

DETERMINACION EN TUNEL AERODINAMICO DE LAS CARGAS DE VIENTO SOBRE TRES MARQUESINAS

Pedro Juan Blanco

Dr. Ingeniero Aeronáutico
OTEP INTERNACIONAL, S. A.

RESUMEN

Las marquesinas de los graderíos de los estadios son estructuras sometidas básicamente a tres tipos de cargas: las debidas a su propio peso, las debidas a la nieve y las debidas a la acción del viento.

La determinación de las dos primeras es relativamente sencilla y no expuesta a error; sin embargo, la determinación de las cargas producidas por la acción del viento es prácticamente inabordable por métodos teóricos y muy propensa a error si se hace por métodos simplificados, por lo que resulta casi imprescindible recurrir a su determinación práctica mediante ensayos en modelos a escala en túnel aerodinámico.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos en cuatro ensayos en modelo de tres marquesinas distintas, comparándolos con la estimación que se hubiera realizado si se hubiera atendido a los métodos simplificados de las normas en vigor.

Introducción

El estadio del Club Helmántico de Salamanca, situado en las afueras de la ciudad, construido el año 1970, sufrió en la temporada 78-79 daños de gran consideración como consecuencia de temporales de viento que hicieron volar parcialmente la cubierta en tres ocasiones consecutivas, causando en gran parte de ella daños irreparables. Requeridos por los Arquitectos del Club, don Fernando Población del Castillo y don Antonio García Lozano, iniciamos el estudio de reparación, advirtiendo que la causa principal de los referidos daños estaba en una incorrecta valoración de la acción del viento, por lo que a pesar de la sencillez geomé-

trica de la cubierta nos decidimos a realizar una determinación de las cargas del viento sobre ella mediante un ensayo a escala en túnel aerodinámico, ensayo que fue realizado por el Laboratorio de Aerodinámica y Mecánica de Fluidos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos el mes de abril de 1979.

La remodelación del estadio Santiago Bernabéu, como consecuencia de la celebración en España del Campeonato Mundial de Fútbol, exigía la cobertura de la mayor parte posible de localidades. Los arquitectos del Real Madrid, don Luis Alemany Indarte, don Rafael Alemany Indarte y don Manuel Salinas Aracil pidieron nuestra colaboración en los aspectos estructurales del problema.

Desde el primer momento se advirtió que la cubierta, de forma geométrica muy compleja, con extradós e intradós de curvaturas distintas y con el borde interior grueso para alojar los focos y marcadores, exigía una determinación exacta de las cargas de viento, que sólo era posible mediante el ensayo de modelos a escala en túnel aerodinámico. En esta oportunidad y a la vista de lo complejo de la forma, optamos por realizar un ensayo doble, en dos túneles distintos a dos escalas diferentes, habiéndose realizado los ensayos en la primavera de 1980, uno en el Laboratorio de Aerodinámica del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial Esteban Terradas y el otro en el Laboratorio de Aerodinámica y Mecánica de Fluidos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos.

Por último, y también como consecuencia de la obligada remodelación por causa del Mundial de Fútbol, hemos colaborado con el arquitecto del Sevilla Club de Fútbol, don Juan Fernández Carbonell, en los aspectos estructurales de la cubierta del estadio Sánchez Pizjuán. Las experiencias anteriores nos habían evidenciado la necesidad de determinar las cargas mediante ensayo en túnel y por ello encargamos los ensayos al Laboratorio de Aerodinámica y Mecánica de Fluidos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos, la cual los realizó en el otoño de 1980.

En este trabajo presentamos los resultados finales encontrados en cada uno de los casos ensayados, así como su comparación con la determinación teórica resultante de la aplicación de las Normas en vigor.

Validez del ensayo en túnel aerodinámico

La validez del ensayo en túnel aerodinámico se deduce del principio de semejanza dimensional que establece que las cargas adimensionales sobre la estructura real y sobre un modelo de la misma serán iguales si se cumple la semejanza geométrica entre el modelo y la estructura y si, además, los números de Reynolds (*) asociados al movimiento fluido alrededor de la estructura y de la maqueta son iguales en ambos casos.

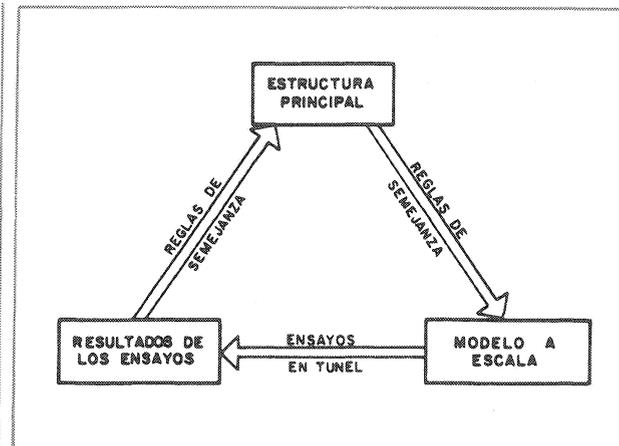
La primera condición exige que en el modelo se reproduzcan fielmente a escala todos aquellos detalles significativos desde el punto de vista aerodinámico, existiendo cierta libertad en cuanto al modo de reproducir otras partes de la maqueta no importantes desde el punto de vista señalado. En particular, en las maquetas realizadas para el ensayo no se ha reproducido fielmente el escalonado de las gradas, sustituyéndolo por un plano inclinado de la misma pendiente, por tener experiencia de trabajos anteriores sobre la validez de esta simplificación.

En cuanto a la correspondencia entre números de Reynolds resulta sencilla una vez superado un cierto valor de este número (Reynolds crítico igual a 10^5) a partir del cual los resultados se hacen independientes del valor de este parámetro adimensional, ya que la corriente a partir de ese momento se encuentra desprendida, desprendimiento que se produce en cuerpos con aristas y precisamente en éstas.

En el diagrama se aclara el procedimiento de obtención de las cargas sobre la estructura real mediante el ensayo en túnel aerodinámico y que resumidamente consiste en:

- Realización de una maqueta a escala, con la mayor fidelidad aerodinámica posible.
- Ensayo de la maqueta en el túnel aerodinámico, determinando con su balanza las cargas y momentos y deduciendo de ellas los coeficientes adimensionales de sustentación, resistencia y momento.
- Determinación de las cargas reales sobre la estructura objeto de estudio, aplicando a los coeficientes adimensionales obtenidos en el

(*) El número de Reynolds es un parámetro adimensional que interviene en todos los fenómenos de movimiento de fluidos cuya viscosidad no pueda ser despreciada; tiene como valor la relación entre el producto de la velocidad del aire por la longitud del cuerpo ensayado y por la densidad del aire, y la viscosidad. ($R_v = V.D.\rho / \mu$.)



Túneles utilizados

ensayo la relación de semejanza con la que se obtuvo la maqueta.

El Túnel Aerodinámico n.º 1 del Laboratorio de Aerodinámica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos es un túnel de corriente aspirada en circuito abierto de 21,38 m de longitud total; 2,78 m de altura y 3,50 m de anchura. La cámara de ensayos es de sección rectangular de 0,8 m de altura; 1,20 m de anchura y 1,20 m de longitud y está situada delante del ventilador.

Para medir las cargas aerodinámicas sobre la maqueta, el túnel cuenta con una balanza piramidal con servosistemas de medida.

El aire es forzado a circular por un ventilador de 8 palas de 1,20 m de diámetro por un motor de 75 CV.

El Túnel de Humos, del Laboratorio de Aerodinámica y Mecánica de Fluidos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos es un túnel de baja turbulencia destinado a los ensayos de visualización de las corrientes fluidas.

La cámara de ensayos es de sección rectangular de 0,07 m de anchura; 1,00 m de altura y 1,65 m de longitud. El aire circula mediante dos motores de 1,2 CV de potencia, cada uno de los cuales mueve una hélice de 8 palas.

El nivel bajo de turbulencia se controla mediante dos mallas metálicas de precisión situadas delante de una contracción de la vena fluida de relación 10.

La corriente se visualiza inyectando en ella humo a la entrada de la cámara de ensayos a través de tubos paralelos de 0,008 mm de diámetro, cuyos

ejes distan entre sí 0,015 m. El humo se obtiene evaporando Keroseno.

El Túnel Aerodinámico n.º 1 del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, es de funcionamiento continuo en circuito cerrado con cámara de ensayos abierta de sección elíptica de 3,25 m de longitud y 3 m de eje mayor de la sección.

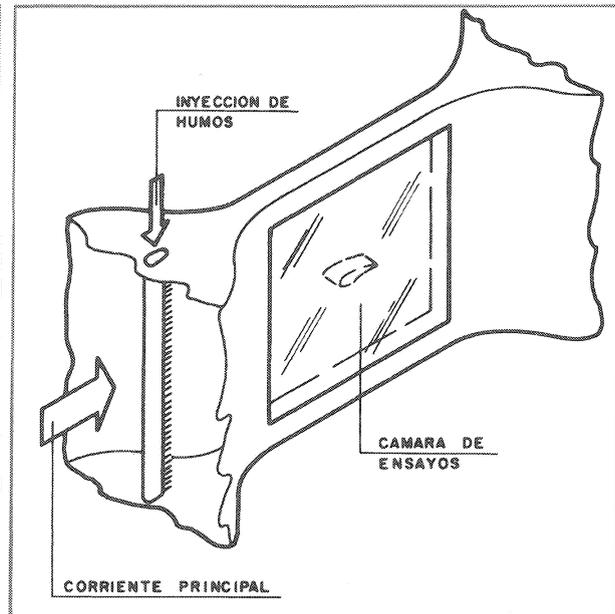
El aire circulante se contrae mediante toberas en la relación de 5 a 1, siendo forzado en su movimiento por un motor de 500 HP que mueve un ventilador de paso fijo de 3 m de diámetro, con lo cual se consiguen velocidades en la cámara de ensayos que pueden variar de manera continua entre 1 y 60 m/s.

El equipo instrumental del túnel incluye una balanza mecánica de 6 componentes y una balanza interna de extensímetros de 6 componentes para medida de fuerzas, transductores de presión de diafragma y selectores neumáticos con control a distancia para medidas de presiones y un equipo de anemometría de hilo caliente para medida de turbulencias.

Toda la toma de datos y su elaboración posterior se realiza de una manera automática con ordenador.

Metodología de los ensayos

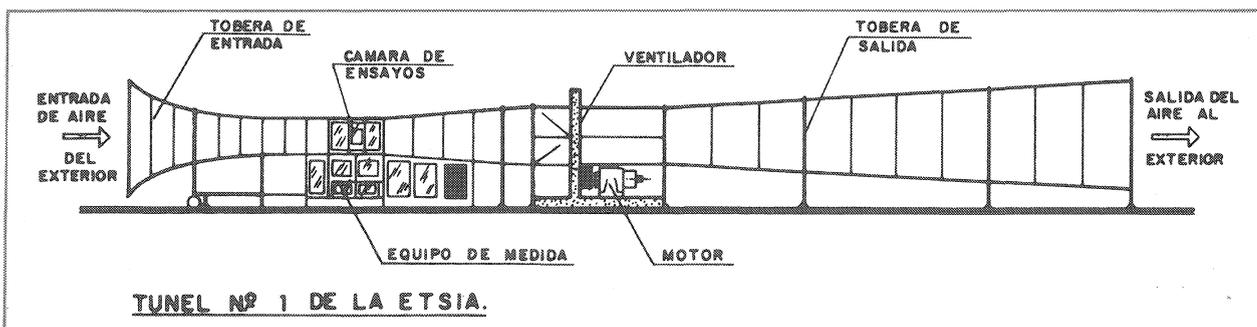
El desarrollo de los ensayos es similar en todos los casos. Se analizan vientos tanto del lado del campo como del lado exterior y se determinan los resultados para tres incidencias distintas que son viento horizontal, viento a $+10^\circ$ y viento a -10° , todo ello de acuerdo con los criterios de la Norma del Ministerio de la Vivienda MV-101-1962 que es la Norma Española de aplicación y que en su capítulo 5 (Acción del Viento) prescribe este margen de variabilidad del ángulo de incidencia, criterio que también es recogido por la Norma Tecnológica NTE, ECV que desarrolla la MV-101 en su aspecto de cargas de viento.



En algunos casos se han añadido nuevas variables en el ensayo, como por ejemplo cierres parciales o totales del fondo de la tribuna o cierres mayores o menores del borde de la marquesina, todo ello de acuerdo con la realidad del problema planteado.

En todas las oportunidades, el ensayo en túnel aerodinámico se ha realizado determinando cargas resultantes y no distribución de presiones. Ello supone ciertamente una gran simplificación y una menor información sobre el fenómeno, pero sin embargo los resultados obtenidos proporcionan información suficiente para el estudio estructural que se pretende y son más económicos, rápidos y fiables. Para compensar en parte la pérdida de información producida por la no determinación de la distribución de presiones, hemos realizado en todas las ocasiones un ensayo complementario en túnel de humos que produce una visualización clara de las líneas de corriente, ayudando a la comprensión del comportamiento.

También en todas las oportunidades el ensayo realizado ha sido bidimensional, lo cual está del



lado de la seguridad y es suficientemente aproximado para las envergaduras (relación de longitud a anchura) de las cubiertas objeto de estudio.

Las escalas de los modelos utilizados han sido las siguientes:

1/50 Para el Helmántico, en el túnel n.º 1 del LAMF.

1/10 Para el Helmántico, en el túnel de humos del LAMF.

1/250 Para el Santiago Bernabéu y el Sánchez Pizjuán en el túnel n.º 1 del LAMF.

1/125 Para el Santiago Bernabéu y el Sánchez Pizjuán en el túnel de humos del LAMF.

1/75 Para el Santiago Bernabéu en el túnel n.º 1 del INTAET.

En los resultados que se presentan más adelante se ha utilizado la siguiente nomenclatura:

$$L = \frac{1}{2} \rho \cdot U^2 \cdot c \cdot C_L \quad (1)$$

en que:

L = Fuerza total perpendicular al viento incidente (sustentación).

ρ = Densidad del aire.

U = Velocidad del viento incidente.

c = Cuerda de la Cubierta. Longitud de la sección transversal.

C_L = Coeficiente adimensional de sustentación.

$$D = \frac{1}{2} \rho \cdot U^2 \cdot c \cdot C_D \quad (2)$$

en que:

D = Fuerza total paralela al viento incidente (Resistencia).

C_D = Coeficiente adimensional de resistencia.

$$M_A = \frac{1}{2} \rho \cdot U^2 \cdot c^2 \cdot C_{MA} \quad (3)$$

en que:

M_A = Momento total alrededor del eje de referencia.

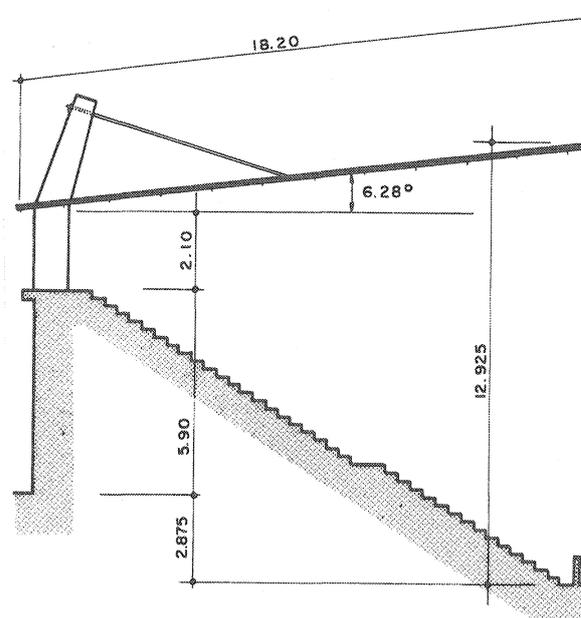
C_{MA} = Coeficiente de momento.

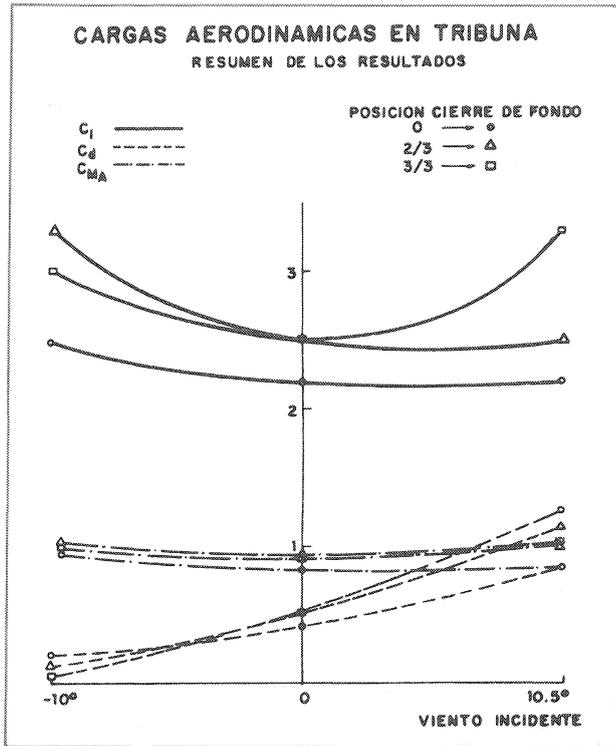
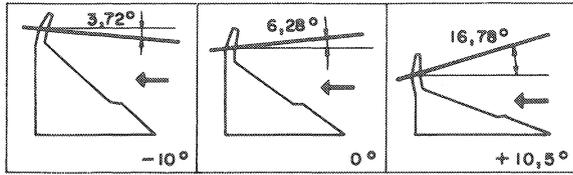
Para evitar una excesiva extensión de este artículo sólo se presentan los valores finales encontrados en los ensayos, una vez corregidos por el efecto de la propia maqueta y referidos a los ejes ligados a la misma. Inicialmente los resultados directos medidos en el ensayo están referidos a los ejes de la balanza del túnel (no a ejes ligados al modelo) y además son valores no corregidos por efecto del modelo. Esta corrección es necesaria ya que el modelo situado en la cámara de ensayo reduce su sección creando una estrangulación que acelera el aire, resultando una situación distinta de la real, en la que el aire que incide sobre la cubierta no resulta en sus valores medios acelerado por la presencia de ésta.

Estadio Helmántico de Salamanca

La cubierta es un plano inclinado $6^\circ 28'$ respecto a la horizontal, de 18,20 m de longitud, con su borde inferior a 8,00 m del suelo exterior al campo y con su borde superior a 12,925 m del suelo interior al campo. El terreno de juego está 2,875 metros más bajo que el terreno en el exterior al campo. El graderío se extiende sin interrupción desde el nivel del terreno de juego hasta 2,10 m bajo la cubierta. Este espacio, según las distintas zonas del campo, está totalmente abierto, parcialmente cerrado o totalmente cerrado, creando situaciones aerodinámicas muy diferentes.

El modelo ensayado contempló tres ángulos distintos del viento incidente 0° , $+10,5^\circ$ y -10° lo que se simuló cambiando la posición de la maqueta en la cámara de ensayos como se aprecia en el croquis.





En el gráfico se resumen los resultados obtenidos para los coeficientes aerodinámicos para las tres incidencias y las tres configuraciones del cierre del fondo. Los valores numéricos que corresponden a la posición de fondo abierto son:

$C_L = 2,199$ $C_d = 0,440$ y $C_{MA} = 0,854$ para $\alpha = 0$
 $C_L = 2,070$ $C_d = 0,840$ y $C_{MA} = 0,844$ para $\alpha = +10,5^\circ$
 $C_L = 2,402$ $C_d = 0,214$ y $C_{MA} = 0,948$ para $\alpha = -10^\circ$

A partir de estos coeficientes aerodinámicos y tomando como base de comparación un viento de 40 m/s. de velocidad, se han obtenido las leyes de cargas aerodinámicas sobre la cubierta, de las cuales hemos dibujado en los croquis las correspondientes a la posición del fondo abierto, con las tres incidencias indicadas. Para convertir los coeficientes aerodinámicos en cargas se aplican las fórmulas (1), (2) y (3) del apartado anterior, particularizándolas para la densidad normal de 1,2255 Kg/m³, para la velocidad indicada de 40 m/s y para un valor de la cuerda «c» de 18,20 metros. Con ello se obtienen en cada caso los valores totales de la sustentación y la resistencia, así como el momento alrededor del punto de refe-

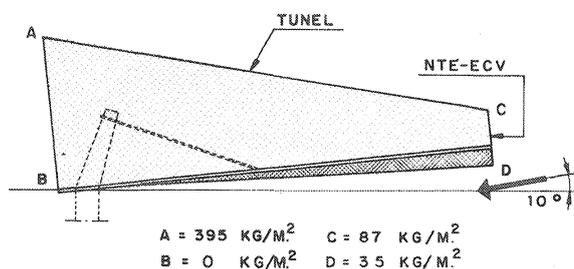
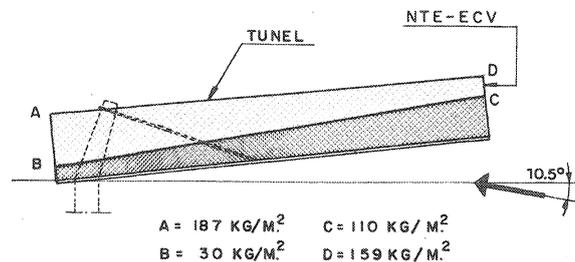
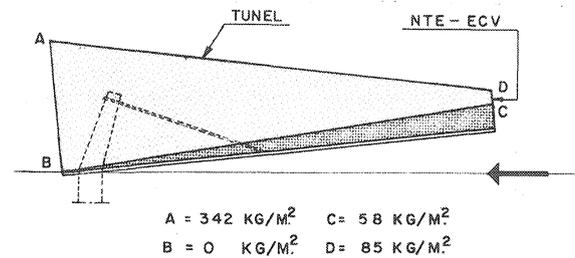
rencia. De estos valores totales se deduce la distribución de las cargas a lo largo de la cuerda de la cubierta, con la hipótesis adicional de que esta distribución sea lineal.

En los mismos gráficos, superpuestos a los anteriores, se han representado las cargas aerodinámicas que se deducen de aplicar la norma MV-101/1962, para la misma velocidad del viento de 40 metros por segundo y los mismos ángulos de incidencia.

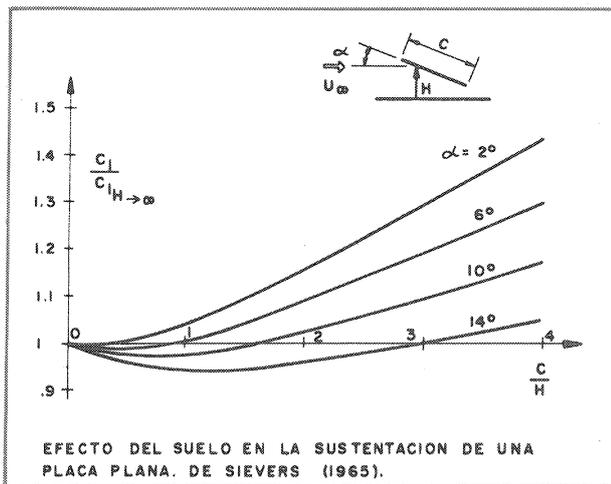
De la contemplación de las leyes se comprueba la enorme diferencia entre los resultados de los ensayos y la estimación de la Norma.

Para ángulo de incidencia 0°, la carga total resultante del ensayo en túnel es 7,36 veces la de la Norma y el momento 4,42 veces. Para ángulo de 10,5° los valores son 2,48 veces y 2,03 veces y para -10° son 13,77 y 8,13, con el agravante en este caso del distinto signo para las cargas.

Esta enorme disparidad indica bien a las claras que en absoluto pueden tomarse, en casos como el que nos ocupa, los valores de la norma como cargas de cálculo. La discrepancia se explica por



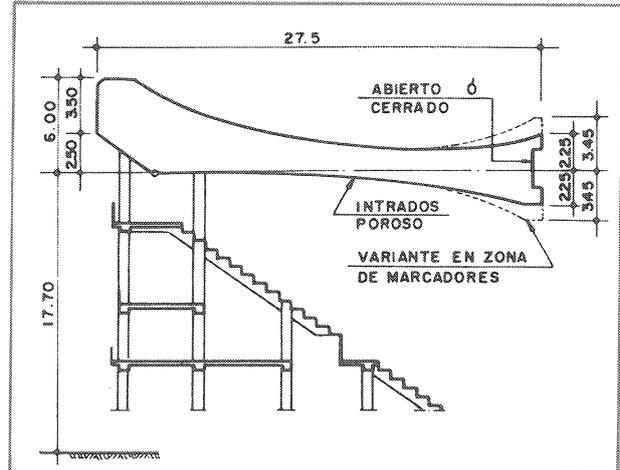
dos razones, en primer lugar porque el efecto del plano indicado del graderío perturba enormemente la corriente incidente, no siendo pues de aplicación los resultados de la norma deducidos de la consideración de viento horizontal. En segundo lugar, la proximidad del plano inclinado de la cubierta al graderío, influye también notablemente en el aumento de cargas. Como un índice de esta influencia presentamos el gráfico de SIERVES (1965) en el que a partir de distintas relaciones C/H de alejamiento y distintos ángulos del plano inclinado, se deduce el coeficiente de aumento del coeficiente de sustentación, respecto del que habría si el suelo estuviese muy alejado.



Para conocer con mayor precisión el fenómeno del comportamiento del viento ante el obstáculo que supone el graderío y la marquesina, se han realizado ensayos en túnel de humos, de los que presentamos como ejemplo los correspondientes a 10° de inclinación del viento incidente, en dos opciones: la primera con el fondo completamente abierto y la segunda con el fondo completamente cerrado. En la visualización de las líneas de corriente se advierte muy claramente cómo, en el primer caso, hay corriente a través del fondo del graderío y en cambio en el segundo esta corriente no existe, creándose un remanso que hace modificar el comportamiento de la corriente. Se aprecia además cómo líneas de corriente más bajas al entrar en la cámara de ensayos pasan sin embargo por encima del obstáculo.

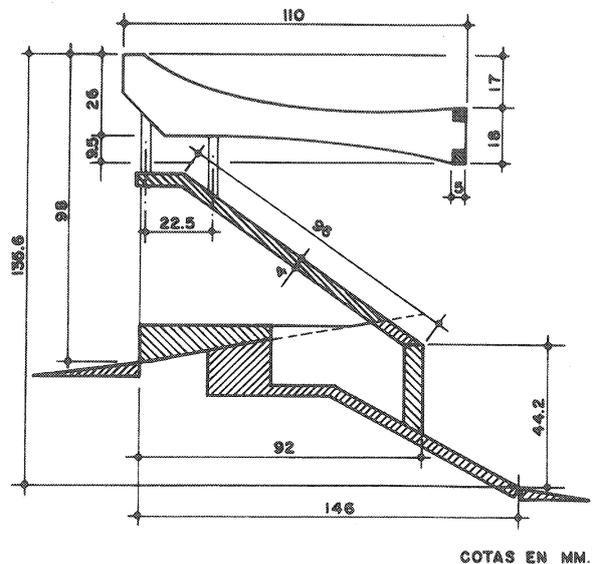
Estadio Santiago Bernabéu

La marquesina de la cubierta del estadio Santiago Bernabéu es muy singular, aerodinámicamente hablando, porque tiene su extradós e intradós no paralelos, porque además no son rectos o poligonales sino curvos, porque el intradós es poroso,



es decir, permite parcialmente el paso del viento, porque el borde lado campo es divergente, pudiendo estar abierto o cerrado, teniendo además en la zona de marcadores una medida distinta de la del resto del campo, y por fin, porque el borde del lado exterior tiene una gran medida rematando en un plano inclinado a 45° . Se aclara esta geometría en el croquis.

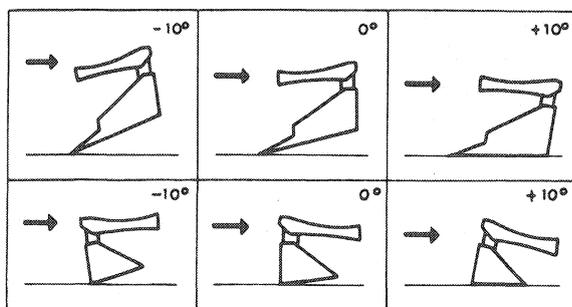
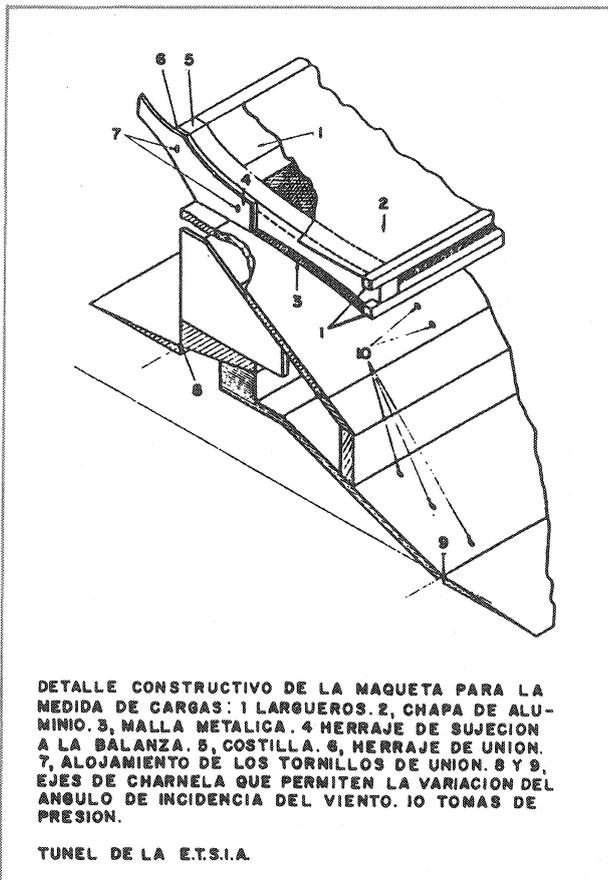
Todas estas razones nos hicieron desistir desde un principio de cualquier intento teórico de evaluación de las cargas del viento, tomando pues la decisión de determinarlas mediante ensayo en túnel; pero incluso la dificultad de ejecución de la maqueta en su similitud aerodinámica con un intradós poroso, aconsejó realizar un ensayo doble, en dos túneles distintos, en los que maquetas a distinta escala, realizadas por personas diferentes, se sometían al mismo ensayo.



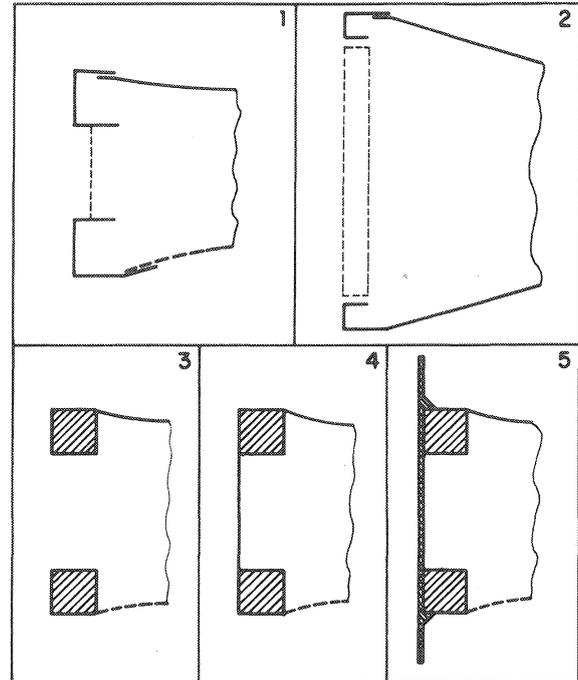
DETALLE CONSTRUCTIVO Y COTAS GENERALES DE LA MAQUETA PARA LA MEDIDA DE CARGAS.

TUNEL DE LA E.T.S.I.A.

El ensayo en el túnel de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos se realizó con una maqueta a escala 1/250 con la geometría que se define en el croquis, cuyos detalles constructivos, en particular la malla metálica que simula el efecto de la porosidad del falso techo, se aprecian con claridad en la perspectiva. La maqueta fue sometida a los seis casos de carga básicos correspondientes a dos sentidos del viento y tres



ángulos de incidencia que se indican en el croquis, realizando para cada uno de ellos tres ensayos correspondientes al borde interior abierto, cerrado, o ampliado como en la zona de marcadores



CONFIGURACIONES DEL FRONTAL DE LA CUBIERTA. 1 Y 2, FRONTAL NORMAL Y MODIFICADO (ZONA DE MARCADORES) 3, 4 Y 5, FRONTALES ENSAYADOS: ABIERTO (3), CERRADO (4) Y CERRADO SIMULANDO LOS MARCADORES (5).

res, según se indica en el esquema. Los resultados finales obtenidos, una vez realizada la corrección por interferencia del modelo de la que ya hemos hablado, son los siguientes:

VIENTO INCIDENTE DESDE EL CAMPO

	ABIERTO			CERRADO			CON MARCADORES		
	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10
α	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10
C_L	1,14	1,30	1,07	1,17	1,32	1,08	1,25	1,24	1,07
C_D	-0,13	0,038	0,26	-0,14	0,034	0,25	-0,087	0,14	0,31
C_{MA}	0,59	0,73	0,58	0,58	0,68	0,56	0,67	0,69	0,62

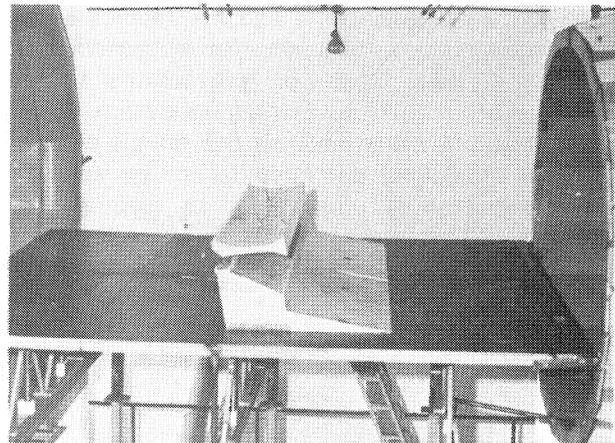
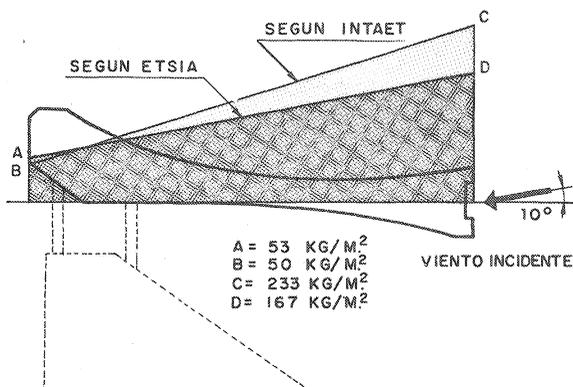
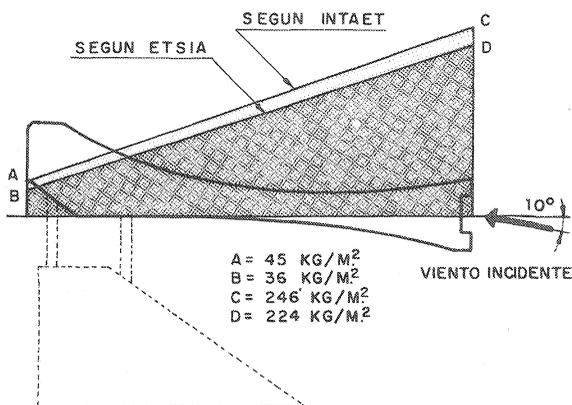
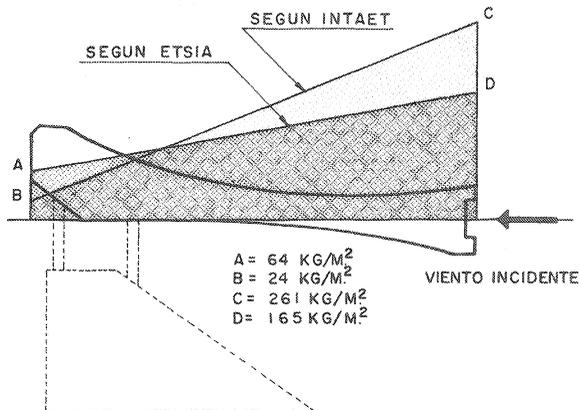
VIENTO INCIDENTE DESDE LA CALLE

	ABIERTO			CERRADO			CON MARCADORES		
	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10
α	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10
C_L	0,23	0,14	0	0,16	0,13	0	0,13		
C_D	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,20	0,23		
C_{MA}	-0,09	0,23	0	0,09	-0,09	0	-0,09		

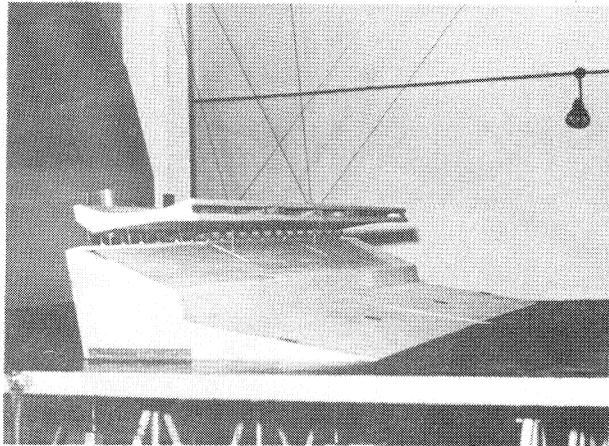
Estos coeficientes se convierten en cargas y momentos, mediante la aplicación de las fórmulas (1), (2) y (3) ya comentadas, en las que la cuerda de cubierta es de 23,50 m, la densidad del aire es 1,225 kg/m³ y la velocidad del viento la consideramos de 40 m/s. Los momentos se dan referidos

al punto de cruce del pilar exterior con el plano inclinado de la cubierta en su borde exterior. Con estos valores y la hipótesis adicional de que la distribución de cargas varíe de una manera lineal, el problema queda totalmente definido y así resultan las leyes representadas en los croquis, en los que sólo hemos reproducido, por simplificar, los correspondientes a borde interior abierto.

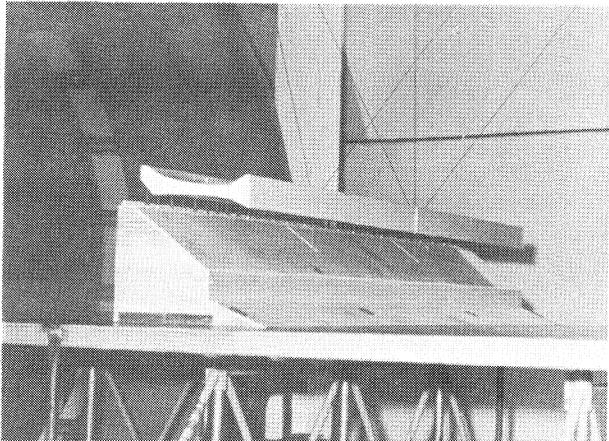
El ensayo en el túnel del INTAET se realizó sobre una maqueta metálica a escala 1/75, con una gran envergadura, correspondiente a un alargamiento



Disposición de la maqueta en la cámara de ensayos.

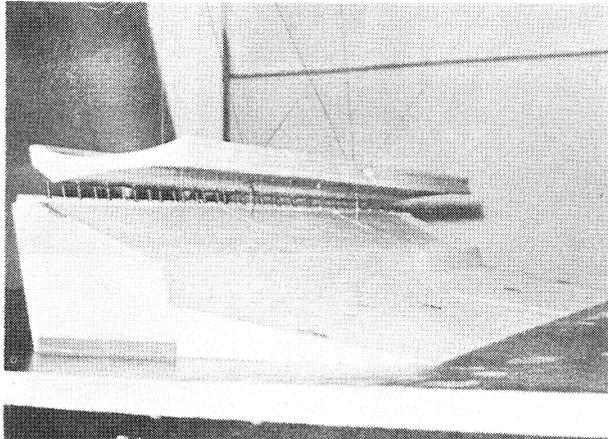
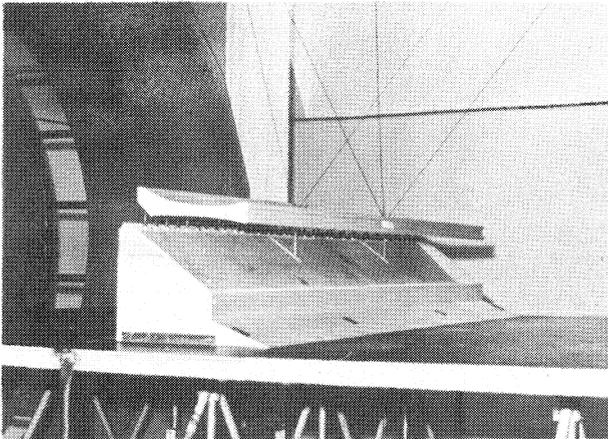
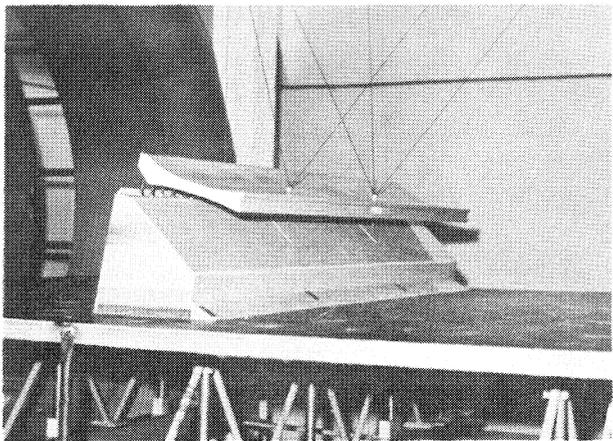


Cubierta abierta en el frente.



Cubierta con marcador.

de 6 (relación entre la longitud de la maqueta y la longitud de su cuerda). El graderío se fabricó en madera, repitiéndolo para cada ángulo de incidencia de inclinación del viento. El intradós se ejecutó con una chapa con perforaciones circulares ocupando el 50% de la superficie total. Al igual que en el ensayo de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos se ensayaron tres configuraciones de borde interior, abierto, cerrado y ampliado para marcadores, y para cada configura-

 $\alpha = 10^\circ; \beta = 0^\circ$  $\alpha = 0^\circ; \beta = 0^\circ$  $\alpha = -10^\circ; \beta = 0^\circ$

ción dos sentidos del viento y tres ángulos de incidencia, 0, +10 y -10.

Se aclaran estas disposiciones en las fotos adjuntas.

Los resultados finales obtenidos, una vez hechas las correspondientes correcciones, son los siguientes:

VIENTO INCIDENTE DESDE EL CAMPO

α	ABIERTO			CERRADO			CON MARCADORES		
	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10
C_L	1,451	1,457	1,512	1,438	1,441	1,544	1,365	1,389	1,530
C_D	-0,011	0,254	0,433	-0,021	0,254	0,417	0,137	0,365	0,492
C_{MA}	0,197	0,168	0,153	0,161	0,161	0,167	0,111	0,139	0,156

VIENTO INCIDENTE DESDE LA CALLE

α	ABIERTO			CERRADO			CON MARCADORES		
	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10	- 10	0	+ 10
C_L	0,332	0,161	-0,062	0,346	0,157	-0,087	0,327	0,040	-0,087
C_D	0,420	0,427	0,398	0,408	0,411	0,352	0,401	0,373	0,341
C_{MA}	0,067	0,054	0,037	0,048	0,051	0,028	0,047	0,043	0,028

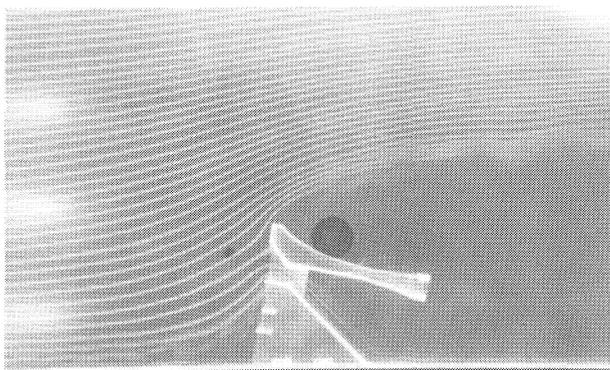
La conversión de estos coeficientes en cargas y momentos y, posteriormente, en cargas distribuidas se realiza a partir de las mismas premisas del ensayo anterior, debiendo aclarar únicamente que en este caso el eje de referencia de los momentos está situado equidistante de los bordes anterior y posterior de la cubierta y a una distancia de 2,325 metros hacia arriba, medida desde el borde horizontal de intradós de la cubierta.

Con estas consideraciones hemos reflejado, en los mismos croquis, las distribuciones de cargas correspondientes al borde interior abierto.

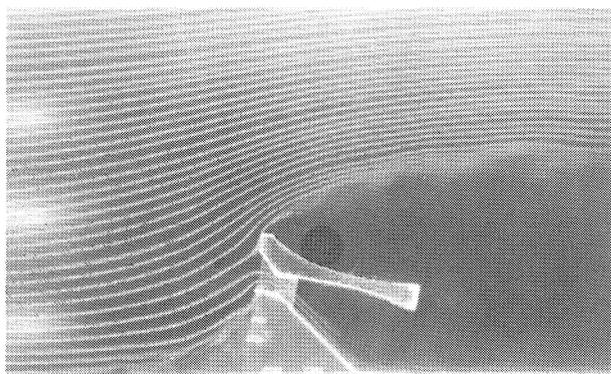
La observación de los croquis anteriores confirma la bondad del procedimiento de determinación de cargas mediante ensayo en túnel aerodinámico. Como se ve, dos túneles distintos, con maquetas diferentes, realizadas en distintos materiales y a distintas escalas, presentan una dispersión aceptable.

Complementariamente a los ensayos anteriores, se realizó en el túnel de humos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos una visualización de las líneas de corriente para todas las configuraciones, sentidos y ángulos ya citados. Las fotos resultan suficientemente expresivas. Su análisis detallado midiendo deflexión de las líneas de corriente, concentración o equidistancia de líneas, etc., permite una correcta interpretación de los datos del túnel de cargas, que de otro modo hubieran sido considerados, en ocasiones, como paradójicos.

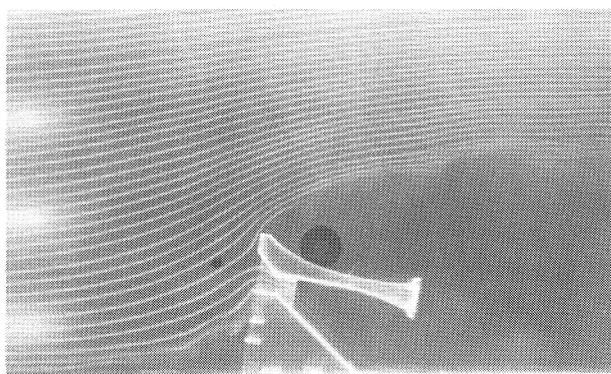
Viento desde la calle ($\alpha = + 10^\circ$)



Frontal abierto

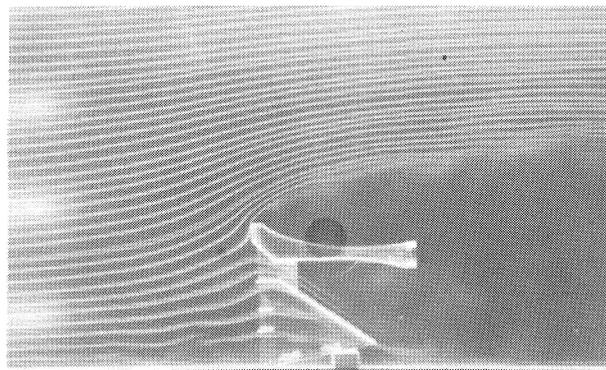


Frontal cerrado

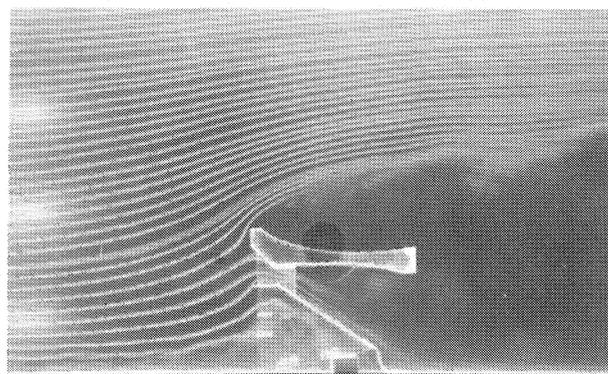


Frontal con marcadores

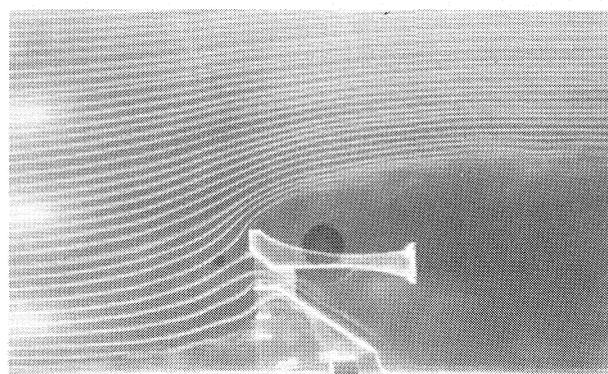
Viento desde la calle ($\alpha = 0^\circ$)



Frontal abierto

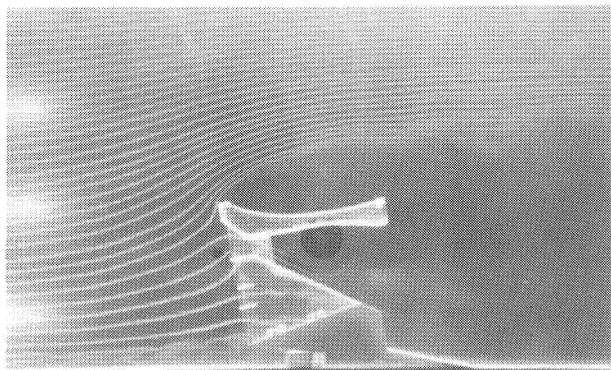


Frontal cerrado

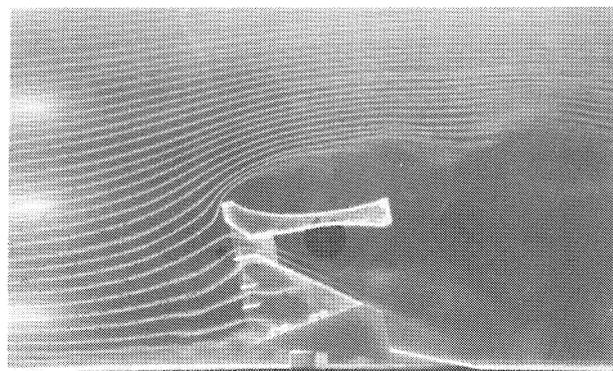


Frontal con marcadores

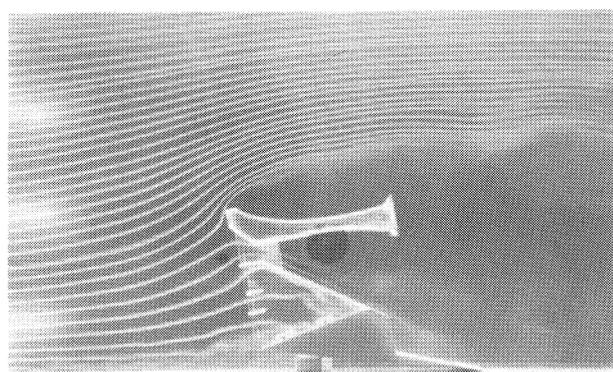
Viento desde la calle ($\alpha = -10^\circ$)



Frontal abierto

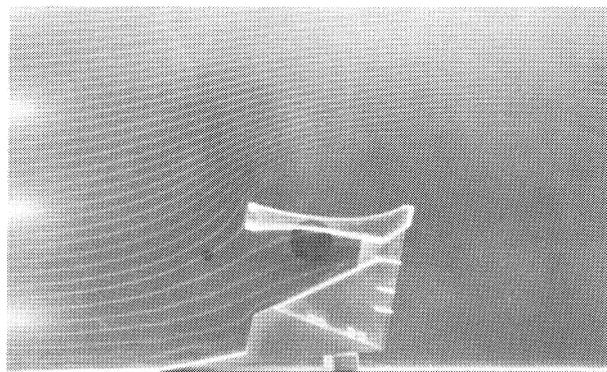


Frontal cerrado

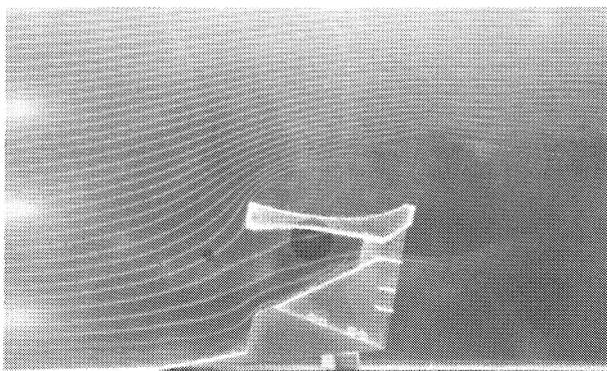


Frontal con marcadores

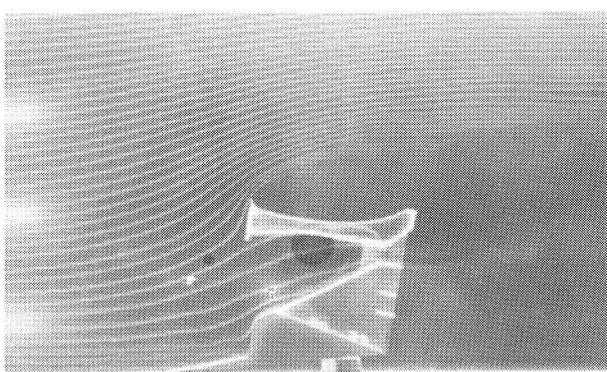
Viento desde el campo ($\alpha = +10^\circ$)



Frontal abierto

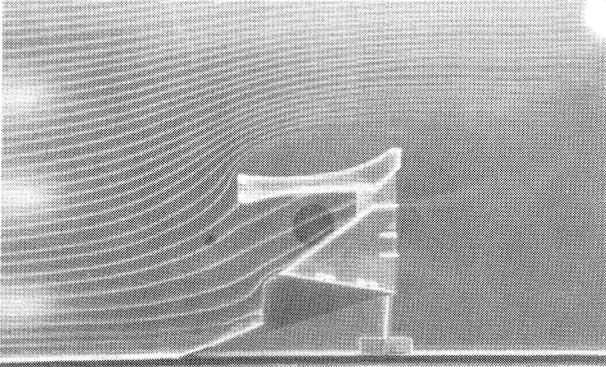


Frontal cerrado

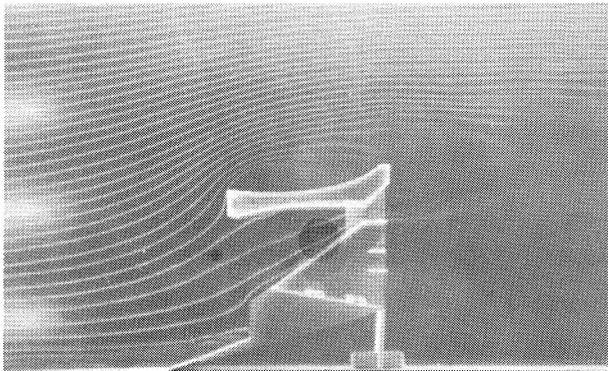


Frontal con marcadores

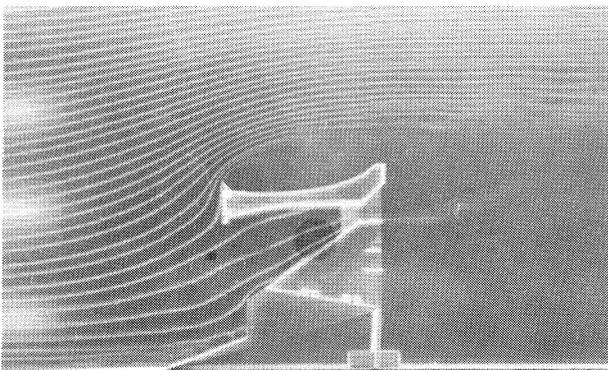
Viento desde el campo ($\alpha = 0^\circ$)



Frontal abierto

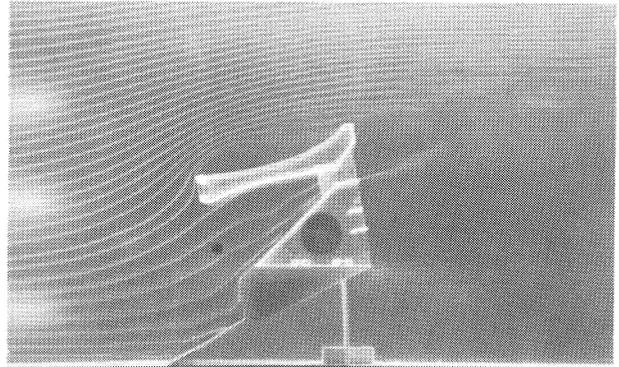


Frontal cerrado

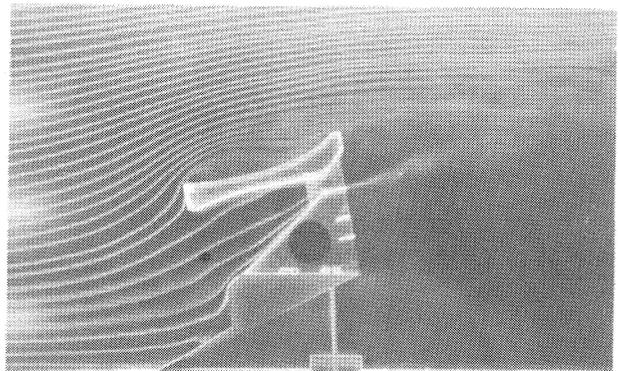


Frontal con marcadores

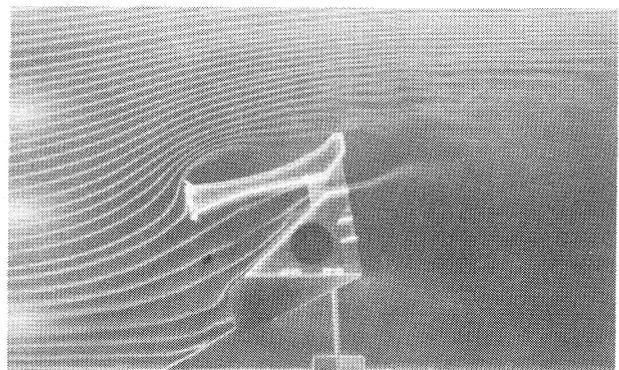
Viento desde el campo ($\alpha = -10^\circ$)



Frontal abierto



Frontal cerrado



Frontal con marcadores

Estadio Sánchez Pizjuán

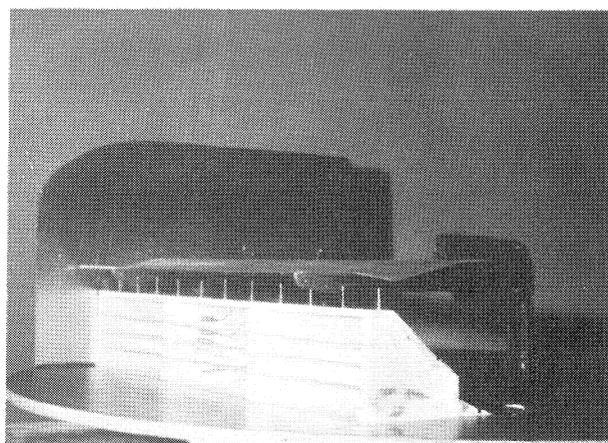
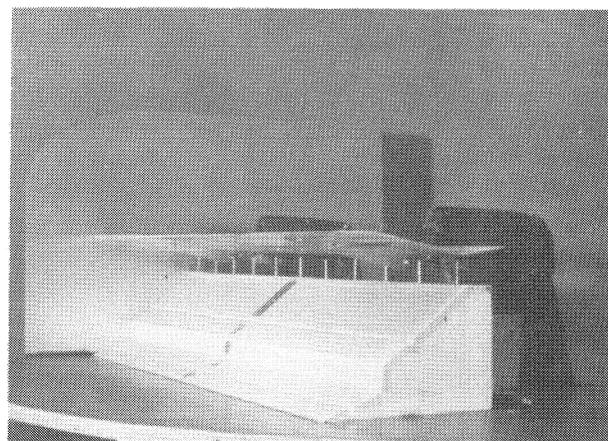
Esta marquesina simula una gran ala de avión. Tiene una forma geométrica de definición clara, formada por tres planos, el primero empezando en el borde más próximo al campo de 8 m de luz y pendiente decreciente del 6,25%, el segundo de 20 m de luz y pendiente decreciente del 18,75% y el tercero de 10,50 m de luz y pendiente creciente del 16,67%. Los pórticos soporte de la marquesina, con canto variable y alma llena, dan una sensación óptica de mayor complejidad, pero desde el punto de vista aerodinámico la cubierta es tan sencilla como se ha descrito.

A pesar de la aparente sencillez aerodinámica se realizaron ensayos en túnel para la determinación de las cargas de viento, ya que disponíamos de las experiencias anteriores que nos hacían dudar de las estimaciones teóricas.

Estos ensayos sobre una maqueta, como se define en el croquis, y se aprecia en las fotos, se realizaron para todas las situaciones de sentidos y ángulos de incidencia que se indican en el esquema, obteniendo para los coeficientes aerodinámicos referidos a un origen coincidente con el encuentro del eje del pilar lado campo con la cubierta, los siguientes valores, una vez corregidos del efecto de interferencia del propio modelo.

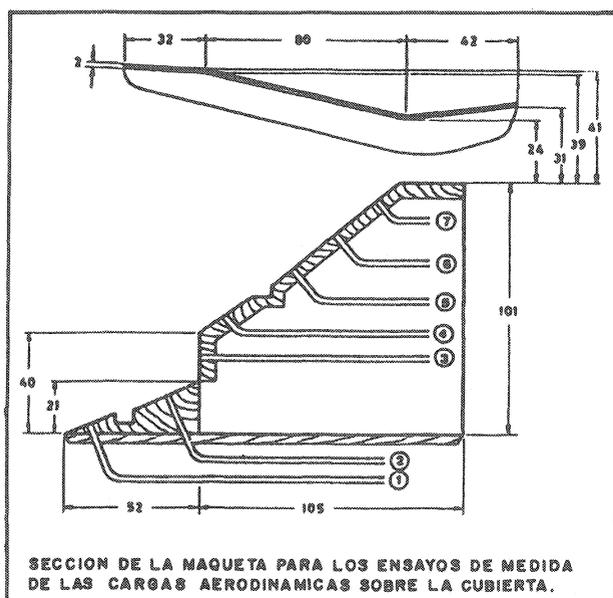
Viento incidente desde el campo

$$\begin{aligned} C_L &= 1,03 & C_D &= -0,03 & C_{MA} &= 0,48 & \alpha &= -10^\circ \\ C_L &= 1,02 & C_D &= 0,15 & C_{MA} &= 0,44 & \alpha &= 0^\circ \\ C_L &= 0,97 & C_D &= 0,32 & C_{MA} &= 0,46 & \alpha &= 10^\circ \end{aligned}$$



Viento incidente desde la calle

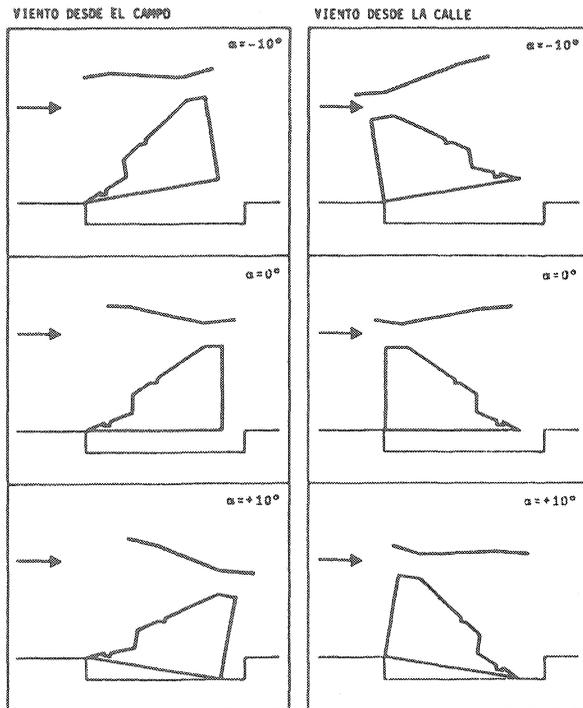
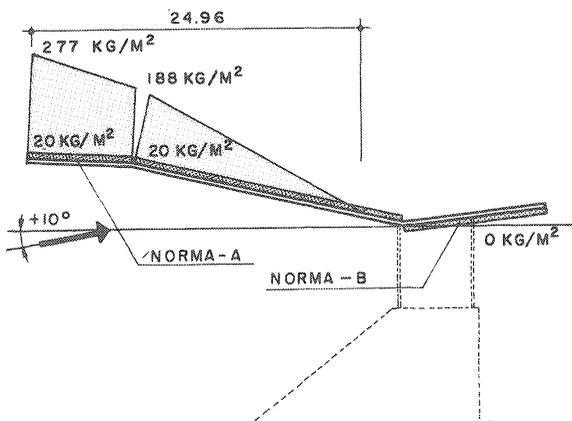
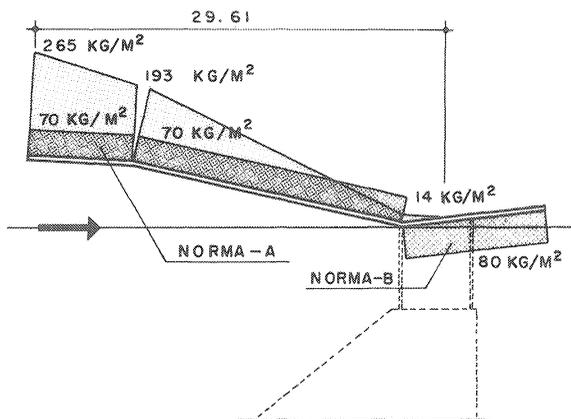
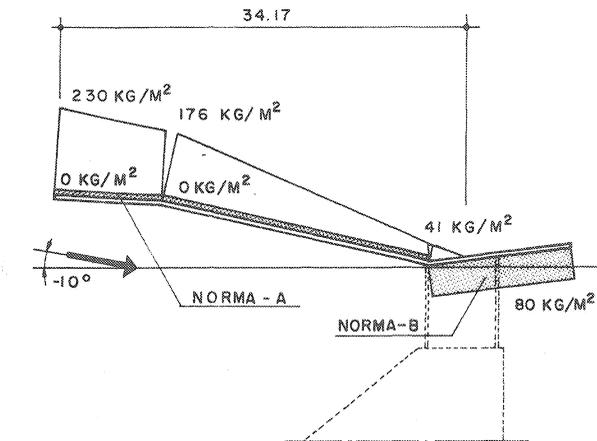
$$\begin{aligned} C_L &= 0,19 & C_D &= 0,05 & C_{MA} &= 0,08 & \alpha &= -10^\circ \\ C_L &= 0,78 & C_D &= 0,01 & C_{MA} &= 0,24 & \alpha &= 0^\circ \\ C_L &= 0,76 & C_D &= 0,10 & C_{MA} &= 0,29 & \alpha &= 10^\circ \end{aligned}$$



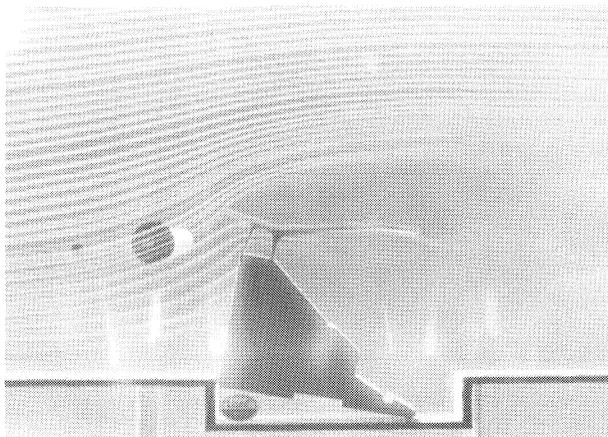
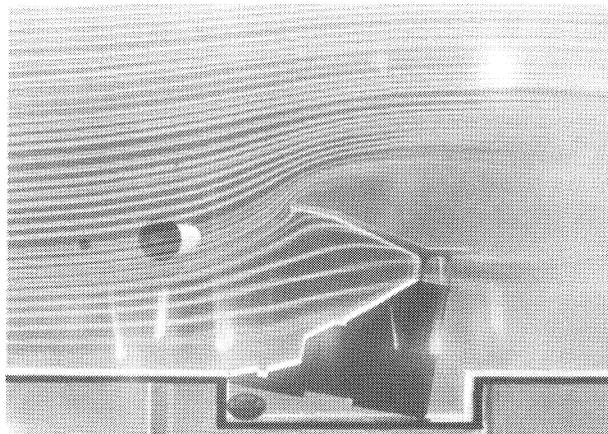
Las cargas y momentos que estos coeficientes aerodinámicos suponen sobre la cubierta real, se obtienen como ya hemos indicado de las fórmulas (1), (2) y (3) para una cuerda de 38,50 m, una densidad de 1,225 kg/m³ y una velocidad del aire de 40 m/s. Con estos valores y la hipótesis adicional de que la distribución de las cargas de viento es lineal se pueden deducir éstas, habiendo representado en los croquis los valores resultantes para viento lado campo.

Para comparar estos valores con los que hubiera supuesto la aplicación de la norma, se han calculado éstos, representándolos en los mismos croquis anteriores, para la misma velocidad del viento. De su comparación se deduce la disparidad de valores y la insuficiente información que se obtiene aun en casos sencillos como el que nos ocupa, por la aplicación de los valores de la Norma,

siendo la causa fundamental de la disparidad el efecto perturbador del plano inclinado del graderío, si bien la no excesiva proximidad de la marquesina al suelo y la no excesiva impermeabilidad entre cubierta y graderío han hecho que la disparidad resulte menos acentuada que en el caso del Helmántico.



POSICION DEL CONJUNTO GRADA-CUBIERTA DURANTE LOS DIVERSOS ENSAYOS REALIZADOS.



También en esta oportunidad hemos realizado una investigación complementaria de la distribución de las líneas de corriente alrededor de la marquesina, mediante ensayo en túnel de humos, del que ofrecemos las fotos correspondientes a $\alpha = +10^\circ$ con sentidos del viento desde la calle y desde el campo.

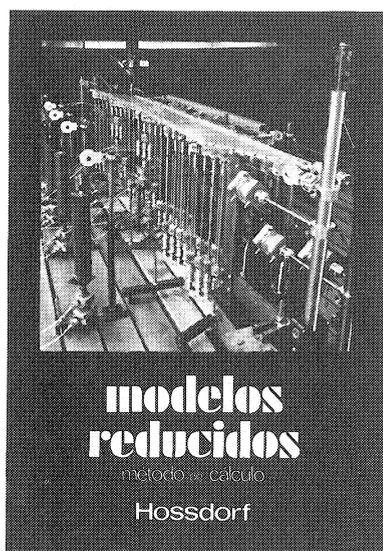
Conclusión

La interferencia del graderío, que defleca la corriente incidente y la complejidad física del fenó-

meno de la creación de las cargas aerodinámicas, hace que su determinación con métodos teóricos o con la aplicación directa de las Normas sea completamente inútil, obteniéndose resultados que no tienen nada que ver con la realidad, para una carga —la aerodinámica— que es la determinante en el diseño de grandes marquesinas.

En conclusión diremos que nos parece imprescindible en estos casos la determinación de las cargas aerodinámicas mediante ensayos en túnel, los cuales proporcionan una información muy fiable y completa, suficiente para el diseño y dimensionamiento.

publicaciones del I.E.T.c.c.



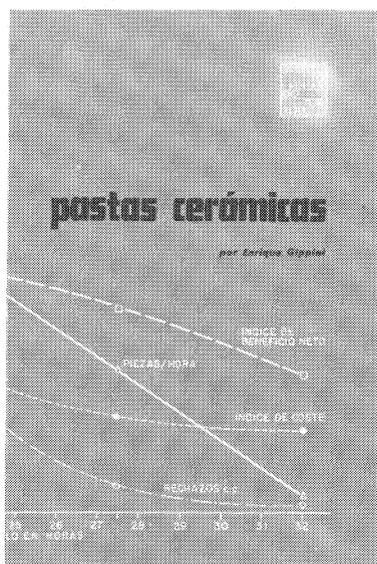
Modelos reducidos. Método de cálculo

H. Hossdorf, Ingeniero Civil

La técnica de los ensayos en modelos reducidos de estructuras sufre hoy día una decisiva metamorfosis. Hasta hace poco era un medio más bien de artesanía, que no siempre era tomado en serio por los académicos teorizantes para comprender el comportamiento resistente de las estructuras complejas y al que se acudió las más de las veces, como a un último remedio debido a sus indiscutibles insuficiencias. Sin embargo, en poco tiempo y gracias a su conexión con los ordenadores digitales, se ha transformado en un instrumento científicamente valioso, que no puede quedar a un lado en la práctica diaria del Ingeniero Projectista.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de 17×24 cm, compuesto de 250 páginas, 158 figuras y fotografías.

Precios: 1.000 ptas.; \$ USA 20.00.



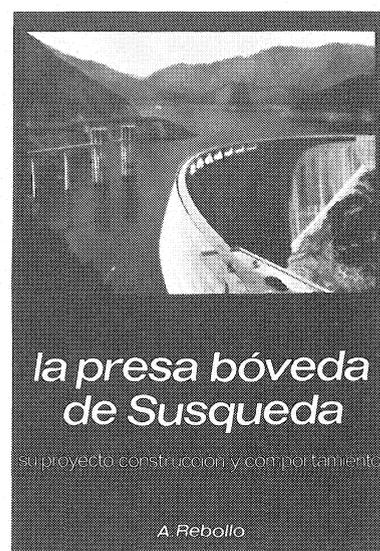
PASTAS CERAMICAS

Enrique Gippini,
Dr. en Ciencias Químicas

El nexo de unión de todos los capítulos del libro es la idea subyacente de crear una teoría general de pastas. Moldeo y Cocción son los dos procesos a los que debe adecuarse la composición. Las características físico-químicas más importantes que deben presentar las pastas para que los resultados de estos procesos sean satisfactorios y cómo pueden cambiarse dichas características son los temas de discusión escogidos.

Un volumen encuadernado en cartón, de 25×17 cm, compuesto de 259 páginas, 143 figuras y fotografías, y 37 tablas.

Precios: 2.000 ptas.; \$ USA 40.00.



La presa bóveda de Susqueda

A. Rebollo,
Dr. Ingeniero de Caminos

El esfuerzo del constructor de presas se sitúa, por su pretensión de perennidad, a contracorriente de las tendencias de la civilización actual, caracterizada por lo fungible. Pueden evocarse las 10.000 grandes presas en funcionamiento o en construcción que están envejeciendo y reclaman los cuidados gerontológicos para mantener y perfeccionar su servicio y garantizar su inalienable pretensión de perennidad. En la medida en que todas nuevas obras, grandes o pequeñas, son portadoras de riesgos ecológicos y, a veces, catastróficos, que aumentan con el envejecimiento, la gerontología de las presas es todo un emplazo. La acción adelantada de Arturo Rebollo en este terreno marca un camino a seguir para todos los que aman su propia obra con la devoción paternal que él ha puesto en Susqueda.

Un volumen encuadernado en cartón plastificado con lomo de tela, de $18 \times 24,5$ cm, compuesto de 408 páginas, 330 figuras y fotografías y 39 tablas.

Precios: 1.350 ptas.; extranjero, \$ USA 27.00.

NOTA:

Debido al actual cambio de la peseta con respecto al \$ USA, todos los pedidos de publicaciones del IETcc (sin incluir revistas) que se efectúen a librerías en el extranjero, e incluso directos, obtendrán una bonificación del 30 % sobre los precios marcados en dólares. Este descuento será aplicado por los vendedores —hasta nueva orden— a cualquier pedido que se formule fuera de España.