

Estudio de modificación en los efectos del viento en una torre con un recrecido superior

Marina HINOJOSA LUCENA

Ingeniera de Caminos, C. y P.
Oritia & Boreas
Ingeniera de proyecto / Project Engineer
hinojosalucena@oritaiyboreas.com

Christian MANS

PhD, Civil Engineering
Oritia & Boreas
COO
mans@oritaiyboreas.com

José María TERRÉS NÍCOLI

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.
Universidad de Granada / Oritia & Boreas
CEO
jterres@ugr.es

Juan Carlos ARROYO

Dr. Ingeniero de Caminos, C. y P.
CALTER INGENIERÍA
Ingeniero de proyecto / Project Engineer
jcarroyo@calter.es

RESUMEN

El estudio se centró en el análisis del clima de viento y el ensayo de un modelo a escala 1:300 de un edificio existente de 17 plantas de altura sobre el que se proyecta una remonta de 4 plantas. Se midió la presión en un total de 217 puntos en ensayos llevados a cabo en condiciones de flujo turbulento de capa límite atmosférico para 36 direcciones de viento con objeto de obtener las cargas estructurales debidas a la acción del viento para el diseño del edificio. La singularidad e interés del estudio se centra en la valoración de las cargas sobre la propia edificación existente por el proyecto de la remonta que modifica claramente las cargas en las últimas plantas.

ABSTRACT

The study was based on the analysis of the wind clima and the test of a 1:300 scale model of an existing 17-storey building on which a 4-storey build-up is planned. The pressure was measured in a total of 217 points in tests carried out under atmospheric boundary layer turbulent flow conditions for 36 wind directions in order to obtain the structural loads due to the wind action for the design of the building. Clear deviations from the anticipated loads on the existing building are observed when one considers the addition at the top.

PALABRAS CLAVE: Ensayo túnel de viento, modelo rígido, edificio de gran altura.

KEYWORDS: Wind tunnel test, rigid model, high-rise building.

1. Introducción

La torre de 97 m se ubica en el distrito de negocios y financiero de Madrid y se encuentra rodeada por edificación, de volumetría significativa en la proximidad. El edificio existente consta de 17 plantas de altura y sobre él que se proyecta una remonta de 4 plantas. La Figura 1 muestra una vista lateral y una vista en planta de la torre y las dimensiones principales del proyecto.

El estudio de los efectos del viento sobre la torre se ha desarrollado conforme al esquema de la Figura 2, que resume el proceso general para el estudio de los efectos del viento sobre una estructura. Las características de la zona combinadas con las propiedades estructurales resultan en los correspondientes efectos del viento [1].

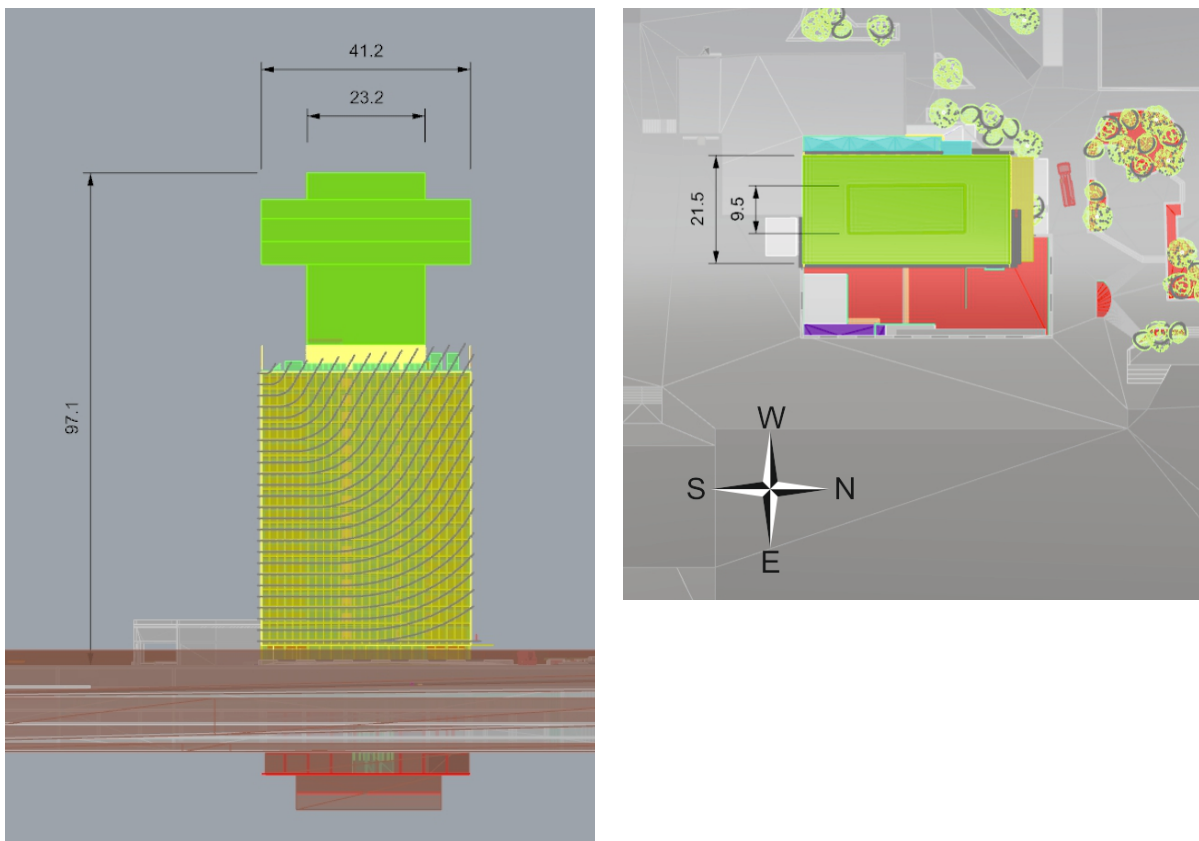


Figura 1. Vista en alzado desde la fachada este y planta del edificio (cotas en metros).

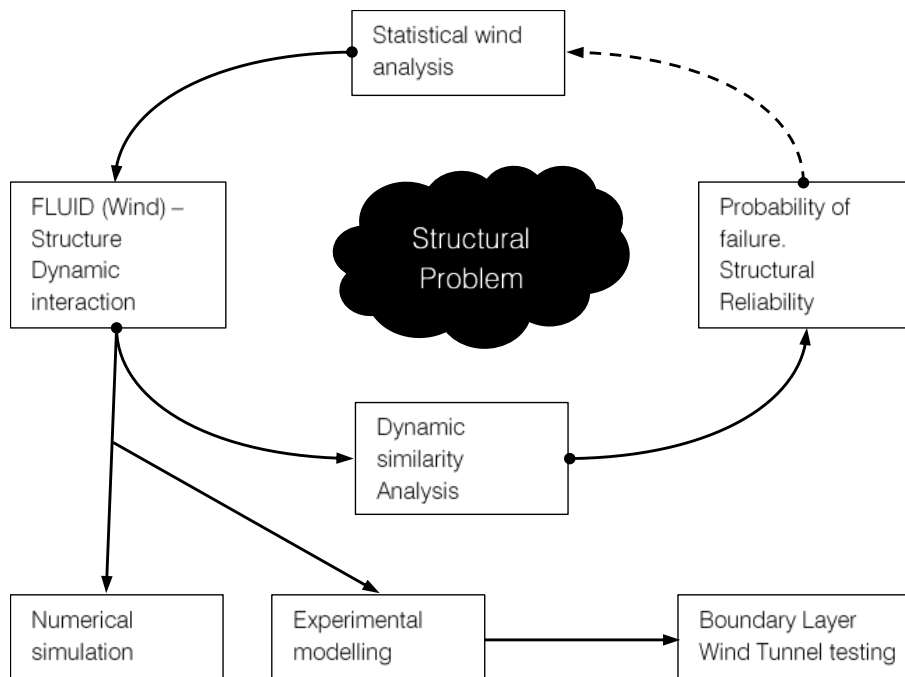


Figura 2. Estudio de los efectos del viento en Ingeniería Civil y Ambiental.

2. Clima de viento

El modelo de clima de viento para Madrid se desarrolló de acuerdo a registros históricos en colaboración con un proyecto previo [2]. La metodología usada para su desarrollo se detalla en [3].

Las características direccionales asociadas con el modelo climático de viento muestran que, para vientos fuertes (periodos de retorno más elevados), las direcciones del Noroeste son las más importantes.

3. Diseño y ensayo del modelo de presiones

3.1. Diseño del modelo

Se construyó un modelo rígido de la torre (modelo de presiones) a una escala de 1:300 mediante tecnología de prototipado rápido (depositado de fundido de policarbonato) y para reproducir todos los detalles aerodinámicamente significativos en un radio de 350m alrededor del edificio se desarrolló el modelo de proximidad.

El campo de presiones se capturó en 217 puntos de medida, resolución suficiente como para identificar cambios bruscos y picos de presión locales, así como para permitir la integración de las cargas estructurales a partir de la medida simultánea de las presiones en la envolvente de la torre. En la Figura 3 se observa el modelo rígido construido con sus correspondientes puntos de medida.

3.2. Simulación del viento

El ensayo se llevó a cabo en la sección de ensayo de alta velocidad (Sección A) del Túnel II del BLWT Laboratory, Western University. El largo de la sección de ensayo (39 m) permite la correcta simulación de las condiciones de flujo, su estructura espacial y la turbulencia esperadas en el sitio. El terreno se simuló con la condición de tipo suburbano.

Durante la realización del ensayo el modelo de presión y el modelo de proximidad se giran para simular las 36 direcciones de viento (rango completo de 360° en intervalos de 10°).

La Figura 4 presenta una fotografía del modelo rígido y del modelo de proximidad en el túnel de viento.

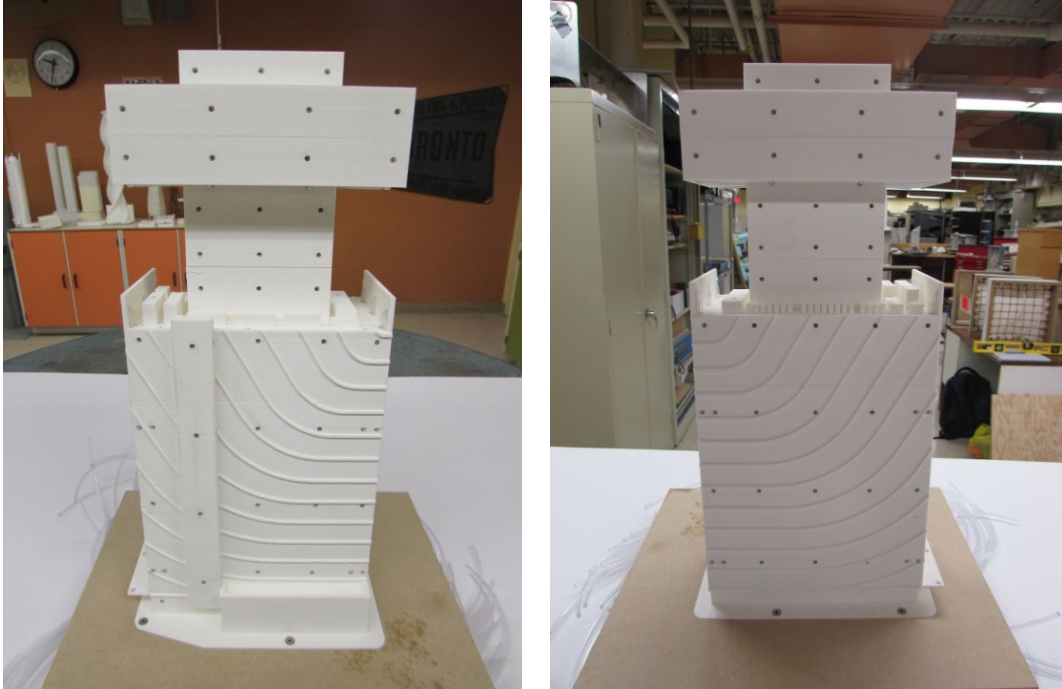


Figura 3. Modelo de presiones del edificio a escala 1:300.

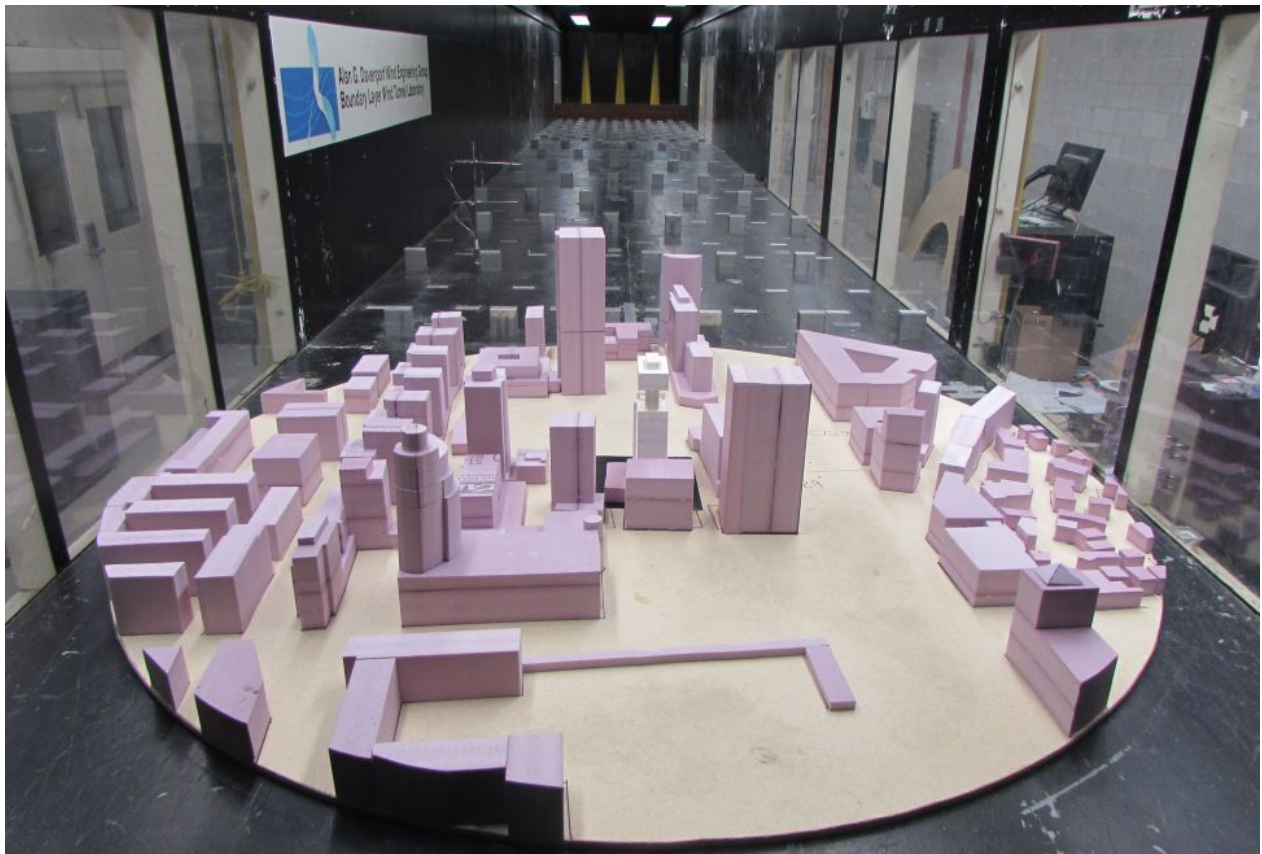


Figura 4. Modelo del edificio y de los modelos próximos en el túnel de viento.

4. Respuesta estructural

4.1. General

Se calculó la carga inducida por el viento y la respuesta correspondiente mediante la técnica de integración de presiones, en donde las mediciones en los puntos de presión se toman simultáneamente.

Las series temporales de presiones puntuales se utilizan para determinar las series temporales de las fuerzas locales correspondientes, asociando a cada punto un área tributaria. Para cada dirección de viento, se utilizan las series temporales de la fuerza local para determinar:

1. Las series temporales de las fuerzas aerodinámicas (esfuerzos cortantes y momentos en la base) integrando las series temporales de las fuerzas locales en la superficie completa del edificio.
2. Las series temporales de las fuerzas modales, integrando las series temporales de las fuerzas locales en la superficie completa del edificio con la aplicación de un factor asociado a las formas modales.

Las estadísticas de las fuerzas básicas y las fuerzas modales de la torre se evalúan a partir de las series temporales. Se determinaron las predicciones de las respuestas a escala real, así como la respuesta resonante del edificio mediante métodos de análisis de vibraciones aleatorias [1].

Todas las estimaciones proporcionadas no fueron mayoradas ni objeto de consideración de ningún factor o coeficiente de seguridad como los convencionales de las normativas técnicas de edificación.

4.2. Datos aerodinámicos

Se obtuvieron los coeficientes medios y rms de los esfuerzos cortantes y momentos en intervalos de 10° para el rango completo de 360°.

4.3. Predicciones estadísticas de las cargas estructurales y respuestas

A partir de las propiedades dinámicas de la torre, proporcionadas por el cliente, se determinaron las aceleraciones y velocidades de torsión, utilizando un amortiguamiento estructural del 1.5% del crítico, para los tres modos fundamentales de vibración. También se halló la carga estructural, empleando el mismo amortiguamiento estructural del 1.5% del crítico.

Se evaluaron las aceleraciones, velocidades de torsión y momentos mediante la metodología proporcionada en [1] esto es, la combinación de las medias, rms y espectros de las fuerzas modales y las propiedades dinámicas del edificio.

Las aceleraciones se determinaron a la altura de 58m sobre la cota del suelo. Las aceleraciones torsionales se expresaron como aceleraciones lineales a una distancia de 22m del centro de coordenadas, que corresponde a la mayor distancia del centro de coordenadas a la que una persona puede estar en pie. Las aceleraciones en el centro de coordenadas son la combinación de las aceleraciones en X e Y y las aceleraciones de la esquina son la combinación de las aceleraciones en X, Y y T.

Los momentos, las aceleraciones y la velocidad de torsión se integraron con el modelo climático para proporcionar predicciones de los momentos y las aceleraciones para distintos periodos de retorno. La Tabla 1 presenta los resultados del análisis.

Variable	Periodo de retorno de 10 años
Aceleración X (mili-g)	6
Aceleración Y (mili-g)	16
Aceleración Torsión (mili-g)	4
Aceleración del centroide (mili-g)	16
Aceleración de la esquina (mili-g)	16.5
Velocidad de torsión (mili-rads/seg)	0.9

Variable	En la base (21.3m por debajo del suelo)	A 58 m sobre el suelo
	Periodo de retorno 50 años	Periodo de retorno 50 años
Momento X (kN-m)	1.32E+05	1.60E+04
Momento Y (kN-m)	2.47E+05	3.01E+04
Momento de Torsión (kN-m)	9.64E+03	3.31E+03
Fuerza X (kN)	1.71E+03	7.35E+02
Fuerza Y (kN)	3.27E+03	1.43E+03

Tabla 1. Cargas estimadas y respuestas, $\zeta=1.5\%$.

4.4. Carga estática equivalente

Se hallaron las distribuciones de la carga estática equivalente para las direcciones X, Y y torsional, que reflejan las contribuciones combinadas de las cargas estática y dinámica en el edificio. La distribución de la carga estática equivalente se deriva para reproducir los momentos máximos y la torsión máxima en la base, que refleja las distribuciones verticales reales de las cargas estática y dinámica en el edificio.

La carga actual se compone de:

1. La carga media,
2. La carga dinámica debido a la excitación de fondo o cuasi-estática; y,
3. La carga dinámica inercial debido a oscilaciones resonantes.

La distribución de esta carga se determina a partir de la distribución de la fuerza media en la base de los ensayos del modelo de presión (componente 1), las propiedades de vibración del edificio (componente 3), y las contribuciones relativas de las componentes constantes y no-constantes en la base del edificio, a partir de las series históricas. Se supone que la distribución vertical de la componente dinámica de la carga (componente 2) es igual a la distribución de la carga media [1].

Las cargas se consideran aplicadas a la altura de cada planta, resumidas en la Tabla 2. La altura de cada planta queda definida a partir de la cota cero. Las cargas y las respuestas máximas para cada dirección principal (X, Y y torsional) se determinaron de forma independiente, es poco

probable que las cargas máximas se produzcan simultáneamente. La aplicación simultánea de las cargas máximas previstas en las tres direcciones principales es claramente conservadora.

Se hace notar que mediante esta metodología se distribuye la carga que resulta en la carga total contabilizando la amplificación dinámica resultante de la variabilidad del viento por la turbulencia atmosférica propia de la capa límite atmosférica en el sitio, la proximidad y la propia geometría del edificio. Se tiene, por tanto, en cuenta la respuesta dinámica mediante el correspondiente cálculo pero no la componente que pudiera derivarse de la interacción dinámica fluido estructura o fenómeno aeroelástico la cual, en el caso que nos ocupa, se anticipa despreciable. En caso de no ser así, este carácter se detectaría del análisis espectral del campo de presiones referido.

Las distribuciones variarán si hay modificaciones en las propiedades dinámicas de la torre supuestas en el análisis, aunque su forma normalizada varía lentamente. Por lo tanto, es posible utilizar estas formas en conjunción con las predicciones de las cargas en la base para diferentes propiedades estructurales del edificio.

Planta	Altura de la planta (m)	Dirección X (kN)	Dirección Y (kN)	Dirección Torsión (kN-m)
32	92.5	1.04E+02	1.77E+02	5.94E+02
31	88	1.35E+02	2.49E+02	6.50E+02
30	83.5	1.34E+02	2.49E+02	6.65E+02
29	79	1.10E+02	2.20E+02	4.95E+02
28	74.5	7.55E+01	1.67E+02	2.34E+02
27	70.5	4.81E+01	8.91E+01	1.78E+02
26	66.5	5.42E+01	1.12E+02	2.01E+02
25	62.5	7.39E+01	1.67E+02	2.94E+02
24	57.5	9.92E+01	9.37E+01	7.19E+01
23	54.2	9.25E+01	1.69E+02	2.54E+02
22	50.9	8.50E+01	1.56E+02	3.04E+02
21	47.6	8.21E+01	1.51E+02	3.31E+02
20	44.3	7.92E+01	1.46E+02	3.57E+02
19	41	7.60E+01	1.41E+02	3.81E+02
18	37.7	6.86E+01	1.28E+02	3.84E+02
17	34.4	6.14E+01	1.17E+02	3.87E+02
16	31.1	5.42E+01	1.05E+02	3.89E+02
15	27.8	4.70E+01	9.30E+01	3.91E+02
14	24.5	4.13E+01	8.42E+01	3.90E+02
13	21.2	3.84E+01	8.05E+01	3.83E+02

12	17.9	3.55E+01	7.70E+01	3.76E+02
11	14.6	3.26E+01	7.36E+01	3.69E+02
10	11.3	2.96E+01	7.01E+01	3.58E+02
9	8	2.17E+01	5.31E+01	3.15E+02
8	4.7	1.61E+01	4.23E+01	2.91E+02
7	-0.05	7.65E+00	2.35E+01	1.19E+02
6	-4.55	3.92E+00	1.21E+01	1.11E+02
5	-8.65	3.75E+00	1.16E+01	1.02E+02
4	-11.35	2.39E+00	7.53E+00	9.80E+01
3	-14.05	1.49E+00	4.90E+00	9.33E+01
2	-16.75	6.05E-01	2.47E+00	7.84E+01
1	-21.3			
Fuerza total en la base (kN)		1.71E+03	3.27E+03	
Momento total en la base (kN-m)		1.32E+05	2.47E+05	9.64E+03
Fuerza total a 58 m (kN)		7.35E+02	1.43E+03	
Momento total a 58 m (kN-m)		1.60E+04	3.01E+04	

Tabla 2. Carga estática equivalente para periodo de retorno de 50 años, $\zeta=1.5\%$.

5. Conclusiones

Los resultados aerodinámicos de coeficientes de esfuerzos reflejan la simetría esperada, aunque influyen notablemente las edificaciones existentes alrededor del edificio. Las cargas estáticas equivalentes distribuidas por planta permiten la adecuada distribución de la carga considerando la amplificación dinámica derivada de la acción del viento.

La aceleración estimada para 10 años de periodo de retorno y considerando un amortiguamiento del 1.5% del crítico es de 16 mili-g y conforme con los límites permisibles para hoteles y oficinas y ligeramente superior al límite permisible para edificio residencial (15 mili-g) [4]. Las aceleraciones determinadas en la esquina del edificio son las que se esperan más desfavorables, dada la mayor distancia desde el centro de coordenadas en la planta ocupada más elevada. Las aceleraciones disminuyen en las plantas más bajas. La carga en las últimas plantas de la edificación existente se ve claramente modificada por la estructura de la remonta.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de algunos miembros del personal técnico y de ingeniería del BLWTL, en especial a los Srs. Peter Case y Anthony Burggraaf y al University Machine Shop, que se encargó de la construcción del modelo.

Referencias

- [1] AG Davenport Wind Engineering Group, Wind Tunnel Testing: A General Outline, Boundary Layer Wind Tunnel Lab., The University of Western Ontario, London, On : Boundary Layer Wind Tunnel Lab., 2007.

- [2] G. Crooks, D. Surry, A Study of Wind Effects for the Puerta de Europa Buildings, Madrid, Spain, The University of Western Ontario, Engineering Science Research Report, BWLT-SS49-1989.
- [3] Norma española, Eurocódigo 1: Acciones de estructuras, Parte 1-4: Acciones generales, Acciones de viento, CEN, UNE-EN 1991-1-4, 2007.
- [4] AG. Davenport, N. Isyumov. The application of the boundary layer wind tunnel to the prediction of wind loading, International Research Seminar on Wind Effects on Buildings and Structures, Ottawa, Canada, Sept. 1967, University of Toronto Press, 1968.