre la escultura ejercida por el viento simulado es adimensionalizada por la presión dinámica de referencia y el área de referencia. El coeficiente de fuerza, C_F , se define como indica el reglamento CIRSOC 102, por la expresión:

$$C_F = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho V^2 A_R} \quad (1)$$

Donde, F [N], es la fuerza medida, ρ [kg/m³], densidad de aire, V [m/s], velocidad de viento incidente y A_R [m²], es el área de referencia. La presión dinámica de referencia, q_r [Pa], medida a la altura de 0,83 m. El área de referencia, área de la escultura,

Organiza:

posición cero, es de $0,056 \text{ m}^2$.

Se midieron en ocho direcciones de viento incidente, en intervalos de 45 grados, con la adquisición de registros con una frecuencia de muestreo de 330 Hz y velocidades de viento simulado de 23 m/s en cámara de ensayo.

La estimación del área de referencia de la escultura del “David”, se realizó por medio de la digitalización de imágenes y el recuento de superficies de píxeles. La imagen del objeto se tomó como vista anterior del plano de diseño. En escala 1:10, la superficie del modelo reducido, resulta en $S = (0,0561 \pm 0,0007) \text{ m}^2$, considerando el error, $S = (561 \pm 7) \text{ cm}^2$. Las posiciones relativas del centro geométrico se obtuvieron calculando la media de las distribuciones parciales en las coordenadas ortogonales, como se observa en la Figura 10.

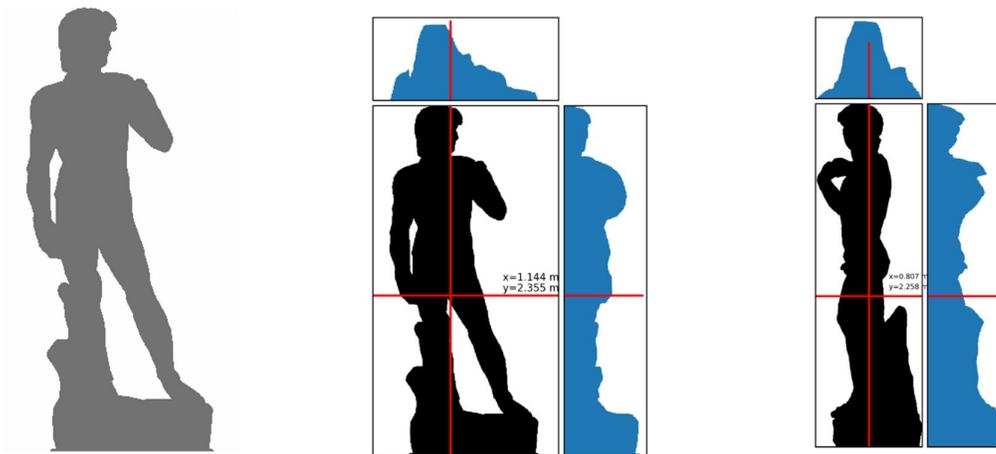


Figura 10. Imagen digitalizada usada para estimación del área (izq.) y determinación del centro geométrico de la sección (der.).

Se observan en Figura 10, la localización del centro geométrico de la superficie del modelo de la escultura a 0 grado, vista frontal, y el centro geométrico de superficie del modelo de escultura a 90 grados, vista lateral izquierda.

En la Figura 11 se muestran los coeficientes de fuerza obtenidos en función de las direcciones, α , de viento incidente. El máximo valor del coeficiente de fuerza se produce con la dirección de viento de 0 grados, la escultura del “David” vista de frente con la dirección de viento longitudinal. La magnitud máxima del coeficiente se reproduce a los 180° .

En las Figuras 12 y 13, se muestran las diferentes posiciones, en función de las direcciones, α , de viento incidente, de la estructura y la escultura del “David”, de la medición de fuerzas globales.

Organiza:

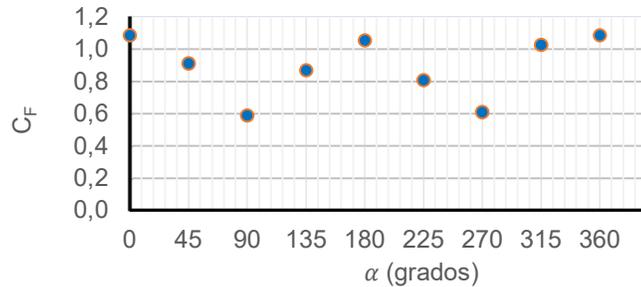


Figura 11. C_F obtenidos en función de las direcciones de viento incidente α .

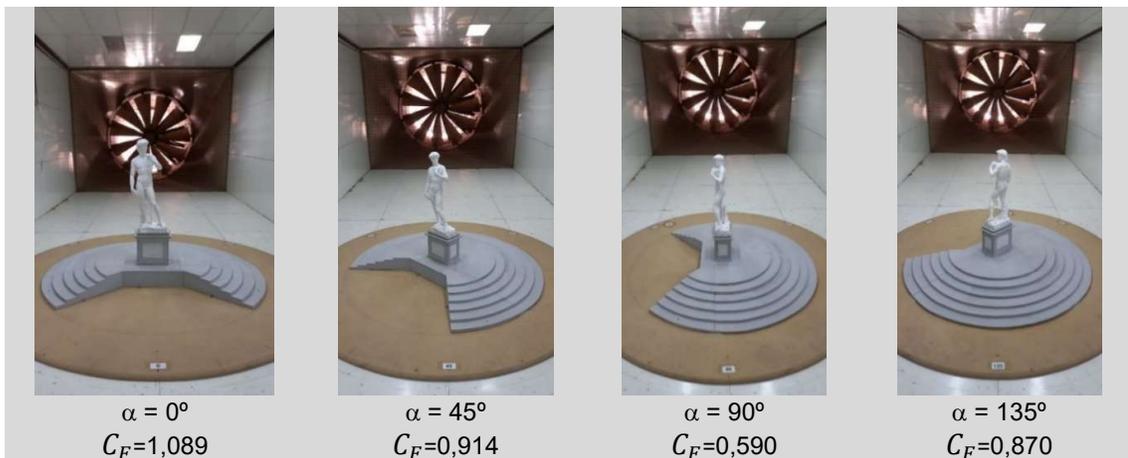


Figura 12. Coeficientes de fuerza para viento incidente $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ y 135°

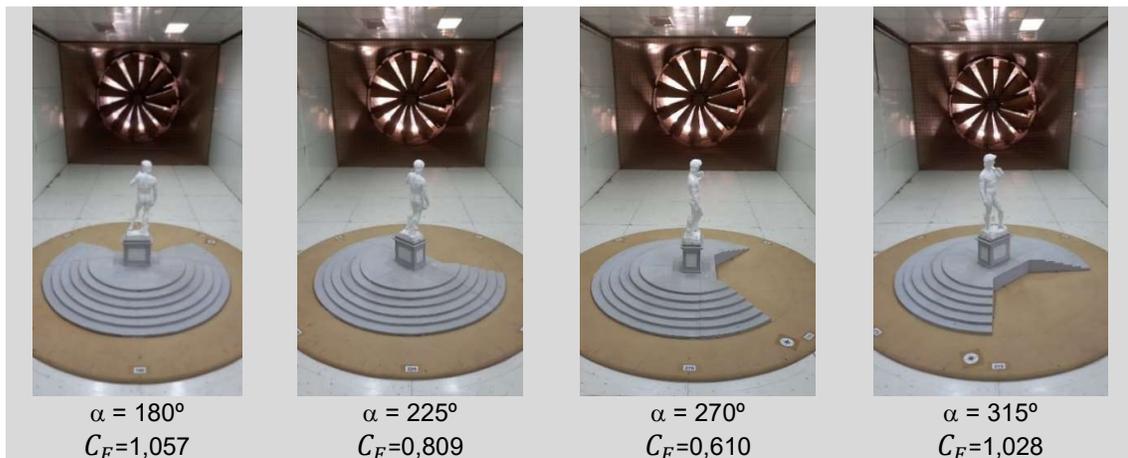


Figura 13. Coeficientes de fuerza para viento incidente $\alpha = 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ$ y 315°

Organiza:

Estructura resistente interna

Con el fin de proporcionar a la escultura la rigidez necesaria para soportar las cargas actuantes, se diseñó y calculó una estructura interna compuesta por tubos metálicos rectangulares, como se observa en la Figura 14. También se diseñó el pedestal de la escultura, constituido por perfiles de alma llena con cruces de San Andrés para disminuir las longitudes de pandeo (Figura 15).

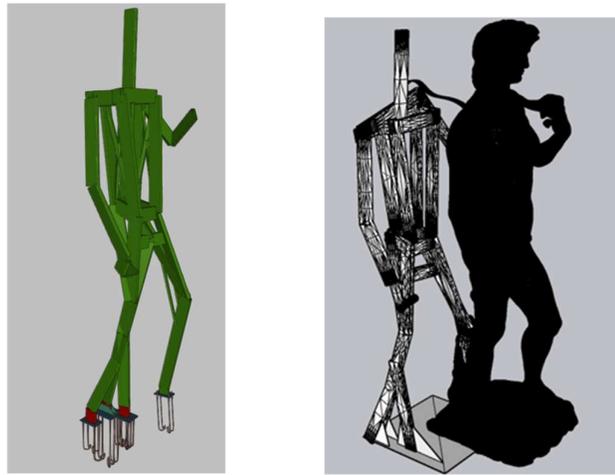


Figura 14. Estructura resistente propuesta, placas de anclaje y escultura.

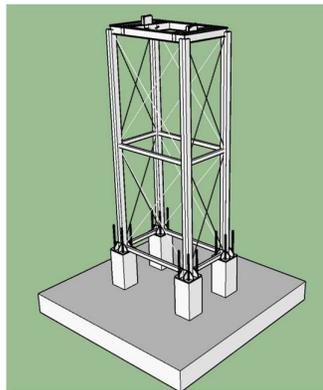


Figura 15. Pedestal de perfiles de alma llena.

Para tal fin se utilizaron las cargas de viento obtenidas en este trabajo, el coeficiente de presión máxima $C_F = 1,10$, así como las de peso propio de la escultura y de los elementos estructurales internos. Se utilizó el software de cálculo Cype 3D [9] para la obtención de las solicitaciones, deformaciones y la verificación de las secciones propuestas.

En las Figuras 16 y 17 se indican deformaciones obtenidas para el modelo para viento

Organiza:

lateral y viento frontal respectivamente. En la Figura 18 se indican las secciones adoptadas.

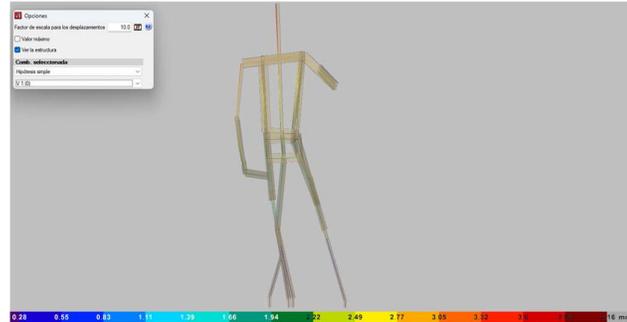


Figura 16. Deformaciones para viento lateral.

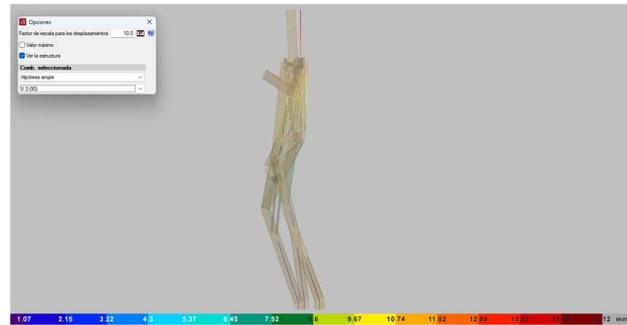


Figura 17. Deformaciones para viento frontal.

Color	Identificación	Perfil	Observaciones
Rojo	Piernas	Tubo 150x50x4,75mm	
Fucsia	Cintura	Tubo 150x50x2mm	
Amarillo	Cruces	Tubo 50x30x2mm	Doble refuerzo pierna
Verde	Brazos	Tubo 150x50x4,75mm	
Cian	Hombro	Tubo 150x50x2mm	
Gris	Refuerzo hombro	Tubo 150x50x4,75mm	Doble
Negro	Cuello	Tubo 150x50x4,75mm	
Azul	Torso	Tubo 150x50x2mm	

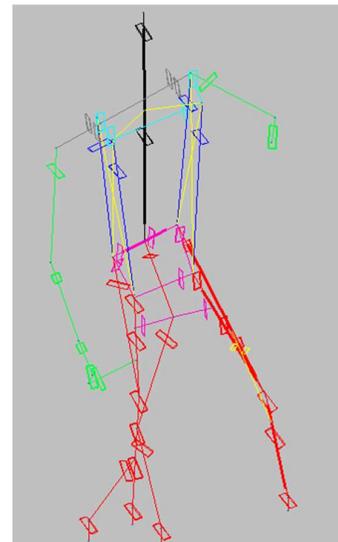


Figura 18. Identificación de secciones adoptadas.

Organiza:

Coeficientes de presión local

Los coeficientes de presión local se determinaron en 28 tomas de presión distribuidas sobre las superficies exteriores del modelo. Conforme a la literatura especializada, se dan las siguientes definiciones que son compatibles con las que indica el reglamento CIRSOC 102. El coeficiente de presión local exterior está definido por la expresión (2) 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). La altura donde se midió la presión dinámica de referencia es de 0,817 m, correspondiente a la altura de referencia, q_r es la presión dinámica medida a la altura de referencia, que en este ensayo se correspondió con la máxima altura de la escultura, T es el intervalo de tiempo de adquisición y \bar{C}_p es el coeficiente de presión local media.

$$\bar{C}_p = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T \Delta p(t) dt}{q_r} \quad (2)$$

Valores positivos de coeficientes de presión local corresponden a acciones dirigidas hacia la superficie. Coeficientes de presión local se determinaron a partir de 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.

En la Figura 19 se observa una vista frontal de la ubicación de las tomas de presión en la estructura circular y pedestal. En las Figuras 20 y 21 se aprecian los coeficientes de presión local máximos positivos y coeficientes de presión local negativos y las dimensiones del área de tributaria correspondiente, obtenidos para las ocho direcciones de viento incidente analizadas y la definición de las áreas tributarias en cada caso.

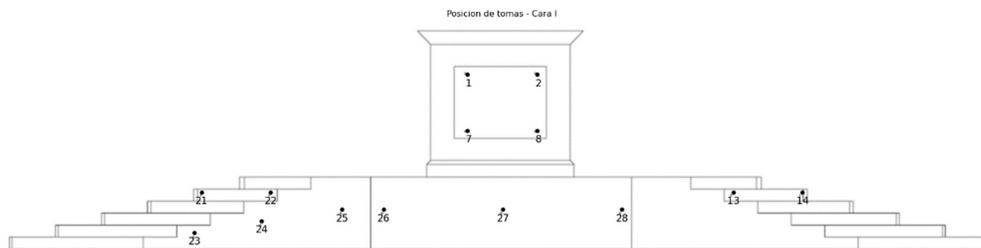


Figura 19. Vista frontal tomas de presión en escalinata y pedestal.

En la Figura 22 se observa una vista lateral derecha de la ubicación de las tomas de presión en la plataforma y pedestal. En las Figuras 23 y 24 se aprecian coeficientes de presión local máximos positivos y coeficientes de presión local negativos.

Organiza:

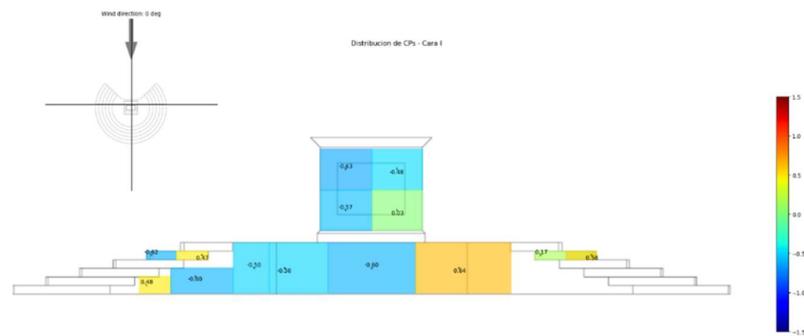


Figura 20. Coeficientes de presión, vista frontal $\alpha=0^\circ$.

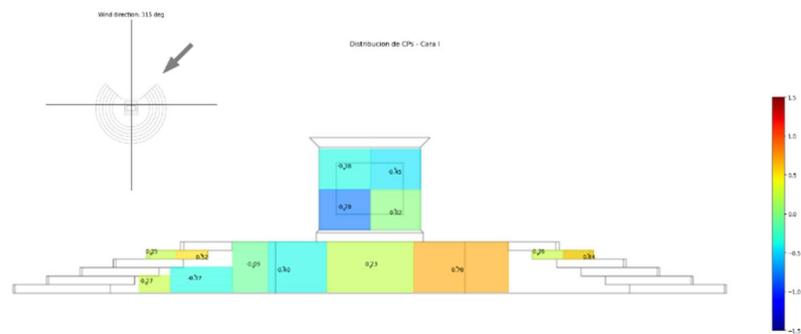


Figura 21. Coeficientes de presión, vista frontal $\alpha=315^\circ$.

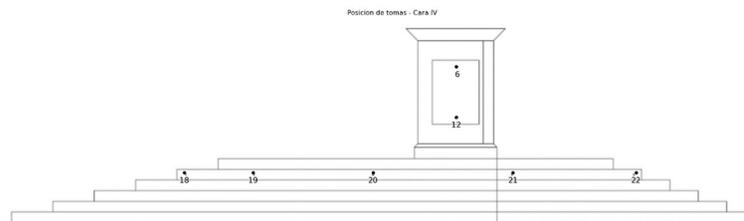


Figura 22. Vista lateral derecha de tomas de presión en escalinata y pedestal.

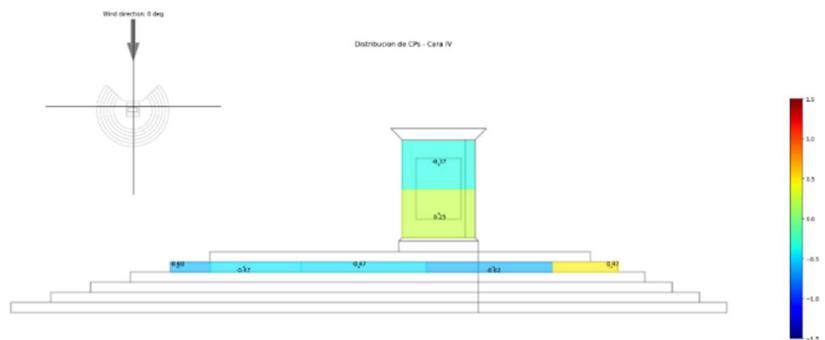


Figura 23. Coeficientes de presión, vista lateral derecha $\alpha=0^\circ$.

Organiza:

En la Figura 25 se observa una vista lateral izquierda de la ubicación de las tomas de presión en la plataforma y pedestal. En las Figuras 26 y 27 se aprecian los coeficientes de presión local máximos positivos y los coeficientes de presión local negativos.

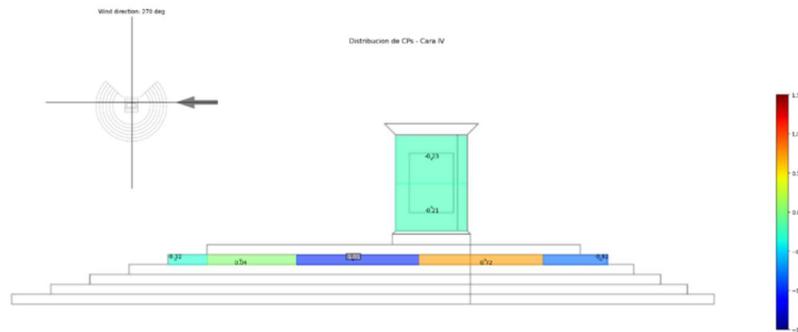


Figura 24. Coeficientes de presión, vista lateral derecha, $\alpha=270^\circ$.

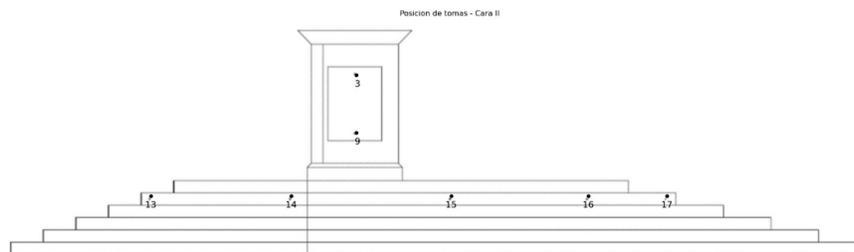


Figura 25. Vista lateral izquierda de tomas de presión en escalinata y pedestal.

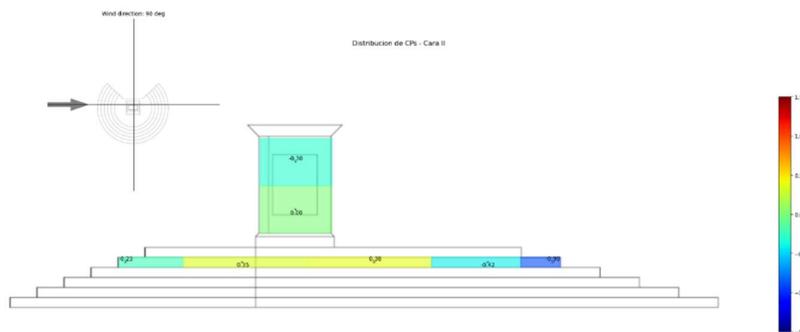


Figura 26. Coeficientes de presión, vista lateral izquierda, ángulo de incidencia del viento $\alpha=90^\circ$.

Organiza:

En la Figura 28 se observa una vista posterior de la ubicación de las tomas de presión en la plataforma y en el pedestal. En las Figuras 29 y 30 se aprecian coeficientes de presión local máximos positivos y coeficientes de presión local negativos y las dimensiones del área de tributación correspondiente.

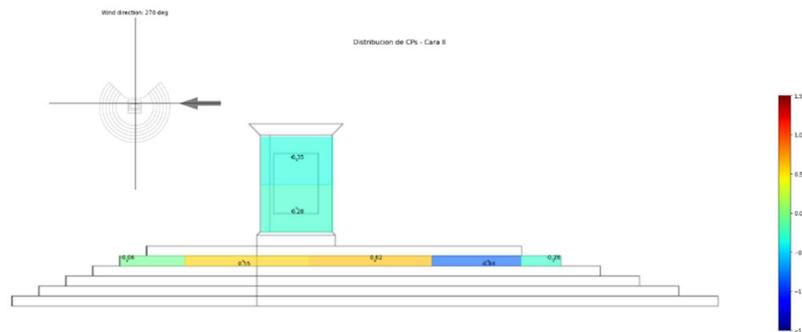


Figura 27. Coeficientes de presión, vista lateral izquierda $\alpha=270^\circ$.

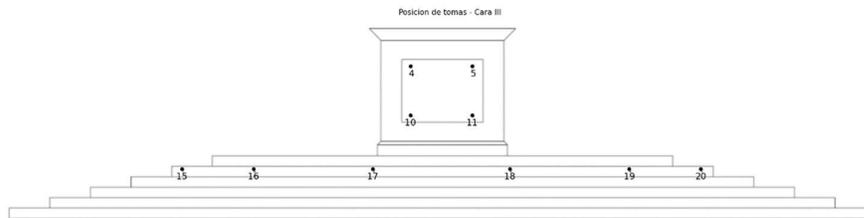


Figura 28. Vista posterior de tomas de presión en escalinata y pedestal.

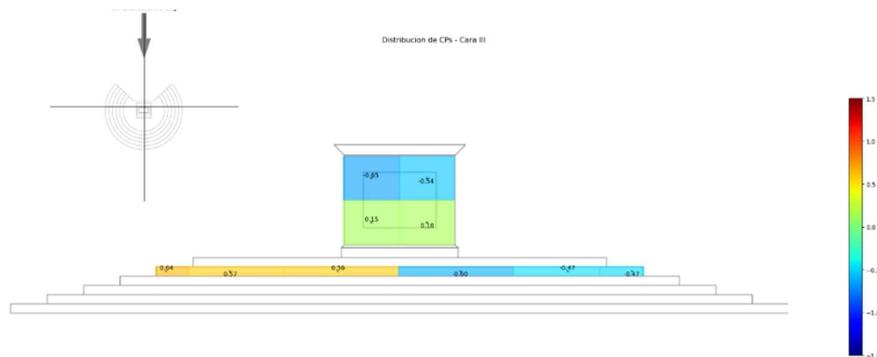


Figura 29. Coeficientes de presión, vista posterior, $\alpha=0^\circ$.

Organiza:

Consideraciones finales

Los coeficientes de presión obtenidos sobre la plataforma y el pedestal, Figura 20 y Figura 21, en el área frontal de la zona trunca, muestran un comportamiento particular: altas magnitudes de presiones de succión máxima, del orden de $-0,60$, así como presiones positivas del orden de los $+0,70$, en el área tributaria más cercana, con el viento incidiendo a 0 grado. De manera similar, el pedestal muestra altas presiones de succión, del orden de los $-0,60$ a $-0,78$, en la misma dirección de viento incidente. Las distribuciones de presión obtenidas no resultan coherentes con la incidencia relativa del viento, evidentemente por la presencia de remolinos generados en la base y los desprendimientos en los bordes cortantes de la plataforma y pedestal.

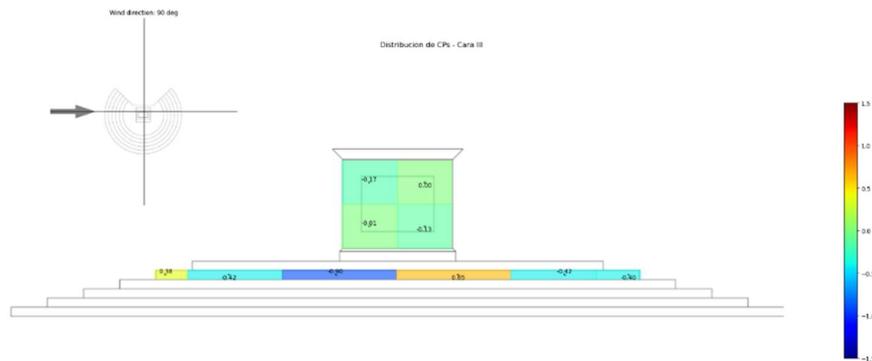


Figura 30. Coeficientes de presión, vista posterior $\alpha=90^\circ$.

En zonas lateral derecha y lateral izquierda de la plataforma y pedestal, Figura 22 y Figura 25, los coeficientes de presión muestran un comportamiento similar, para las direcciones de viento directamente incidente sobre la estructura. Magnitudes de presión positivas, $+0,70$ y valores negativos de succión, de $-0,90$, principalmente en las escalinatas de la plataforma. Estos valores de succión, se observan en zonas de desprendimientos de la plataforma, que, por su configuración de bordes suaves y redondeados, los efectos del número de Reynolds tienen preponderancia en la configuración del flujo.

Por último, en el caso de las tomas de presión en la zona posterior de la estructura con viento incidente a 0 grado (Figura 28), presenta coherencia en los coeficientes de presión, cierta uniformidad en la succión, con valores puntuales máximos de $-0,90$.

Con relación a las componentes de las cargas de viento globales, Figura 12, es posible establecer que el valor máximo de la fuerza, provocada por el viento se produce con la dirección de viento de 0 grados, sobre la escultura del David vista de frente, dirección de viento longitudinal y, coherentemente, a 180 grados. El máximo valor del coeficiente de fuerza con un valor de $C_F = 1,081$ y $1,057$, respectivamente. En ambas

Organiza:

direcciones, las fuerzas resultantes actúan en el centro geométrico, a una altura de 1,14 m de la base de la escultura (Figura 10). Es decir, los resultados muestran coherencia respecto al comportamiento que podría preverse.

Colaboradores: Dr. Ing. Mario de Bortoli, Dr. Ing. Adrián Wittwer y Beatriz Iturri.

Agradecimientos: A la Fundación Urunday y al personal Técnico del Laboratorio de Aerodinámica, Julián Ortiz y a Miguel Cabrera, personal de servicios generales, por su participación en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [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] CYPE 3D software <https://info.cype.com/es/software/cype-3d/>. Calculo estructural.

Organiza: