

## ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE CARGAS DE VIENTO LOCALIZADAS EN UN EDIFICIO DE GRAN ALTURA.

### EXPERIMENTAL ANALYSIS OF LOCAL WIND LOADS ON A HIGH-RISE BUILDING.

Adrián R. Wittwer (1) (P); Acir M. Loredo-Souza (2); Mario G. Klaus Oliveira (3); Mario E. De Bortoli (4); Jorge O. Marighetti (5)

(1) Dr. Ing., Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia, Argentina.

(2) Dr. Ing., Laboratório de Aerodinâmica das Construções, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

(3) Dr. Ing., Vento-S Consultoria em Engenharia do Vento Ltda., Porto Alegre, Brasil.

(4) Dr. Ing., Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

(5) Mgter. Ing., Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.  
a\_wittwer@yahoo.es

#### Resumen

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en estudios realizados en el Túnel de Viento de la UNNE, sobre el modelo a escala 1/400 de un edificio de altura superior a 200 m, actualmente en construcción en Brasil. Se obtuvieron los valores medios, de pico máximo, mínimo y *rms* de los coeficientes de presión local. Una serie de consideraciones referidas a la aplicación del método de aproximación de valores extremos es realizada de forma complementaria.

Los ensayos fueron realizados utilizando dos simulaciones de viento natural de espesor total, con valores diferentes del exponente de la ley potencial de velocidades. En el modelo a escala del edificio, se reprodujeron todos los detalles de relevancia aerodinámica. Las presiones fluctuantes locales en 511 puntos de la torre fueron medidas para 24 direcciones de viento incidente, considerando el efecto de vecindad por el entorno edilicio y topográfico.

*Palabras-clave: coeficientes de carga local, túnel de viento, valores extremos.*

#### Abstract

In this work results of wind tunnel studies performed over a 1/400 scale model of a high-rise building are presented. This building is higher than 200 m and it is nowadays being built in Brazil. Local mean, maximum, minimum and *rms* pressure coefficients are obtained. Some considerations referred to the extreme values approximation are realized. A full depth natural wind simulation was employed in the experiments. Two different mean velocity profiles were used according to the incident wind direction. Aerodynamic details were reproduced in the building model. Fluctuating local pressures in 511 tower points for 24 wind directions were measured and the effects of vicinity were considered.

*Keywords: local load coefficients, wind tunnel, extreme values.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Hace sesenta años, Jensen (1954) realizó un trabajo que incluyó la comparación de mediciones de cargas de viento sobre una edificación en escala natural y sobre un modelo a escala reducida de la misma, ensayado en un túnel de viento. Estos ensayos a escala en el túnel de viento comprendían mediciones con el modelo sometido a viento uniforme y suave, como así también, mediciones considerando vientos de capa límite desarrollada sobre superficies de diferentes rugosidades. A partir de este trabajo y de otros posteriores publicados a principios de la década del '60, quedó establecido que la determinación de cargas de viento, considerando los criterios de semejanza entre modelo y prototipo, requiere la utilización de túneles de viento de capa límite cuyas características son diferentes de aquellos de uso aeronáutico. Para este tipo de túnel se han desarrollado técnicas de simulación de la capa límite atmosférica que permiten reproducir el perfil de velocidades medias y las características turbulentas del flujo atmosférico.

El Laboratorio de Aerodinámica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), que tiene como principal campo de aplicación el estudio del comportamiento de las estructuras dentro de la capa límite atmosférica, cuenta con un túnel de capa límite y el instrumental necesario para realizar ensayos estructurales con simulación de la capa límite atmosférica.

Estructuras edilicias de ciertas dimensiones que presentan características de construcción muy particulares no son específicamente contempladas en los Reglamentos de Viento y en estos casos es conveniente realizar ensayos en túnel de viento para la evaluación de las cargas aerodinámicas. Este trabajo presenta los resultados de los ensayos realizados para evaluar la acción del viento sobre un edificio, actualmente en construcción, que tiene una altura de aproximadamente 215 m. El estudio fue realizado en conjunto por la empresa Vento-S Consultoria em Engenharia do Vento Ltda., el Laboratório de Aerodinâmica das Construções de la UFRGS (Brasil) y el Laboratorio de Aerodinámica de la UNNE (Argentina), Además de la simulación del escurrimiento de capa límite atmosférica para el viento incidente, fue necesario considerar los efectos de la topografía circundante y del entorno urbano próximo, dada la relevancia aerodinámica de estos factores. Los resultados presentados se restringen a la acción estática del viento.

## 2. EQUIPAMIENTO Y TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Los ensayos fueron realizados sobre un modelo rígido a escala 1/400 en el túnel de viento "Jacek P. Gorecki" de la Facultad de Ingeniería de la UNNE. Se tuvieron en cuenta las condiciones reales de vecindad en torno a la estructura, las características medias y los parámetros de turbulencia del viento atmosférico correspondiente al terreno de emplazamiento de la estructura. 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 25 m/s.

Se midieron las presiones fluctuantes (instantáneas) en la superficie exterior del modelo a escala reducida por medio de 511 tomas de presión estática conectadas a un sistema SCANIVALVE. Posteriormente se determinaron coeficientes de presión local correspondientes a las tomas de presión. Los ensayos fueron realizados con viento incidiendo desde 0 a 360°, a intervalos de 15°, es decir, 24 direcciones de viento diferentes, totalizando 12.264 registros de presiones.

En una segunda etapa, se repitió la serie de ensayos considerando los efectos de vecindad de un futuro emprendimiento, que por su proximidad y dimensiones afectará las condiciones de carga para ciertas direcciones de viento.

### 2.1. Túnel de viento de la UNNE

El túnel "Jacek P. Gorecki" de la UNNE es un túnel de capa límite de circuito abierto, también denominado tipo Eiffel. La longitud total del túnel es de 39,65 m. La cámara de ensayos tiene 2,4 m de ancho  $\times$  1,8 m de alto  $\times$  22,8 m de largo (Figura 1). Posee dos mesas de ensayos giratorias de 1,2 m de diámetro; una a 3,8 m del inicio de la cámara (mesa I), y la otra a 19,4 m (mesa II). Un ventilador axial de 2,25 m de diámetro accionado por un motor trifásico inductivo de 92 kW produce una velocidad máxima en vacío de 25 m/s en la mesa II (Wittwer & Möller, 2000). La regulación de la velocidad se hace a través de un regulador de caudal mecánico.



Figura 1. Túnel de viento "Jacek P. Gorecki".

### 2.2. Simulación de la capa límite atmosférica

La técnica de simulación de la capa límite atmosférica implementada en el túnel de viento para estos ensayos se encuentra comprendida dentro de los métodos de rugosidad, barrera y dispositivo de mezcla (Cook, 1978), que permiten obtener escalas de simulación adecuadas para su utilización en el área estructural. La longitud de rugosidad superficial sobre el piso del túnel, durante los ensayos se modificó en función de la categoría de terreno a reproducir. A barlovento, se ubican cuatro generadores de vorticidad del tipo Counihan para generar un déficit inicial de cantidad de movimiento (Figura 2) y distribuirlo en altura para obtener características semejantes a las atmosféricas (Cook, 1982).

Conforme la clasificación que aparece en los reglamentos de viento, los flujos atmosféricos simulados corresponden a las categorías de mar abierto y terreno suburbano, en función de la longitud de rugosidad superficial a barlovento del modelo. El perfil de viento correspondiente, de acuerdo al tipo de terreno simulado, debe ser descrito en términos de alguna de las dos leyes de distribución de velocidades medias más usadas; la ley potencial o la ley logarítmica (Cook, 1977).

Las principales características de los dos tipos de escurrimiento incidente utilizados en estos ensayos (perfil de velocidades medias y perfil de intensidad turbulencia) son indicadas en la

Figura 3. El escurrimiento indicado como CL1 se aproxima al de una zona marítima ( $n = 0,09$ ), mientras que CL2 se puede asociar a una zona más próxima a la suburbana ( $n = 0,14$ ). Para las direcciones de viento incidiendo desde el mar se utilizó CL1, en tanto que para las restantes se utilizó CL2. Una discusión más detallada referida a las categorías de terreno puede encontrarse en el trabajo de Blessmann (1995).

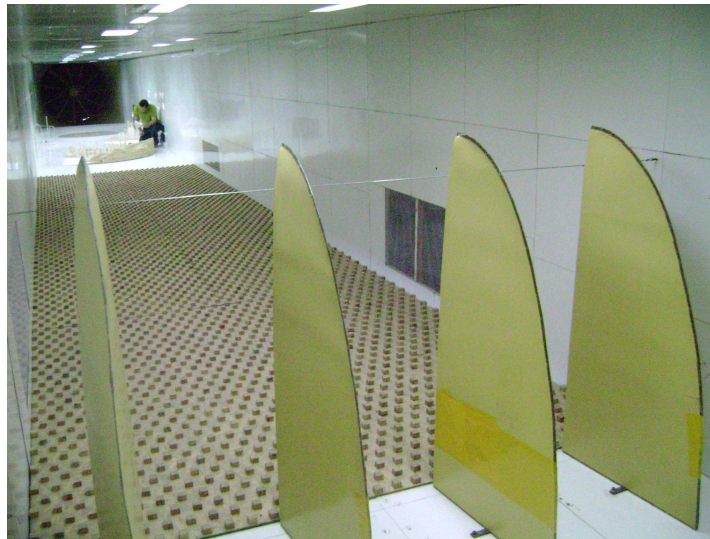


Figura 2. Dispositivos de simulación del viento incidente.

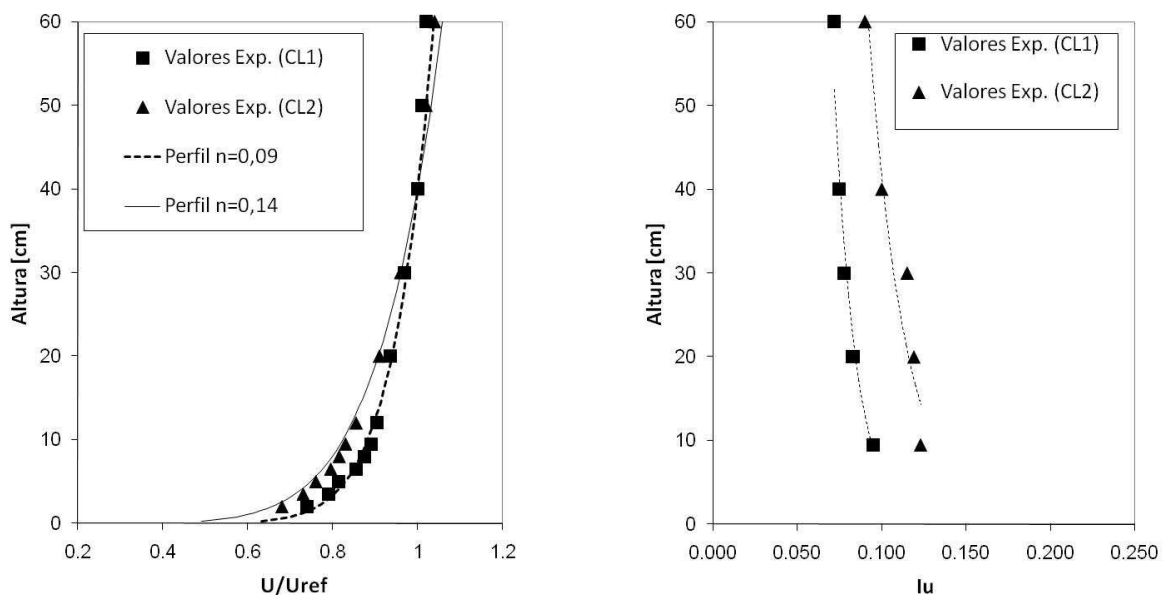


Figura 3. Perfiles de velocidad media e intensidad de turbulencia.

### 2.3. Descripción del modelo e instrumentación

Para que los coeficientes de presión obtenidos sobre el modelo guarden correspondencia con la estructura real deben respetarse las condiciones de semejanza. En lo que se refiere a un modelo rígido, debe mantener la semejanza geométrica con la estructura real, en este caso con

una escala geométrica de 1:400, reproduciendo los detalles de relevancia aerodinámica. El entorno urbano, incluyendo los edificios cercanos de tamaño aerodinámicamente relevante, así como los relieves topográficos que modifican las características del viento atmosférico fueron convenientemente reproducidos tal como se indica en las Figuras 4 y 5.

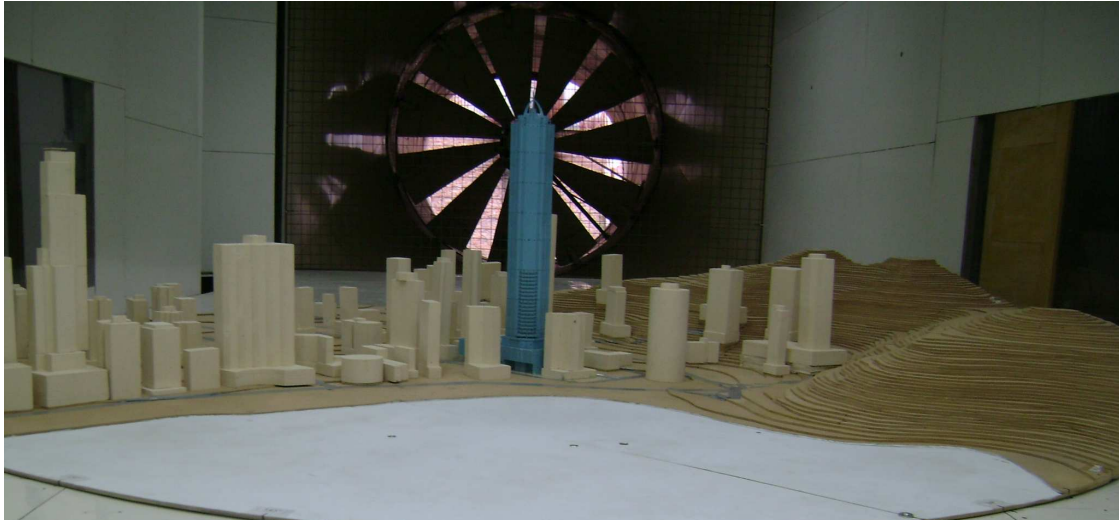


Figura 4. Modelo a escala del edificio incluyendo el entorno urbano y topográfico.

El modelo del edificio se ubicó en el centro de la mesa giratoria, en este caso constituida por una placa circular de 2,30 m. A partir de una posición de referencia, los ensayos se fueron realizando girando sucesivamente la mesa completa cada 15° para completar las 24 direcciones de viento incidente. Las tomas de presión exterior sobre las fachadas del edificio se ubicaron, en general, en sucesivas distribuciones perimetrales, cada una de ellas a una altura constante, y la numeración de las mismas se hizo desde abajo hacia arriba.



Figura 5. Detalles del modelo a escala del entorno urbano.

Para determinar las características de la simulación de la capa límite atmosférica en el túnel de viento se realizaron mediciones de las velocidades medias y fluctuaciones de velocidad.

Las velocidades medias se determinaron con tubos de Pitot-Prandtl y micromanómetro de Betz. Para el análisis de las velocidades fluctuantes se utilizó un anemómetro de hilo caliente Dantec 56C con una placa de adquisición y, mediante el procesamiento de datos, se obtuvieron los valores de intensidad de turbulencia.

Los registros de presiones fluctuantes correspondientes a las 511 tomas de presión ubicadas sobre la superficie del modelo de la torre fueron obtenidas mediante un sistema de medición simultánea Scanivalve Corp. Cada registro contiene 8192 valores por canal a una frecuencia de adquisición de 488,28 Hz, lo que establece una duración de 16,778 s. La presión dinámica de referencia  $q$  se obtuvo en forma simultánea a los registros de las presiones estáticas de las tomas conectando un tubo de Pitot a uno de los canales del sistema de medición.

### 3. COEFICIENTES DE CARGA

#### 3.1. Coeficientes de presión local

A partir de los registros temporales de las presiones de viento, fueron calculados los coeficientes de presión externa en las fachadas del modelo. El coeficiente de presión media se determina mediante,

$$\bar{c}_p = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt}{q} \quad (1)$$

el coeficiente del valor *rms* de presión,

$$\tilde{c}_p = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p(t) - \bar{p})^2 dt}}{q} \quad (2)$$

y los coeficientes de pico máximo y mínimo,

$$\hat{c}_p = \frac{p_{max}}{q} \quad (3)$$

$$\check{c}_p = \frac{p_{min}}{q} \quad (4)$$

siendo:

$p(t)$	presión instantánea (fluctuante) en la superficie del edificio, medida con respecto a la presión estática de referencia;
$\bar{p}$	valor medio de $p(t)$ para el tiempo de muestreo $T$ ;
$p_{max}$	valor máximo de $p(t)$ para el tiempo de muestreo $T$ ;
$p_{min}$	valor mínimo de $p(t)$ para el tiempo de muestreo $T$ ;
$t$	variable tiempo;
$T$	el tiempo de muestreo;

$q = \frac{1}{2} \rho \bar{V}^2$  presión dinámica de referencia;

$\rho$  densidad del aire;

$\bar{V}$  la velocidad media de referencia a una altura equivalente a 214 m, en escala real.

### 3.2. Resultados obtenidos en los ensayos

En las tablas 1, 2, 3 y 4 se indican los valores de los coeficientes de presión media, de pico máximo, de pico mínimo y de valor *rms* de la presión fluctuante, obtenidos en los ensayos para las 511 tomas de presión y las 24 direcciones de viento incidente. Por razones de espacio, las tablas fueron resumidas indicándose apenas los valores correspondientes a las primeras 7 y a las últimas 7 tomas de presión, y solamente 10 de las 24 direcciones de viento analizadas.

### 3.3. Aplicación de los resultados

Los coeficientes de presión medios calculados permiten determinar los coeficientes de fuerza exteriores ( $C$ ), aplicables a una superficie plana de área  $A$ , que se definen mediante:

$$C = F / (qA) \quad (5)$$

siendo  $F$  la fuerza resultante de las presiones externas sobre a superficie plana (es una fuerza perpendicular a esta superficie).

De acuerdo a (1):

$$F = \int_A \bar{p} \, dA = \int_A \bar{c}_p q \, dA \quad (6)$$

sustituyendo en la expresión (5):

$$C = \frac{1}{A} \int_A \bar{c}_p \, dA \quad (7)$$

Esta última expresión permite obtener  $C$  a partir de  $\bar{c}_p$  mediante integración numérica.

A partir de este razonamiento es posible calcular los coeficiente globales de fuerza  $C_x$  y  $C_y$  en las direcciones  $x$  e  $y$ , utilizando áreas de referencia proyectadas. De la misma forma, se pueden calcular los coeficientes de torsión  $C_t$ , aunque para adimensionalizar los momentos, además de  $q$ , se debe utilizar un volumen de referencia definido por tres longitudes de referencia. Para recomponer estos coeficientes adimensionales y calcular correctamente las fuerzas y momentos en la estructura real es necesario tener en cuenta las dimensiones de referencia utilizadas en la definición de los coeficientes.

La presión dinámica debe calcularse para la altura máxima del edificio, equivalente a la altura de referencia de 535 mm (altura máxima del modelo) utilizada en el túnel de viento durante los ensayos. Se utiliza la velocidad básica de viento para el lugar de emplazamiento del edificio de acuerdo con el mapa de vientos máximos de la norma NBR-6123(1988).

"Estructuras para el Desarrollo, la Integración Regional, y el Bienestar Social"

Tabla 1. Coeficientes de presión media

Toma	Dirección de viento incidente										
	0°	15°	30°	45°	60°	.....	285°	300°	315°	330°	345°
1	-0.14	-0.18	-0.22	-0.30	-0.38	.....	-0.44	-0.38	-0.25	-0.14	-0.21
2	-0.15	-0.14	-0.22	-0.32	-0.41	.....	-0.46	-0.38	-0.25	-0.13	-0.20
3	-0.15	-0.17	-0.17	-0.28	-0.34	.....	-0.48	-0.41	-0.27	-0.16	-0.14
4	-0.16	-0.15	-0.18	-0.26	-0.31	.....	-0.56	-0.45	-0.32	-0.17	-0.17
5	-0.18	-0.20	-0.21	-0.28	-0.33	.....	-0.66	-0.57	-0.38	-0.22	-0.20
6	-0.15	-0.18	-0.21	-0.28	-0.31	.....	-0.68	-0.51	-0.35	-0.17	-0.21
7	-0.15	-0.14	-0.17	-0.22	-0.23	.....	-0.38	-0.36	-0.24	-0.13	-0.14
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
505	-0.96	-0.92	-1.12	-0.97	-0.66	.....	0.33	0.35	0.26	0.06	-0.22
506	-1.16	-1.24	-1.41	-1.18	-0.67	.....	0.32	0.39	0.31	0.12	-0.29
507	-0.82	-1.16	-1.57	-1.54	-0.67	.....	-0.43	-0.23	-0.20	-0.36	-0.56
508	-0.46	-0.57	-1.02	-1.25	-0.70	.....	-0.89	-0.42	-0.09	-0.31	-0.50
509	0.44	0.35	-0.60	-1.34	-0.72	.....	-0.94	-0.75	-0.47	-0.24	0.31
510	-0.82	-0.78	-1.02	-1.03	-0.71	.....	-0.93	-0.91	-0.53	-0.12	-0.83
511	-0.83	-0.81	-1.05	-1.05	-0.72	.....	-0.96	-0.98	-0.53	-0.09	-1.11

Tabla 2. Coeficientes de presión de pico máximo

Toma	Dirección de viento incidente										
	0°	15°	30°	45°	60°	.....	285°	300°	315°	330°	345°
1	0.05	0.05	0.04	-0.14	-0.16	.....	-0.21	-0.16	-0.02	0.11	0.14
2	0.07	0.15	0.21	-0.13	-0.18	.....	-0.15	-0.11	0.04	0.17	0.30
3	0.06	0.21	0.39	-0.08	-0.08	.....	-0.23	-0.14	-0.02	0.09	0.20
4	0.03	0.09	0.17	-0.09	-0.03	.....	-0.34	-0.25	-0.11	0.06	0.09
5	0.06	0.02	0.07	-0.03	-0.07	.....	-0.33	-0.17	-0.06	0.13	0.10
6	0.11	0.03	0.09	-0.05	-0.01	.....	-0.39	-0.21	-0.07	0.15	0.10
7	0.06	0.08	0.08	-0.06	0.00	.....	-0.11	-0.16	0.01	0.13	0.18
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
505	-0.57	-0.40	-0.53	-0.47	-0.44	.....	0.61	0.66	0.56	0.36	-0.04
506	-0.69	-0.57	-0.69	-0.51	-0.41	.....	-0.15	0.12	0.09	-0.09	-0.30
507	-0.51	-0.53	-0.75	-0.48	-0.40	.....	-0.45	-0.02	0.19	-0.02	-0.20
508	-0.19	-0.21	-0.58	-0.57	-0.42	.....	-0.72	-0.50	-0.18	0.08	0.62
509	0.72	0.67	-0.08	-0.56	-0.47	.....	-0.72	-0.66	-0.01	0.12	-0.42
510	-0.54	-0.45	-0.59	-0.70	-0.44	.....	-0.73	-0.61	0.11	0.32	-0.68
511	-0.54	-0.47	-0.63	-0.70	-0.46	.....	1.19	1.14	1.17	1.15	1.19

"Estructuras para el Desarrollo, la Integración Regional, y el Bienestar Social"

**Tabla 3. Coeficientes de presión de pico mínimo**

Toma	Dirección de viento incidente										
	0°	15°	30°	45°	60°	.....	285°	300°	315°	330°	345°
1	-0.31	-0.50	-0.55	-0.47	-0.63	.....	-0.67	-0.59	-0.48	-0.39	-0.45
2	-0.34	-0.50	-0.59	-0.54	-0.72	.....	-0.74	-0.59	-0.56	-0.41	-0.45
3	-0.36	-0.54	-0.55	-0.51	-0.57	.....	-0.75	-0.62	-0.53	-0.39	-0.43
4	-0.34	-0.38	-0.41	-0.44	-0.55	.....	-0.84	-0.66	-0.57	-0.42	-0.36
5	-0.40	-0.47	-0.45	-0.46	-0.62	.....	-1.04	-0.93	-0.72	-0.53	-0.42
6	-0.36	-0.51	-0.44	-0.45	-0.59	.....	-1.10	-0.83	-0.71	-0.45	-0.41
7	-0.34	-0.41	-0.48	-0.47	-0.45	.....	-0.64	-0.64	-0.47	-0.36	-0.44
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
505	-1.44	-1.69	-1.83	-1.59	-0.96	.....	-0.09	-0.05	-0.10	-0.25	-0.51
506	-1.59	-2.10	-2.05	-1.98	-0.99	.....	-0.12	-0.03	-0.11	-0.25	-0.63
507	-1.23	-2.19	-2.35	-2.78	-0.95	.....	-0.81	-0.64	-0.60	-0.69	-0.86
508	-0.84	-1.13	-1.51	-1.95	-1.03	.....	-1.21	-0.89	-0.77	-0.80	-0.80
509	-0.03	-0.30	-1.08	-1.92	-1.08	.....	-1.17	-1.05	-0.81	-0.80	-0.18
510	-1.22	-1.28	-1.63	-1.40	-1.03	.....	-1.15	-1.19	-0.92	-0.50	-1.31
511	-1.26	-1.39	-1.73	-1.43	-1.02	.....	-1.22	-1.33	-1.01	-0.92	-1.53

**Tabla 4. Coeficientes de valor *rms* de presión instantánea**

Toma	Dirección de viento incidente										
	0°	15°	30°	45°	60°	.....	285°	300°	315°	330°	345°
1	0.05	0.07	0.07	0.05	0.05	.....	0.06	0.05	0.06	0.07	0.06
2	0.05	0.08	0.09	0.05	0.06	.....	0.08	0.07	0.07	0.07	0.09
3	0.05	0.07	0.08	0.05	0.06	.....	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07
4	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	.....	0.06	0.06	0.06	0.07	0.05
5	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	.....	0.10	0.09	0.09	0.09	0.06
6	0.05	0.06	0.06	0.05	0.06	.....	0.09	0.08	0.09	0.07	0.06
7	0.05	0.06	0.06	0.04	0.05	.....	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
505	0.12	0.20	0.18	0.16	0.06	.....	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06
506	0.11	0.23	0.18	0.20	0.07	.....	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07
507	0.08	0.24	0.19	0.36	0.07	.....	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08
508	0.07	0.09	0.11	0.18	0.07	.....	0.09	0.09	0.10	0.08	0.07
509	0.09	0.11	0.11	0.15	0.07	.....	0.06	0.07	0.07	0.09	0.09
510	0.09	0.11	0.12	0.10	0.07	.....	0.06	0.07	0.11	0.07	0.11
511	0.09	0.12	0.13	0.10	0.07	.....	0.06	0.07	0.13	0.12	0.10

#### 4. CONSIDERACIONES SOBRE EL CÁLCULO DE PRESIONES LOCALES

Las presiones fluctuantes que actúan en las fachadas de los edificios se deben a la turbulencia del viento incidente así como a la estela turbulenta generada por la misma edificación. Es por esto que los valores de pico asociados a periodos de una hora pueden alcanzar valores bastante mayores a las correspondientes presiones medias para ese mismo periodo. Existen diferentes procedimientos para determinar las presiones locales que se utilizarán en el diseño de las componentes de revestimiento de la estructura, pero en general combinan los coeficientes adimensionales obtenidos de ensayos en túnel de viento con datos estadísticos del viento en la zona de emplazamiento de la edificación.

Un método bastante usado consiste en definir un factor de pico, representativo de valores experimentales, que se multiplica por el valor *rms* de las fluctuaciones de presión en torno al valor medio y este producto se suma al valor de la presión media, generalmente referida al periodo de una hora, para obtener la presión local de diseño.

Como alternativa, se pueden usar directamente los coeficientes de pico obtenidos en túnel de viento (Tablas 2 y 3), aunque estos valores máximos y mínimos absolutos no responden a una evaluación estadística como en el caso de los coeficientes medios o *rms*.

Finalmente, siendo que en estos ensayos fueron medidos los valores de las presiones fluctuantes (instantáneos), es posible plantear el uso de una aproximación cuasi-estática. Este tipo de procedimiento implica definir coeficientes locales de presión asociados a diferentes tiempos de ráfaga.

A continuación, se analiza el comportamiento de las presiones fluctuantes para la toma de presión 510 con viento incidente correspondiente a 0°. En el gráfico de la izquierda de la Figura 6 se muestra el registro completo de presiones (8192 valores con una frecuencia de adquisición de 488,28 Hz, equivalente a 16,778 s de duración). A la derecha, se indican los primeros 0,35 s del registro y los promediados sucesivos correspondientes a tiempos equivalentes a 1, 4 y 16 s. Para llevar estos tiempos de ráfaga a los valores correspondientes al túnel de viento, se utilizó una escala de tiempo de 1/95. Claramente es posible apreciar cómo se atenúan los valores de pico desde los valores absolutos (presiones instantáneas) pasando por los promediados correspondientes a ráfagas de duración de 1 y 4 s, hasta llegar a ráfagas de 16 s, donde el promediado sucesivo se aproxima al valor de la presión media.

Esto permite decir que, definiendo una duración de la duración de ráfaga de interés, en función de las dimensiones del elemento, es posible aplicar un análisis estadístico sobre el registro completo para determinar las presiones actuantes. Procedimientos de este tipo se conocen como aproximaciones de valores extremos. El análisis podrá incluir además diferentes niveles o probabilidades de excedencia de acuerdo al elemento o componente a evaluar.

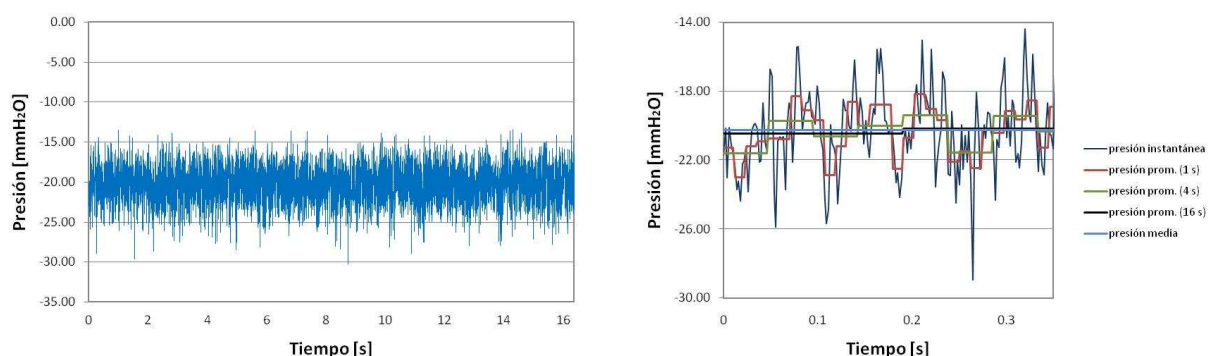


Figura 6. Análisis de presiones fluctuantes asociadas a ráfagas de 1, 4 y 16 s.

## 5. CONCLUSIONES

Fue realizada una descripción detallada del ensayo en un túnel de viento de capa límite de circuito abierto. El modelo utilizado incluyó, además del edificio propiamente dicho, la reproducción del entorno edilicio y de la topografía aerodinámicamente relevante. Los coeficientes de presión local permiten determinar las condiciones de carga de viento locales y globales.

Debido al lugar de emplazamiento, de acuerdo a la dirección del viento incidente considerada, se utilizaron dos simulaciones de capa límite diferentes, una que corresponde al escurrimiento sobre zona marítima y la otra a un terreno suburbano. La reproducción exacta del entorno urbano y topográfico es la encargada de completar la adecuación del viento incidente a las condiciones atmosféricas reales. Si bien el estudio comprende dos configuraciones de ensayo, en este trabajo no se incluyen los valores obtenidos con la presencia del modelo de un futuro emprendimiento que se ubicará muy próximo al edificio analizado.

Finalmente, siendo que las mediciones incluyen registros de presiones fluctuantes, se realizan una serie de consideraciones referidas a la aplicación de los resultados para el cálculo de cargas de viento locales usando la metodología de los valores extremos. Si bien este tipo de procedimiento no se aplica en forma sistemática, se muestra que los valores obtenidos pueden ser utilizados en aproximaciones de cálculo cuasi-estáticas. Estos métodos, que todavía no están incluidos en las normas de viento regionales, permitirán optimizar el cálculo de cargas localizadas cuando se dispone de registros temporales de presión local con las características de los obtenidos en este trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1988). NBR-6123 – Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro.
- Blessmann, J. (1995). O vento na engenharia estrutural. Porto Alegre. Ed. Universidade. UFRGS.
- Cook, N. J. (1977). 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.
- Cook, N. J. (1978). 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.
- Cook, N. J. (1982). Simulation techniques for short test-section wind tunnels: roughness, barrier and mixing-device methods. *Wind tunnel Modeling for Civil Engineering Applications*, Cambridge university press, pp. 126-136.
- Jensen, M. (1954). The model law for phenomena in natural wind. *Ingenioren (International edition)*, 2 (4).
- Wittwer, A. R., Möller, S. V. (2000). Characteristics of the low speed wind tunnel of the UNNE. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 84 (3), pp. 307-320.