

ESTUDIO DE CARGAS DE VIENTO DE LA NUEVA TERMINAL DE PASAJEROS DEL AEROPUERTO DE EZEIZA MEDIANTE ENSAYOS EN TÚNEL DE VIENTO

Adrián Roberto Wittwer

Dr. en Ingeniería, Ing. Mecánico. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina.

Mario Eduardo De Bortoli

Dr. en Ingeniería, Ing. Civil. Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina.

Bruno Natalini

Ph. D, Ing. Mecánico, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina.

Jorge Omar Marighetti

M. Sc., Ing. Mecánico, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina.

Mario Bruno Natalini

Dr., Ing. Civil, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, Argentina.

RESUMEN

Existen estructuras que por sus dimensiones, complejidad o importancia, justifican recurrir a ensayos en túnel de viento con el fin de optimizar el diseño estructural. En este trabajo se presentan resultados de un estudio en túnel de viento de la nueva terminal de pasajeros Ezeiza 2009, actualmente en construcción en esa localidad de la Provincia de Buenos Aires. El estudio comprendió la determinación de las acciones globales y locales de viento y se realizó en el Laboratorio de Aerodinámica, Facultad de Ingeniería, UNNE, utilizando un modelo rígido a escala 1:200, compatible con la escala del viento atmosférico simulado en el túnel de viento. Se tuvieron en cuenta las condiciones reales de vecindad en torno a la estructura y las características turbulentas del viento atmosférico de acuerdo al tipo de terreno. Además de los coeficientes medios de carga se obtuvieron coeficientes pico mediante análisis de valores extremos usando el método de Cook & Mayne. Se muestra como influye la aplicación de este tipo de análisis, en este caso particular, y como se podría optimizar el diseño de estructuras, en general, mediante este tipo de estudios.

ABSTRACT

There exist structures that due to its size, complexity or importance justify turning to wind tunnel tests in order to optimize the structural design. This paper presents results of a wind tunnel study of the new airport terminal Ezeiza 2009 for passengers, which is presently under construction in that village of Buenos Aires. The study comprised the determination of both local and global wind actions. It was carried out at the Laboratorio de Aerodinámica, Facultad de Ingeniería, UNNE, using

a stiff 1 : 200 scale model that was compatible with the geometrical scale of the wind simulated in the wind tunnel. The real neighbour conditions were taken into account as well as the turbulent features of the atmospheric wind in agreement with the type of terrain. In addition to the mean loads coefficients, peak coefficients were obtained by extreme value analysis using the Cook & Mayne method. It is shown, how the application of this kind of analysis influenced in this particular case and, in general terms, how the design of structures could be optimized by means of this kind of studies.

1. INTRODUCCION

La determinación de las cargas de viento de diseño sobre una estructura puede realizarse básicamente por dos procedimientos; la aplicación del reglamento de acciones de viento o estudios en túnel de viento. El primero es un procedimiento basado en hipótesis simplificativas, que para estructuras regulares y de formas geométricas simples, permite obtener la carga de diseño. Cuando la estructura posee características geométricas sensiblemente diferentes a las especificadas en el reglamento, o que por sus dimensiones justifiquen un mayor conocimiento de la distribución y valores de las cargas, es preciso recurrir a ensayos en túnel de viento.

El análisis en túnel de viento es una herramienta para optimizar el diseño estructural que permite evaluar con mayor precisión el valor y la distribución espacial de las cargas sobre las construcciones en estudio. De esta manera se consigue un mejor aprovechamiento de los materiales que se traduce en menores costos y mayor seguridad.

En este trabajo se presentan algunos de los resultados obtenidos a partir de un estudio en túnel de viento del Espigón Sur y el Espigón Central de la nueva terminal de pasajeros Ezeiza 2009 a construirse en la localidad de Ezeiza, Buenos Aires. Comprende la determinación de las acciones globales, para el cálculo de la estructura principal resistente, y de las acciones locales, para el cálculo de los elementos de cierre, mediante ensayos en túnel de viento sobre modelos rígidos a escala reducida. El estudio se hizo en el Laboratorio de Aerodinámica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE).

2. CONSIDERACIONES REGLAMENTARIAS

El análisis de las acciones del viento sobre las estructuras civiles está reglamentado en Argentina en el Reglamento Argentino de Acción del Viento Sobre las Construcciones, CIRSOC 102 ^[1]. Este reglamento establece la validez de dos tipos de procedimientos. El procedimiento más utilizado es el analítico y consiste en la estimación de las acciones a partir de tablas y ábacos contenidos en la propia norma para un conjunto de estructuras de formas regulares y dimensiones variables.

En el capítulo 1 del reglamento CIRSOC 102 se establecen los procedimientos y medios para obtener los valores de las acciones producidas por el viento sobre las construcciones y sus diferentes partes; y se mencionan entre ellos: “ensayos en túneles de viento o ensayos similares, conjuntamente con las prescripciones de este reglamento;” y “ensayos en túneles de viento o ensayos similares exclusivamente”. Se especifican también las mínimas condiciones que debe reunir un estudio en túnel de viento para que sus resultados sean considerados válidos: “a) el viento natural sea representado teniendo en cuenta la variación de la velocidad con la altura; b) los ensayos sobre formas curvas contemplen el número de Reynolds; c) los ensayos para determinar cargas y presiones fluctuantes contemplen adicionalmente la escala e intensidad de la componente longitudinal de la turbulencia; d) los ensayos para determinar la respuesta dinámica de una estructura, además de los requisitos anteriores, contemplen la simulación de masas, longitudes, rigidez y amortiguamiento.”

Actualmente se acepta que los coeficientes medios de carga, tal como son utilizados por el reglamento CIRSOC 102, representan aceptablemente las cargas globales sobre los sistemas resistentes principales. Esta forma de evaluar las cargas

se conoce en la bibliografía especializada como modelo de valoración cuasi-estático. En este modelo, se considera que las fluctuaciones de carga son causadas únicamente por las ráfagas del viento incidente. Sin embargo, en zonas a sotavento y en zonas de desprendimiento de la capa límite, las fluctuaciones de carga son causadas en parte por las ráfagas del viento incidente y, además, por la turbulencia generada por la misma estructura. Esto hace que, en esos casos, el modelo Cuasi-estático no sea el más adecuado para estimar las cargas; y por lo tanto, sea conveniente aplicar alguno de los modelos de valoración ideal de cargas, entre los que se encuentra el análisis de valores extremos.

3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Los ensayos se realizaron sobre un modelo rígido a escala 1:200, compatible con la escala del viento atmosférico simulado en el túnel de viento. 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 los edificios.

La definición de la escala de la maqueta requiere alcanzar un equilibrio entre el tamaño de la cámara de ensayos, la escala de simulación del viento atmosférico, y el nivel de detalle que se quiere alcanzar. Cuanto más grande la maqueta, es más cómodo para instrumentarla, admite mayor cantidad de tomas de presión y permite reproducir más detalles. Dadas las grandes dimensiones de los edificios que conforman la Terminal de Ezeiza y su entorno y a fin de no reducir la escala por debajo de 1:200, las mediciones de coeficientes medios se hicieron en tres etapas. En la primera etapa se colocó el modelo del espigón sur, del cual se instrumentó el ala sur, la pasarela doble y los puentes triples números 13 y 15, y se midieron cargas para 7 direcciones de viento. En la segunda y tercera etapa se quitó la pasarela doble y se agregó el espigón central; se instrumentó el ala nordeste del espigón sur y el espigón central y se midieron cargas para 9 direcciones de viento (más detalles en sección 3d). En total se hicieron 1344 mediciones de coeficientes medios de presión.

Finalmente, luego de analizar las presiones máximas y mínimas en todas las tomas y todas las direcciones de viento, se eligieron 10 puntos donde se producían altas succiones en zonas de desprendimiento de capa límite y se determinaron coeficientes pico mediante análisis de valores extremos ^[2]. Para ello, en cada punto se tomaron 16 series de valores de presión con una frecuencia de adquisición de 300 Hz, siendo la escala de tiempo de 1:100. Para determinar cada coeficiente pico, fue necesario obtener una muestra de 28800 valores de presión.

4. EQUIPAMIENTO EXPERIMENTAL

El túnel de viento “Jacek P. Gorecki” de la UNNE es un túnel de capa límite de circuito abierto. La longitud total del túnel es de 39,65 m. La cámara de ensayos tiene 2,4 m de ancho x 1,8 m de alto x 22,8 m de largo. 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. La regulación de la velocidad se hace a través de un regulador

de caudal mecánico. En la figura 1 se puede apreciar una fotografía exterior del mismo. Más detalles se pueden encontrar en el trabajo de Wittwer & Möller ^[3].



Fig. 1: Túnel de viento “Jacek P. Gorecki” de la UNNE.

La técnica de simulación de la capa límite atmosférica implementada, se encuentra comprendida dentro de los métodos de rugosidad, barrera y dispositivo de mezcla ^[4], y permitió obtener escalas de simulación convenientes para su utilización en el área estructural. Se colocaron 12,1 m de rugosidad superficial sobre el piso del túnel, y a barlovento de esta rugosidad se ubicaron dos agujas truncadas del tipo de Irwin ^[5] para producir un déficit inicial de cantidad de movimiento (Fig. 2) con el fin de obtener una mayor escala de simulación, y a la vez distribuir en altura el déficit de cantidad de movimiento introducido, para obtener características semejantes a las atmosféricas. Entre la rugosidad superficial y la mesa de ensayos II se dejaron 5 m de piso liso.



Fig. 2: Equipamiento de simulación de viento natural

El conjunto de simuladores fue dimensionado de acuerdo al tipo de terreno en el cual se encuentra el aeropuerto. Este terreno corresponde a la categoría de exposición II conforme a la clasificación del reglamento CIRSOC 102, y está definida como: “Zonas llanas, poco onduladas con obstrucciones dispersas, tales como cercas, árboles o construcciones muy aisladas con alturas entre 1,5 y 10 m”. El factor de escala del modelo fue determinado siguiendo el procedimiento propuesto por Cook ^[6]. Una discusión más detallada de esta simulación puede ser encontrada en la referencia ^[7].

Las mediciones de presión media se hicieron con un multimanómetro de alcohol de 84 canales, conectado a las tomas de presión del modelo (Fig. 3). Para cada dirección de viento, se tomaron fotografías digitales de los tubos y se leyeron las alturas con un programa de procesamiento de imágenes. La presión dinámica de referencia, q_z , se midió a la altura equivalente a 16,1 m en escala real (altura del alero de lado aire de los espigones) con un tubo de Pitot-Prandtl conectado en paralelo a un micromanómetro de Betz y al multimanómetro, en forma simultánea a las mediciones de presión sobre los edificios. La presión estática de referencia se obtuvo de la toma de presión estática del mismo tubo. El tubo de Pitot-Prandtl se colocó delante del modelo desplazado lateralmente, para evitar interferencias con el modelo.

Para determinar los coeficientes pico, se tomaron en cada punto seleccionado 16 muestras equivalentes a 10 minutos cada una en escala real, con una frecuencia de muestreo de 300 Hz. Los registros se hicieron con un transductor de presión Micro Switch Honeywell 163 PC y una llave secuencial Scanivalve 48 D9-1/2. Las tomas de presión se conectaron al transductor, via llave secuencial, con mangueras de PVC de 1.5 mm de diámetro interno y 0.5 m de longitud. La señal del transductor se digitalizó con una placa conversora A/D y las series numéricas obtenidas se grabaron en una PC. La señal de presiones fue filtrada a 100 Hz, con un acondicionador de señales Stanford 50.

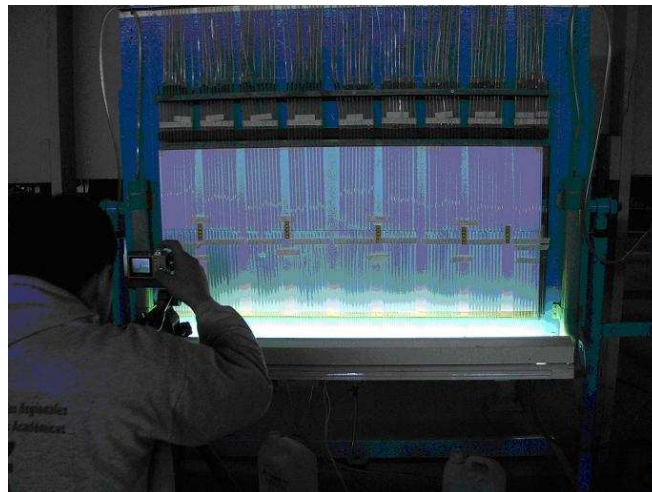


Fig. 3: Multimanómetro

El modelo completo incluyó los edificios Espigón Sur, Espigón Central, Hall Sur, Hall Norte, Terminal B, Edificio AA2000 y Hotel. Los ensayos se hicieron en cuatro etapas de acuerdo a la siguiente secuencia:

1ª. Etapa: se colocó en la cámara de ensayos el Espigón Sur (Fig. 4). Se conectaron 84 tomas de presión distribuidas en el ala sur del espigón, la pasarela doble, y los puentes triples 13 y 15. Se midieron las presiones para las direcciones de viento de 0, 45, 90, 135, 180, 240 y 315 grados. La Fig. 5 ilustra las direcciones de viento respecto a los edificios. Los ensayos de 180 y 240 grados se hicieron con los edificios Terminal B, Edificio A2000 y Hotel posicionados a barlovento.

2ª. Etapa: se ensayó el conjunto Espigón Sur – Espigón Central, sin pasarela doble, con Hall Sur (Fig. 6). Estaba instrumentada el ala NE del espigón sur y el espigón central. Se ensayaron direcciones de 0, 45, 90, 120, 180, 240 y 300 grados. Los

ensayos de 180 y 240 se hicieron con los edificios Terminal B, Edificio A2000 y Hotel posicionados a barlovento.

3ª. Etapa: se ensayó el conjunto Espigón Sur – Espigón Central, sin pasarela doble, Hall Sur, Estuche, Hall Norte. Estaba instrumentada el ala NE del espigón sur y el espigón central. Se ensayaron direcciones de 195 y 210 grados (Fig. 7).

4ª. Etapa: se reinstaló en la cámara de ensayos la maqueta del Espigón Sur y se conectaron a un transductor de presión, vía una válvula secuencial Scanivalve, las diez tomas de presión que de acuerdo a los resultados anteriores mostraron ser críticas. Se procedió entonces a la adquisición de datos para el análisis de valores extremos.

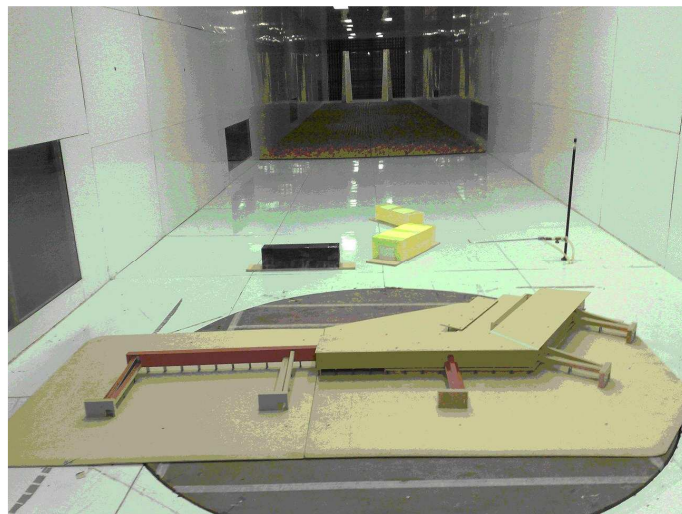


Fig. 4: Maqueta en la cámara de ensayos en la primera etapa del estudio

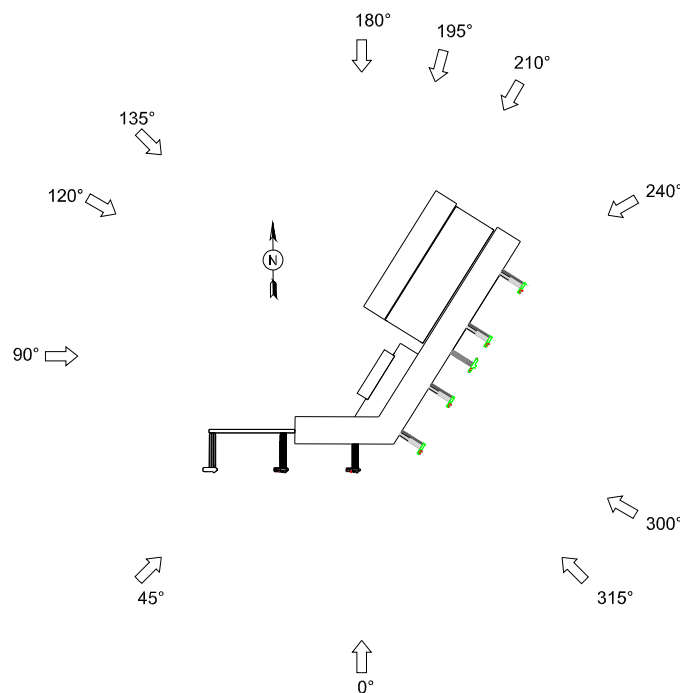


Fig. 5: Direcciones de viento ensayadas



Fig. 6: Maqueta en la cámara de ensayos en la segunda etapa del estudio



Fig. 7: Maqueta en la cámara de ensayos en la tercera etapa del estudio

5. RESULTADOS DE CARGAS MEDIAS PARA EL CÁLCULO DEL SISTEMA PRINCIPAL RESISTENTE

Las figuras 8 a 15 muestran los resultados de las tres primeras etapas del ensayo, de forma parcial, ya que solo se incluyen los estados de carga más representativos. A los fines de facilitar el uso de esta información, los edificios han sido divididos en zonas sobre las cuales actúa una presión predominante. En general, los números asignados a cada zona son coeficientes de presión externa, excepto en las zonas correspondientes a los aleros, marquesinas y paredes que no dan al interior de los edificios, en cuyo caso representan coeficientes de presión neta, que fueron obtenidos por mediciones en ambas caras de la superficie. Los signos de los coeficientes siguen la convención del reglamento CIRSOC 102 que es usada en la mayoría de los códigos de viento; valores positivos indican una acción resultante dirigida hacia la superficie. Por ejemplo, en el caso de los techos de los

espigones, un coeficiente con signo negativo debe interpretarse como una acción resultante hacia arriba.

Para poder aplicar estos resultados al cálculo de la estructura, debe formularse alguna hipótesis sobre el valor de la presión interna. Considerando que los edificios son completamente cerrados, de acuerdo a Yeatts & Mehta [8] y Yeatts et al. [9], los límites posibles del coeficiente de presión interna son -0,18 y +0,18. Por lo tanto, a los coeficientes de presión externa debe restársele, con el signo que corresponde, el coeficiente de presión interna para obtener el coeficiente de presión neta. Al considerar cada uno de los valores límites del coeficiente de presión interna, para cada situación (Figs. 8 a 15), se obtienen dos estados de carga. Cada uno de estos dos estados puede aparecer cuando el viento sopla en la dirección indicada en cada caso, pero son mutuamente excluyentes entre sí y con cualquier otro estado obtenido de las figuras 8 a 15, por lo que nunca deben considerarse actuando simultáneamente.

Finalmente, para traducir estos resultados a presiones, debe multiplicarse el coeficiente de presión neta por la presión dinámica de cálculo (q_z de acuerdo a la nomenclatura del CIRSOC 102 [1]), considerando la altura de referencia de 16,1 m y un terreno de rugosidad de tipo II.

Las figuras 8 y 9 corresponden a los puentes triples nº 13 y nº 15, con viento incidiendo en dirección 0° (los puentes triples están dibujados en proyección ISO E). La figura 10 muestra los resultados de la pasarela doble en dirección 0°. En estas figuras y las que le siguen, se abandonó la proyección ISO E y se representan las paredes rebatidas en un plano horizontal, conforme al uso corriente en la bibliografía de aerodinámica de estructuras.

En la Fig. 11 se indican los coeficientes obtenidos sobre el ala sur del Espigón Sur, con viento incidente de 0°. Las Figuras 12 y 13 muestran los valores sobre ala NE del Espigón Sur, con viento incidiendo en las direcciones de 0° y 300°, respectivamente. Finalmente, en las Figuras 14 y 15, se indican los resultados correspondientes al Espigón Central, con viento incidente a 0° y 300°.

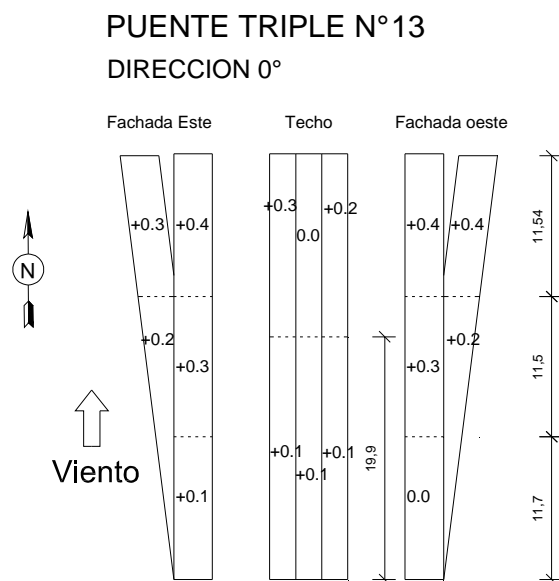


Fig. 8: Coeficientes de presión externa sobre puente triple nº 13 con viento incidente de 0°

PUENTE TRIPLE N° 15

DIRECCION 0°

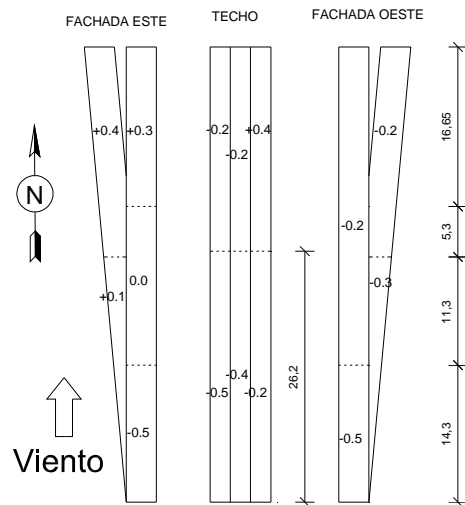


Fig. 9: Coeficientes de presión externa sobre puente triple n° 15 con viento incidente de 0°

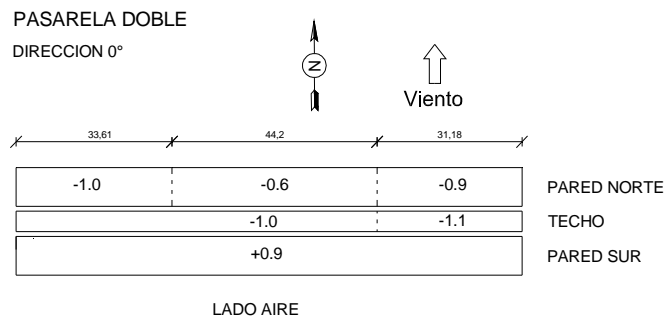


Fig. 10: Coeficientes de presión externa sobre pasarela doble con viento incidente de 0°

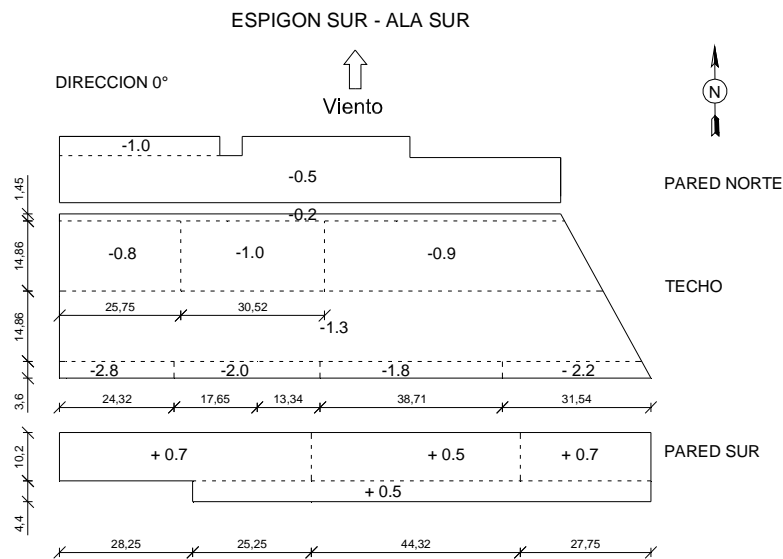


Fig. 11: Coeficientes de presión sobre ala sur del Espigón Sur, con viento incidente de 0°

ESPIGÓN SUR ALA NORDESTE

DIRECCIÓN 0°

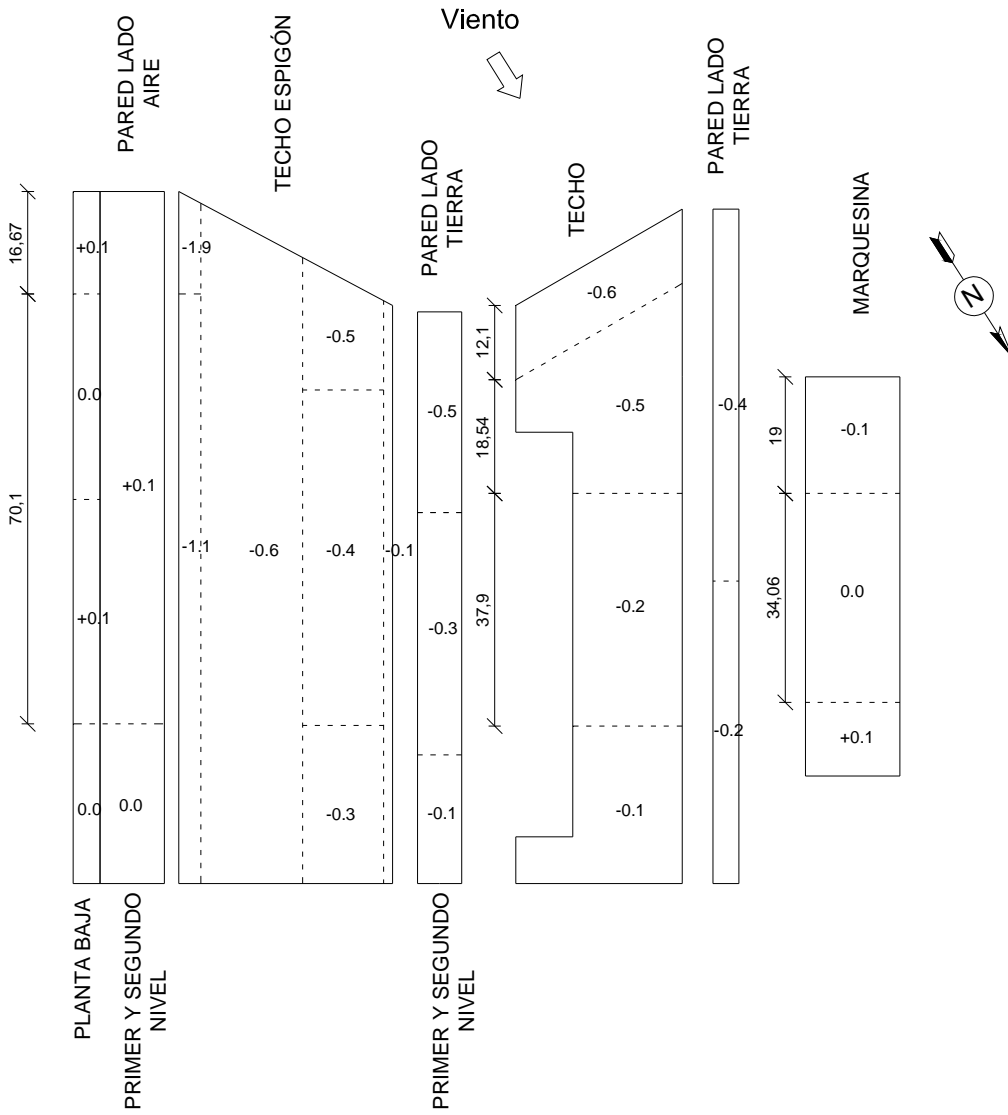


Fig. 12: Coeficientes de presión sobre ala NE del Espigón Sur, con viento incidente de 0°

ESPIGÓN SUR ALA NORDESTE

DIRECCIÓN 300°

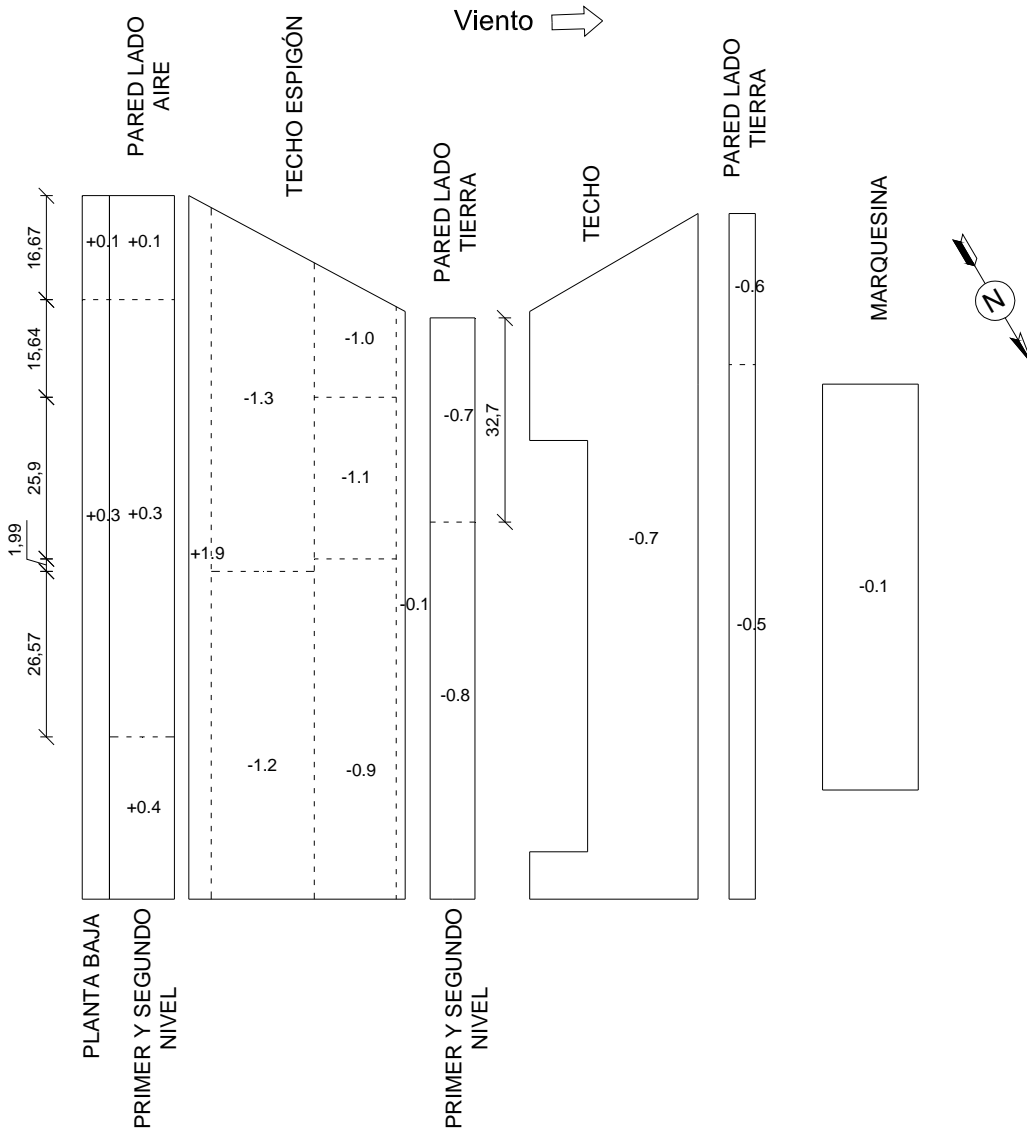


Fig. 13: Coeficientes de presión sobre ala NE del Espigón Sur, con viento incidente de 300°

ESPIGÓN CENTRAL

DIRECCIÓN 0°

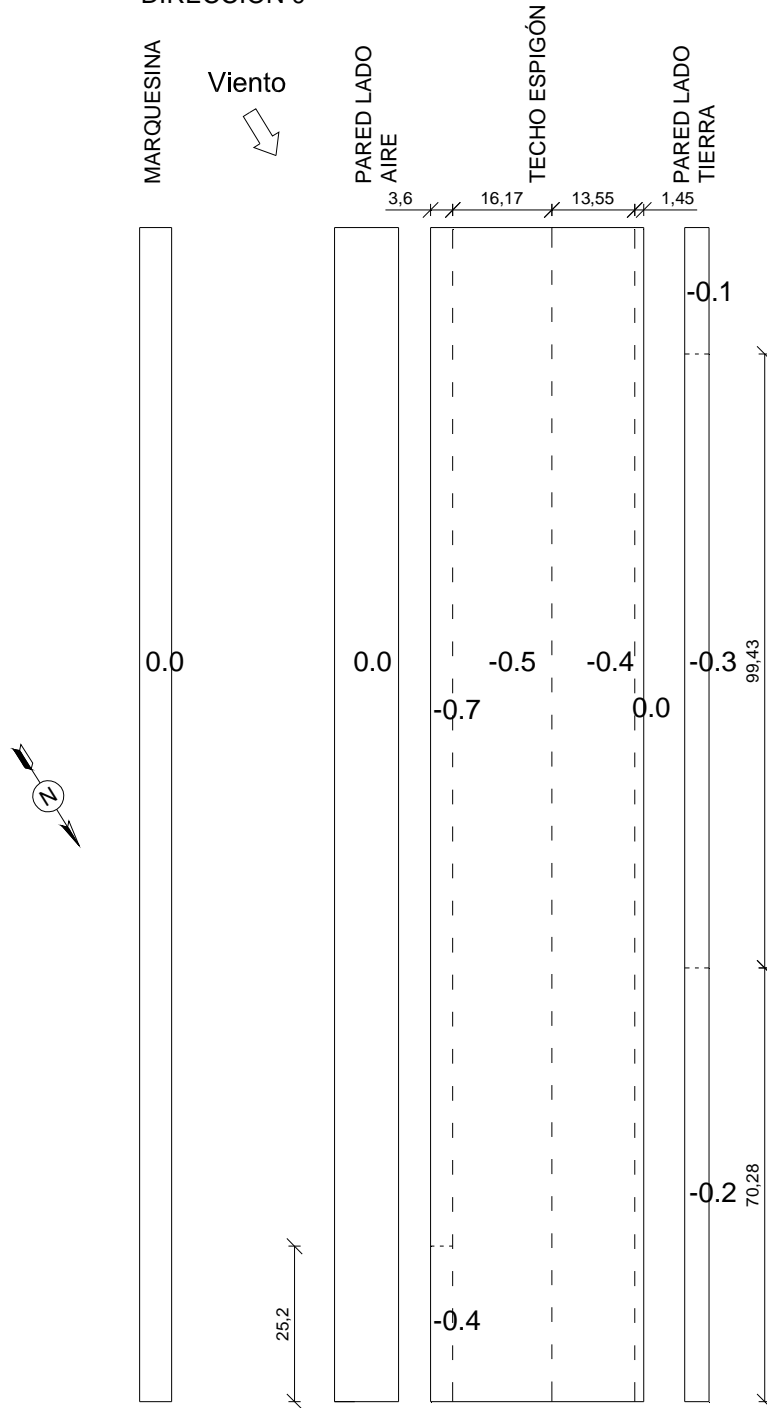


Fig. 14: Coeficientes de presión sobre el Espigón Central, con viento incidente de 0°

ESPIGÓN CENTRAL

DIRECCIÓN 300°

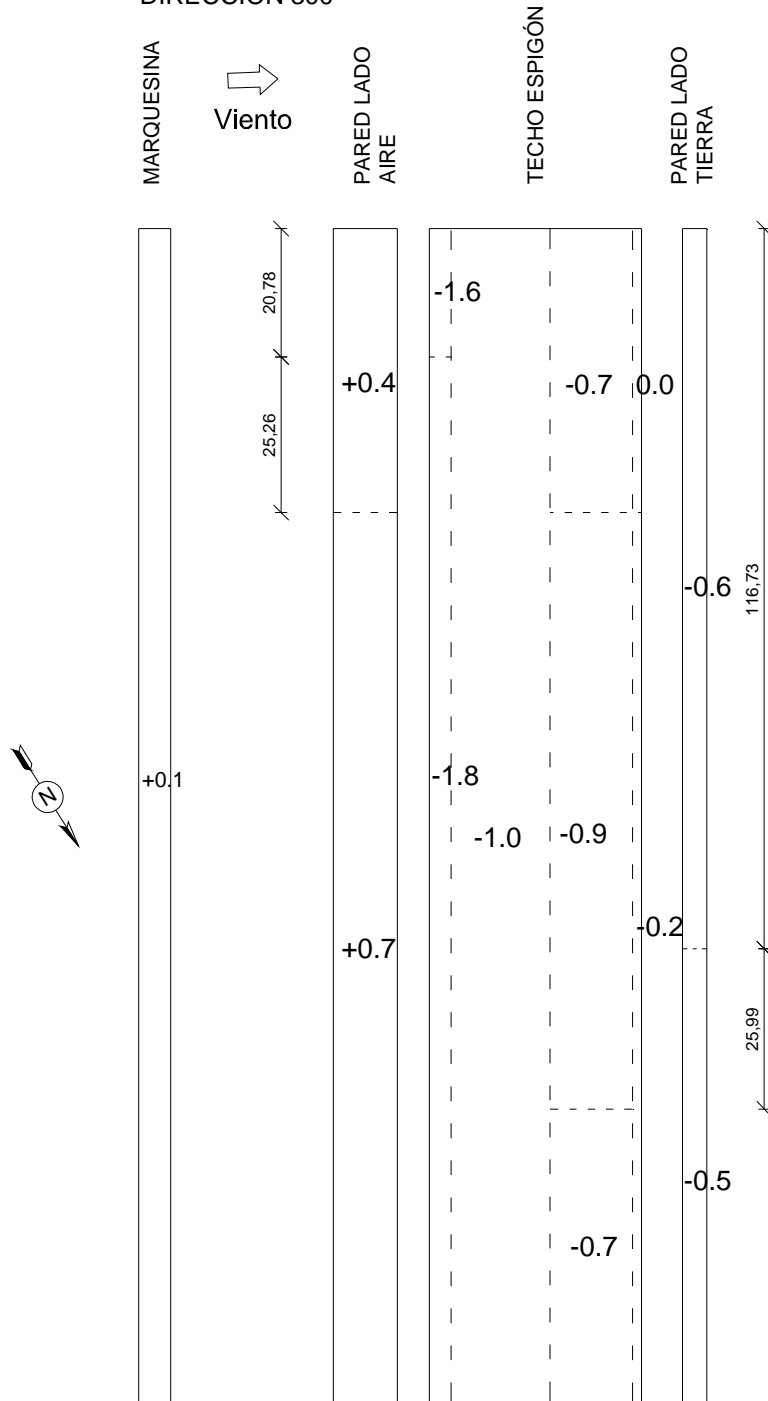


Fig. 15: Coeficientes de presión sobre el Espigón Central, con viento incidente de 300°

6. RESULTADOS DE CARGAS LOCALES PARA EL CÁLCULO DE ELEMENTOS DE CIERRE

Las figuras 16 a 23 presentan, de forma parcial, los valores de coeficientes de presión externa a tener en cuenta para dimensionar los elementos de cierre, tales como chapas, vidrios o puertas. Estos valores son coeficientes de presión máximos y mínimos de 1 segundo de duración. Las figuras combinan dos modelos de valoración: el modelo de valoración cuasi-estático en el dominio del tiempo y el modelo de valoración pseudo-estático.

El modelo de valoración cuasi-estático es el más usado por los reglamento de acción del viento sobre las estructuras. Se basa en suponer que las fluctuaciones de presión son causadas por las ráfagas de viento, es decir, que existe una correlación exacta entre velocidades de viento incidente y presiones. Este modelo representa aceptablemente las cargas globales (se lo usó en la sección 4 de este informe) y las cargas locales en zonas de flujo no desprendido, especialmente a barlovento. Es un modelo robusto y muy económico, puesto que sólo requiere conocer las medias temporales de los coeficientes de carga. Al aplicar este modelo se valora por un lado la influencia de la forma de la estructura, como si fuera una variable independiente, y por otro lado la influencia del factor macrometeorológico junto a la rugosidad del terreno, como si fueran variables acopladas.

El modelo de valoración pseudo-estático, es un modelo de valoración comprendido dentro de los llamados "ideales". Los modelos de valoración ideales valoran por un lado la influencia del factor macrometeorológico como si fuera una variable independiente, y por otro lado la influencia de la rugosidad del terreno y la forma de la estructura como si fueran variables acopladas; situación que se ajusta al fenómeno real. Los métodos ideales requieren determinar coeficientes de picos de carga, máximos y mínimos con cierta probabilidad de excedencia, lo que los hace más costosos. Se puede usar una variedad de métodos ideales para llegar a los coeficientes pico. En este trabajo se usó el método de Cook-Mayne simplificado ^[10], el que a su vez requiere conocer los parámetros de la distribución de valores extremos de la carga, lo que se hizo mediante análisis de valores extremos.

Para obtener los valores de carga a partir de las figuras de esta sección se debe proceder de manera semejante a como se hizo en la sección anterior, excepto en los aleros. En las figuras 8 a 15, en los aleros se especificó el coeficiente de presión neta que resulta de considerar la resultante de las presiones medidas en las caras externas superior e inferior de los aleros. Esto se hizo así dado que desde el punto de vista de la estructura, es esta acción resultante la que actuará sobre ella. En cambio en las figuras 16 a 23 de esta sección, se especifican por separado los coeficientes de presión externa en las caras superior e inferior de los aleros, dado que la acción sobre las chapas que forman los aleros, resulta de considerar el respectivo coeficiente de presión externa y el coeficiente de presión interna, por lo que se tendrá que las chapas tienen distintas solicitaciones ya sean que estén en la parte superior o inferior de cada alero.

En las figuras correspondientes a máximos, algunas zonas no indican ningún valor de coeficiente, sino una doble X. Esto significa que en estas zonas los coeficientes máximos son negativos para cualquier dirección de viento.

PUENTE TRIPLE N°15

MINIMOS

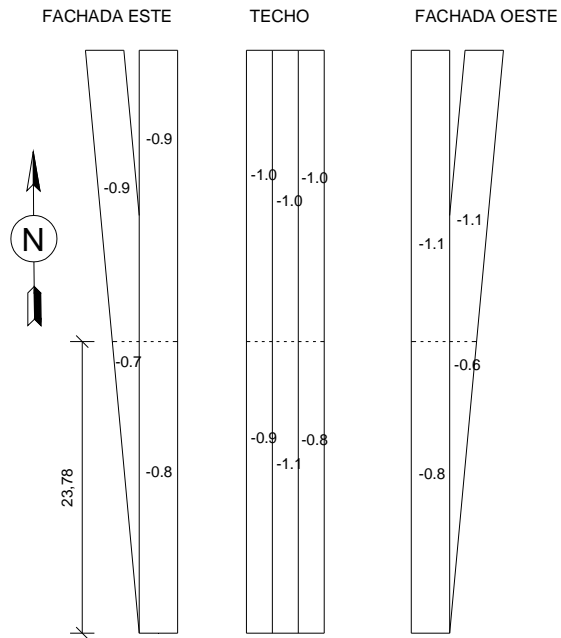


Fig. 16: Coeficientes locales de presión externa mínimos sobre puente triple nº 15

MAXIMOS

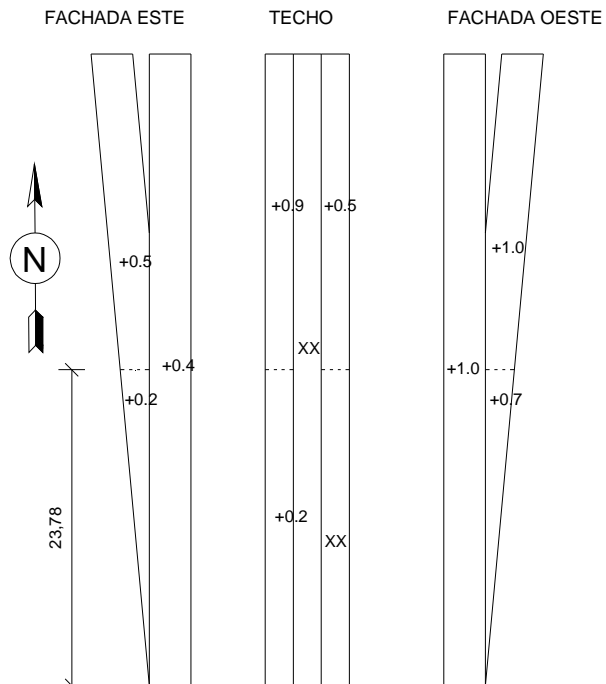


Fig. 17: Coeficientes locales de presión externa máximos sobre puente triple nº 15

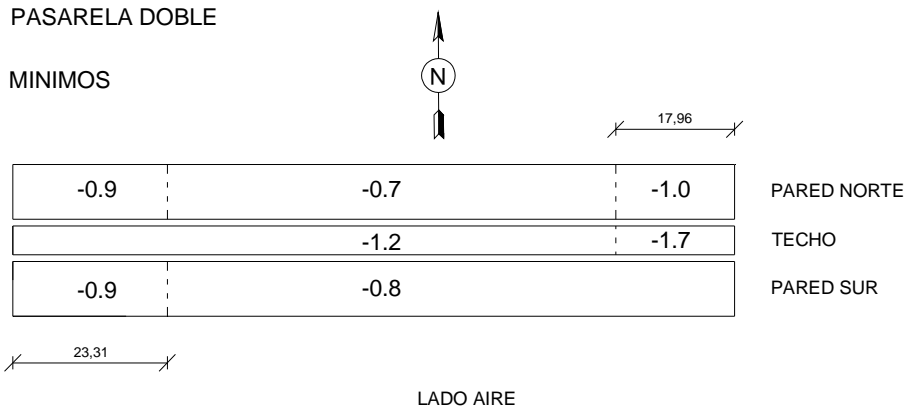


Fig. 18: Coeficientes locales de presión externa mínimos sobre pasarela doble

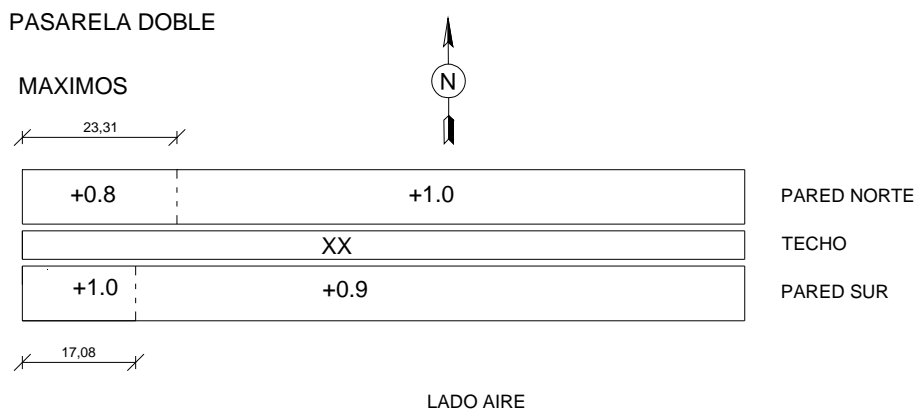


Fig. 19: Coeficientes locales de presión externa máximos sobre pasarela doble

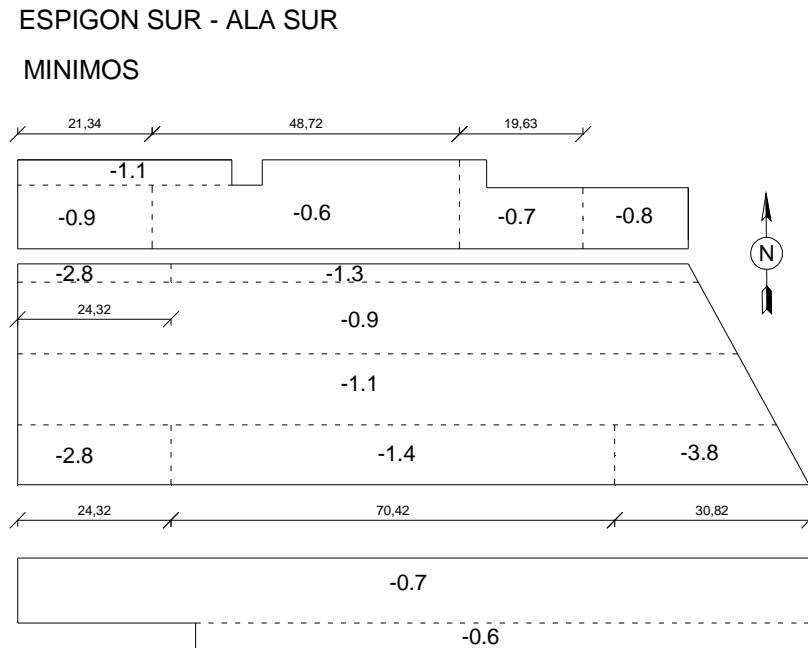


Fig. 20: Coeficientes locales de presión externa mínimos en ala sur del Espigón Sur

EPIGON SUR - ALA SUR
MAXIMOS

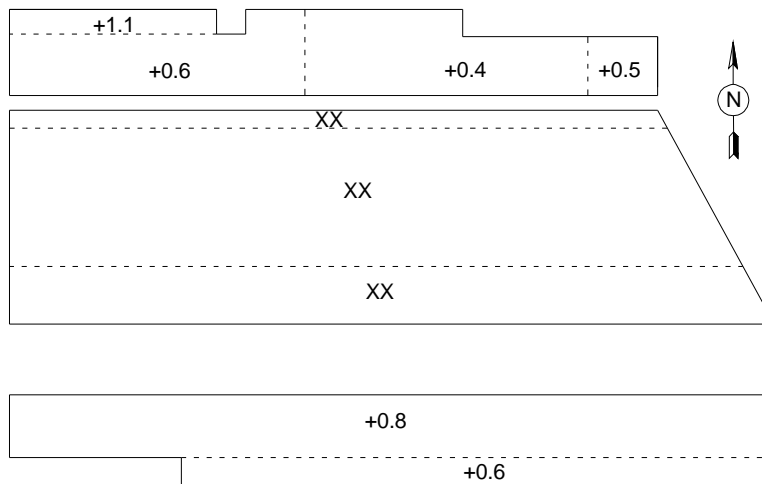


Fig. 21: Coeficientes locales de presión externa máximos en ala sur del Espigón Sur

EPIGÓN SUR ALA NORDESTE

MINIMOS

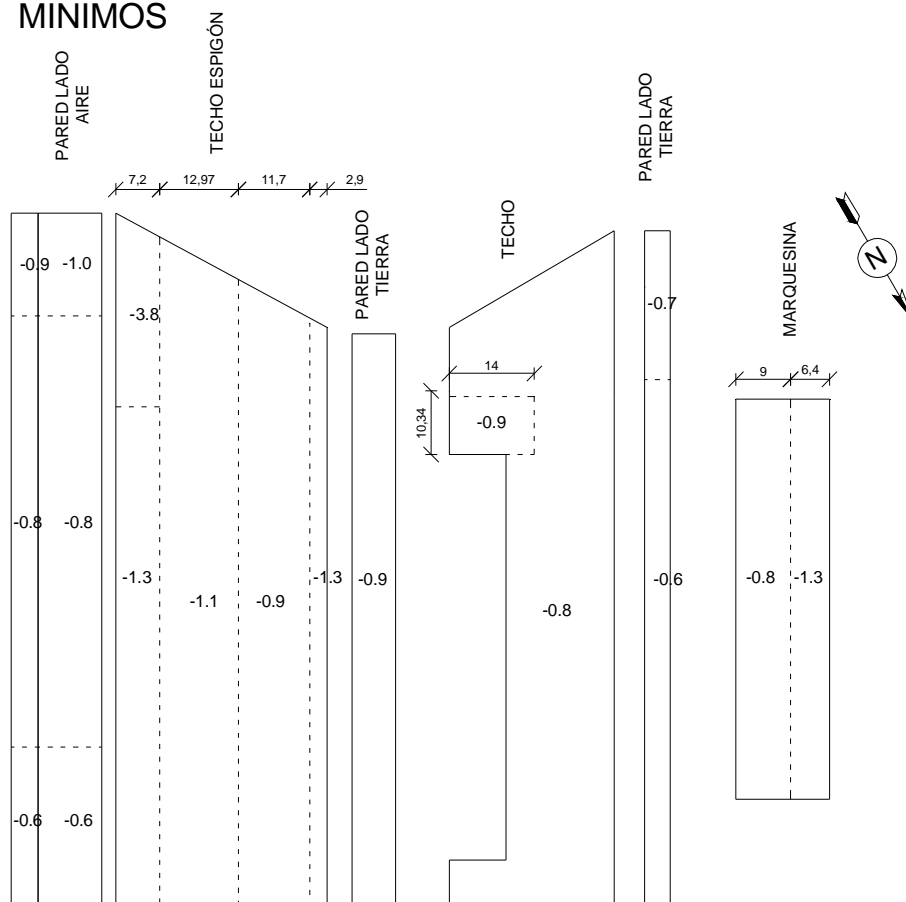


Fig. 22: Coeficientes locales de presión externa mínimos en ala nordeste del Espigón Sur

ESPIGÓN SUR ALA NORDESTE

MAXIMOS

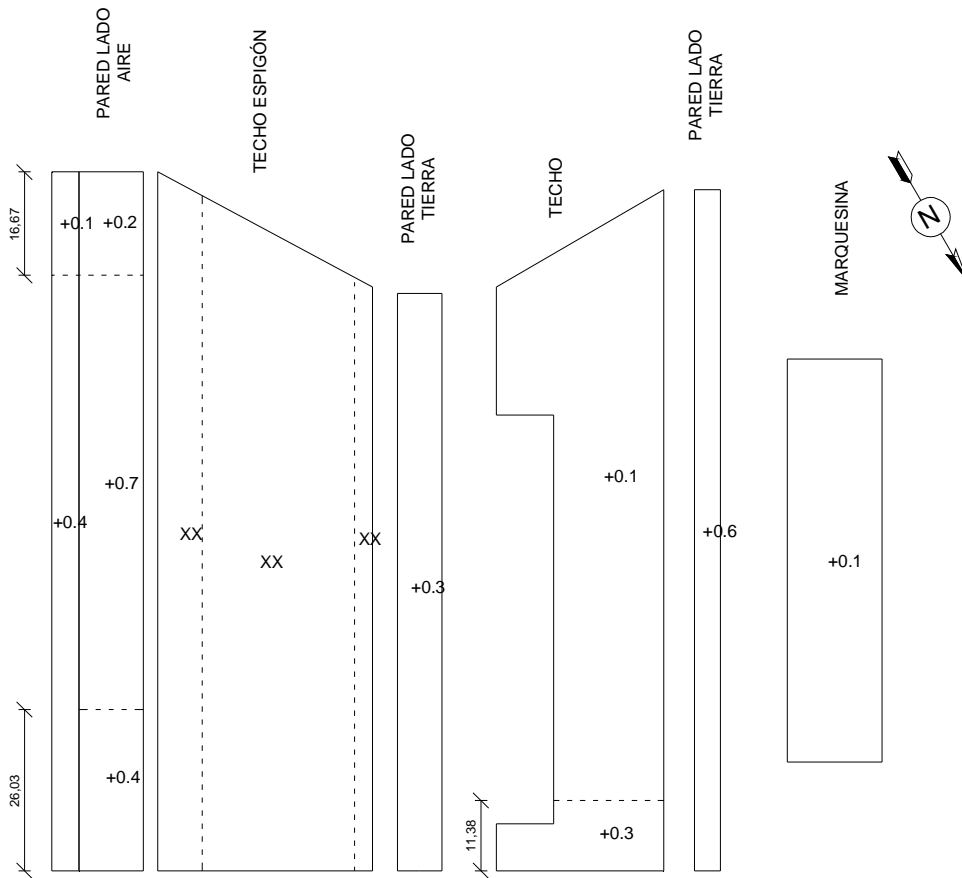


Fig. 23: Coeficientes locales de presión externa máximos en ala nordeste del Espigón Sur

7. CONCLUSIONES

En general, se observan estados de carga asimétricos en todos los edificios estudiados, lo cual podía esperarse, dada la complejidad geométrica del conjunto edilicio, con casos de picos de carga localizados en zonas cercanas a esquinas.

Desde el punto de vista de las cargas globales, los casos más severos sobre los espigones y la pasarela doble se manifiestan cuando el viento incide perpendicularmente a las fachadas principales del lado aire (direcciones de 0° y 300°). Particularmente crítica es la situación sobre los techos del espigón sur, donde grandes superficies están afectadas por un coeficiente medio de presión externa que varía entre -1.3 en la mitad más a barlovento y -1.0 en la mitad más a sotavento. Esto llevó a estudiar detalladamente las presiones en estas zonas mediante el método de Cook & Mayne, llegándose a un coeficiente pseudoestático de tres segundos de duración que varía entre -0.85, en la mitad más a barlovento, y -0.65 en la mitad más a sotavento. Estos valores no fueron determinados de manera simultánea, por lo que si se los usa en forma directa, en lugar de los coeficientes medios, aún se estaría trabajando con un cierto sobredimensionamiento, siendo que estos picos de carga nunca se producirán en forma simultánea sobre toda la

superficie. La diferencia entre aplicar el modelo cuasi-estático y el método de Cook & Mayne en el caso del techo del espigón sur, es del orden del 35%, lo que permite optimizar significativamente el diseño. Diferencias similares fueron medidas en el estudio del techo del estadio de Racing, donde se lograron reducciones entre el 17,5% y el 32% ^[11].

Por último, se analizaron los puntos donde existen picos de cargas medias mediante el método de Cook & Mayne. En estos puntos, los valores que se obtuvieron por este método, en general conducen a cargas menos severas que los que resultan de la aplicación del modelo cuasi-estático.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores desean agradecer a J. Iturri y J. Ortiz por la construcción y montaje de los modelos. Un agradecimiento al Arq. Gerardo Pucciarello, de Aeropuertos Argentina 2000, y al Ing. Carlos Calissano por la disponibilidad y apoyo técnico durante los ensayos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles, Reglamento CIRSOC 102: Acción del Viento sobre las Construcciones, *Instituto Nacional de Tecnología Industrial*, Buenos Aires, 1994.
- [2] N.J. Cook, The designer's guide to wind loading of building structures, Part 1: Background, damage survey, wind data and structural classification. Building Research Establishment Report, London, 1985.
- [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] H.P.A.H. Irwin, The design of spires for wind simulation. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 7, pp. 361-366, 1981.
- [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] 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.
- [8] B.B. Yeatts, K.C. Mehta, Field study of internal pressures. Proceedings 7th U.S. National Conference on Wind Engineering, Los Angeles, CA, 2, 889-897, 1993.
- [9] B.B. Yeatts, J.A. Womble, K.C. Mehta, J.E. Cermak, Internal pressures for low-rise buildings. Proceeding 2nd U.K. Conference on Wind Engineering, Warwick, England, 1994.
- [10] N.J. Cook, The designer's guide to wind loading of building structures, Part 2: static structures, *Building Research Establishment report*, London (1990).
- [11] J. Marighetti, A.R. Wittwer, M. De Bortoli, B. Natalini, M. Paluch, M.B. Natalini, Fluctuating and mean pressure measurements on a stadium covering in wind tunnel. *J Wind Eng Ind Aerodyn*, 84 (3) pp. 321-328, 2000.