

dad, lo que asegura la perfecta impresión de todos los sonidos y ruidos con su timbre o calidad acústica peculiares.

2.^a Se suprime totalmente la complicación que en el proceso fotográfico exigen los sistemas de densidad variable para obtener valores muy críticos de "gamma", tanto en el negativo como en el positivo, ya que en este sistema la impresión carece de medias tintas, no existiendo más que negros opacos y blancos transparentes, cuyo contraste es fácil de obtener al más inexperto fotógrafo.

espectro cromático más apropiados a la emulsión sensible que se emplee, siendo perfectamente aplicables al objeto los dispositivos empleados para los lectores de sonido en los aparatos proyectores que pueden permitir la impresión del negativo de sonido sobre película positiva del tipo corriente, cuyo precio es enormemente más reducido que el de las películas especiales negativas que actualmente se fabrican a este objeto.

6.^a La potencia eléctrica necesaria para la impresión de las más elevadas frecuencias audibles es muy

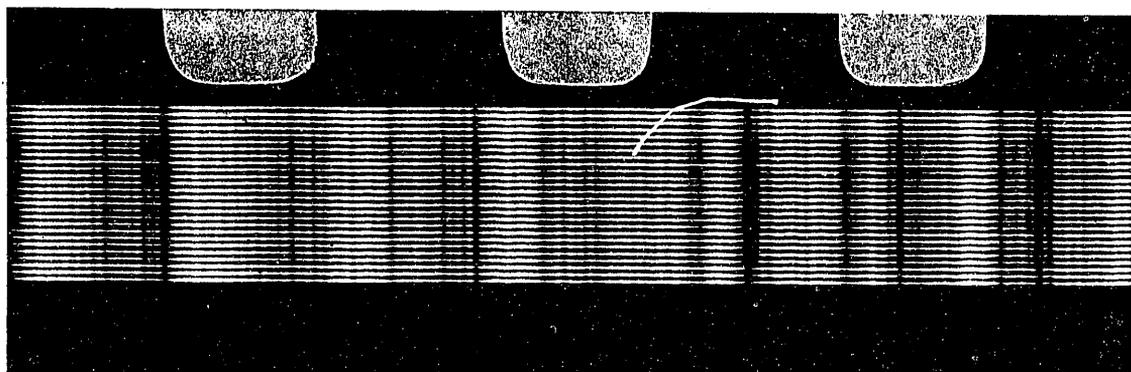


Fig. 4. Amplificación fotográfica de la banda de sonido de una película cinematográfica. Sistema multitransversal Laffón-Selgas (Factor de multiplicación, $N = 50$)

3.^a Como consecuencia de la ventaja antedicha, la obtención de copias positivas más o menos contrastadas no influye sensiblemente más que en la intensidad del sonido reproducido, pero no en su calidad, pudiendo incluso admitirse en una misma copia diferencias de opacidades de unos trozos a otros que pueden ser corregidas con el mando de volumen del amplificador durante la proyección.

4.^a A semejanza del sistema de densidad variable, no produce distorsión apreciable la falta de uniformidad en la iluminación de la ranura, tanto en la impresión como en la proyección, ni tiene que ser absolutamente precisa la situación de la banda de sonido con respecto a la ranura de proyección, inconvenientes tal vez los más serios con que han tropezado los sistemas transversales ensayados.

5.^a La impresión puede hacerse utilizando cualquier clase de fuente luminosa, de la intensidad y

reducida, lo que permite emplear amplificadores microfónicos tan sencillos y económicos como los corrientemente empleados en los aparatos de uso doméstico.

7.^a El oscilador, que constituye por sí solo la esencia del sistema, tiene la simplicidad y escaso coste de un motor de altavoz electrodinámico usual y puede adaptarse a la mayoría de los aparatos actuales de impresión del sonido, de los que aprovecharía el sistema óptico para la proyección de la ranura luminosa y el mecanismo de arrastre de la película, factores comunes a todos los aparatos de este tipo.

8.^a El precio de un equipo completo de impresionar sonido por este sistema no sería superior al que actualmente tienen en el mercado los aparatos proyectores de cine sonoro del tipo portátil para auditorios reducidos.

Ezequiel DE SELGAS
Doctor en Ciencias

Alberto LAFFÓN Y SOTO
Ingeniero de Caminos

Teoría del arco¹

VI

Experiencias en arcos de puentes

EXPERIENCIAS DE LOS INGENIEROS INGLESES

Se han llevado a cabo en la Universidad de Britosh Columbia, por H. Finlay, para estudiar la influencia del tablero en el comportamiento de la estructura: arco con tablero superior sobre palizadas, utili-

zando el procedimiento Beggs, con modelos reducidos de celuloide; aplicando cargas equivalentes a peso propio, sobrecarga y efectos por variación de temperatura; obteniendo las líneas de influencia de los momentos flectores, esfuerzos cortantes y compresiones longitudinales en clave y arranques.

Los modelos investigados corresponden a un puente de 45 metros de luz, con tablero de 6,30 metros de ancho, soportado, mediante quince montantes, por dos arcos gemelos, separados 4,20 entre ejes, con espesores variando de 0,60 metros en clave a 1,45 metros en arranques, y con un ancho de 1,20 metros (fig. 46).

¹ Véase el número de 1.^o de diciembre último, página 530.

Para proyectar el arco se utilizó el método de Whitnef, fijando la directriz como catenaria antifunicular de la carga permanente, y la variación de inercia mediante las curvas que da el autor en su trabajo "Design of Symmetrical Concrete Arches".

tados de la teoría, obteniéndose una concordancia perfecta, especialmente en lo relativo a esfuerzos cortantes y compresiones longitudinales.

El procedimiento Beggs se funda en que la línea elástica correspondiente a un desplazamiento de una

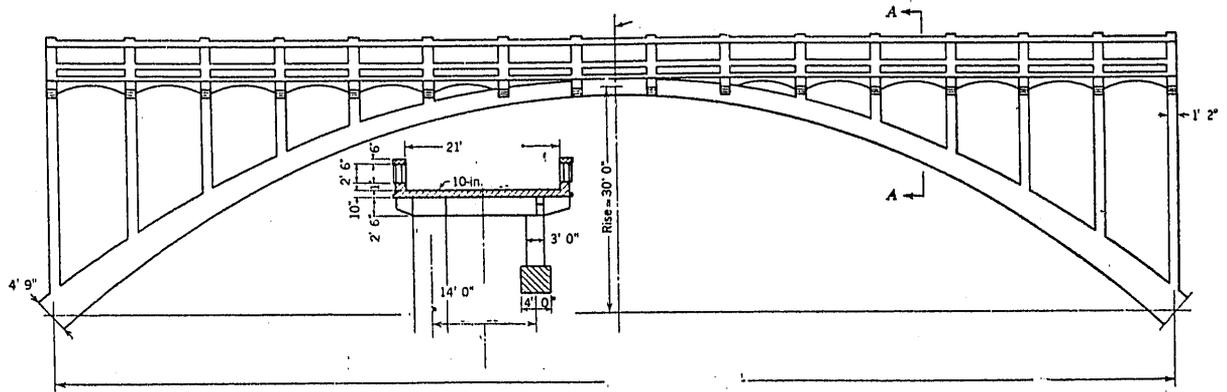


Fig. 46. Puente correspondiente a una de las experiencias de Finlay

Se efectuaron dos modelos: uno de tablero elevado (fig. 47) y otro tablero confundiendo con el arco en la parte central, cortándolos en una placa de

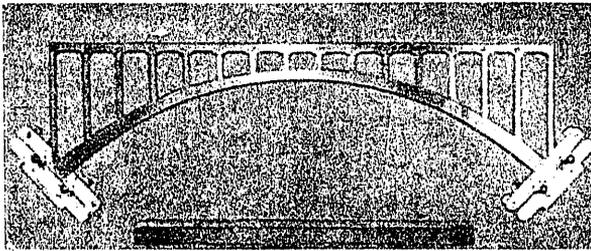


Fig. 47. Uno de los modelos de las experiencias de Finlay

celuloide de dos milímetros de espesor, a escala de 1/96, tomando los anchos de los diferentes elementos

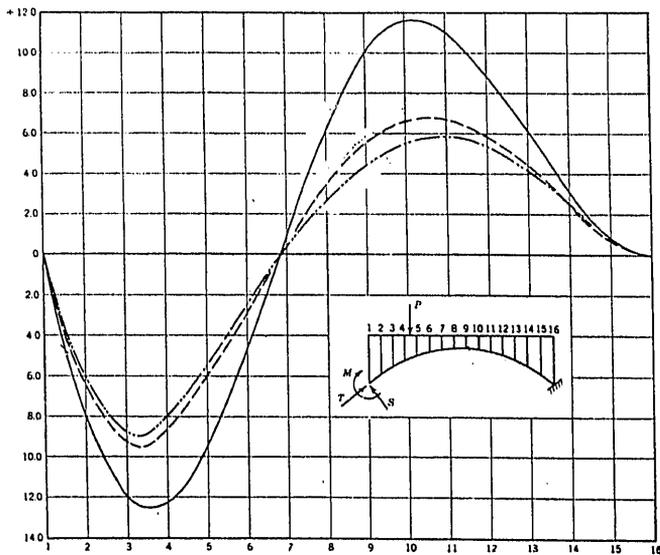


Fig. 48. Líneas de influencia de los momentos flectores en arranques. La curva llena corresponde al arco sólo; la de trazos, a tablero adyacente, y la de trazo y punto, a tablero elevado

proporcionados a la raíz cúbica de los momentos de inercia respectivos. También se estudió un modelo del arco aislado, para comprobar directamente los resul-

tos de la teoría, obteniéndose una concordancia perfecta, especialmente en lo relativo a esfuerzos cortantes y compresiones longitudinales. Esto se consigue mediante clavijas que se intercalan en orificios especialmente dispuestos a los dos lados de la sección por la que hay que cortar el modelo.

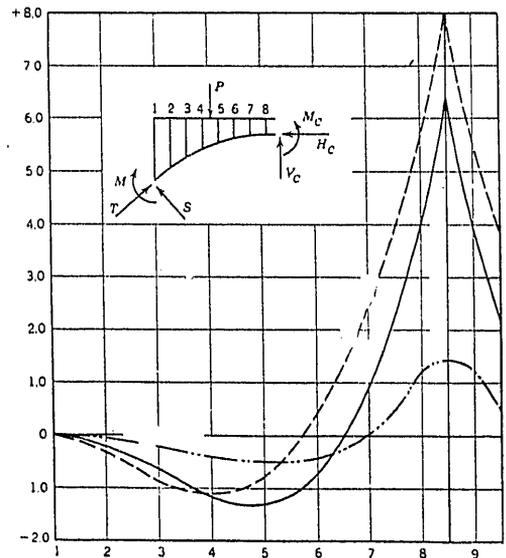


Fig. 49. Línea de influencia de los momentos flectores en clave. La curva llena corresponde a arco sólo; la de trazos, a tablero adyacente, y la de trazo y punto, a tablero elevado

Para medir las deformaciones del modelo se emplean microscopios con retícula, mediante los cuales se sigue el movimiento de puntos determinados convenientemente elegidos y marcados.

Respecto a los efectos de temperatura, se determinó el centro elástico, para lo cual se tuvo en cuenta la propiedad de este punto, en el que, aplicadas fuerzas horizontales, producen un desplazamiento de los apoyos exclusivamente horizontal. El modelo se colocaba sobre una mesa de cristal perfectamente nivelada, y fijo uno de los arranques; se le aplicaban fuerzas pa-

ralelas a la cuerda mediante un hilo que pasaba por una polea en el extremo de la mesa, con un peso en la extremidad; se observaba el movimiento del arranque libre, corriendo el hilo paralelamente a sí mismo hasta obtener traslación pura en esa dirección. También se determinaba el valor del empuje correspondiente, por

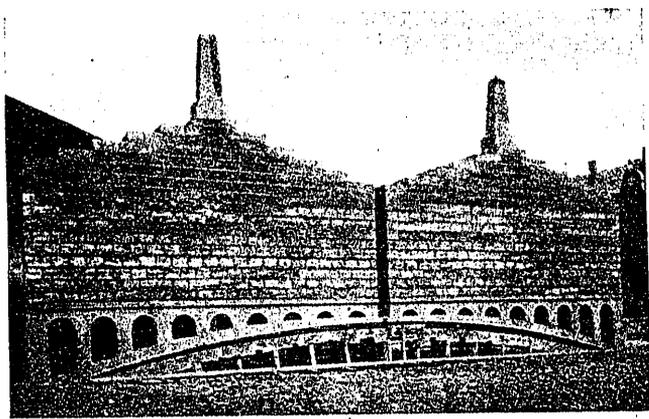


Fig. 50. Ensayo de un arco con tres articulaciones en Ehingen. El arco soportando la carga límite

comparación de las deformaciones, en relación con las correspondientes a arco libre.

También se estudió la influencia de las juntas de dilatación que cortan el tablero en puntos al tercio de la luz.

En las figuras 48 y 49 aparecen las líneas de influencia de los momentos flectores en clave y arranques para los tres casos de estructura: arco independiente, arco con tablero solidario y arco con tablero elevado. Claramente se observa la reducción aportada por el tablero, especialmente en el tercer caso.

De las líneas de influencia se dedujeron los valores de los elementos de cálculo para peso propio y sobrecarga, comprobándose las reducciones por acción solidaria de arco y tablero, llegando en el caso de tablero elevado a valores de 75 por 100 para los momentos positivos en clave.

Para la acción de los cambios termohigrométricos se obtiene, naturalmente, aumento, que varía de 1,36 a 1,92 para los empujes; de 1,28 a 1,51 para los momentos en arranques, y de 1,58 a 3,73 para momentos en clave.

El autor obtiene las siguientes conclusiones:

1.^a La posición verdadera de la línea de presiones para el peso propio es bastante diferente de la considerada corrientemente. Existen momentos debidos al peso propio de relativa importancia, aun en el caso de directriz antifunicular de los esfuerzos. Una exactitud extraordinaria en la fijación de la directriz es probablemente inútil.

2.^a Los momentos flectores, esfuerzos cortantes y compresiones longitudinales debidos a la sobrecarga, correspondientes a clave y arranques, se reducen—en algunos casos extraordinariamente—por la acción del tablero, excepto los momentos flectores en clave para casos de tablero adyacente. La ayuda del tablero en

el comportamiento del arco es efectiva, pero indeterminada.

3.^a La posición de la línea de empuje para los cambios termohigrométricos varia mucho. La acción del tablero la hace descender, aumentando el valor absoluto del empuje.

4.^a La influencia de las juntas de dilatación es muy apreciable, especialmente en la situación de la línea de empujes para cambios termohigrométricos, y en el valor de los empujes.

EXPERIENCIAS DE LOS INGENIEROS ALEMANES

Los ingenieros alemanes vienen experimentando sobre arcos desde hace mucho tiempo; así podemos citar las siguientes experiencias:

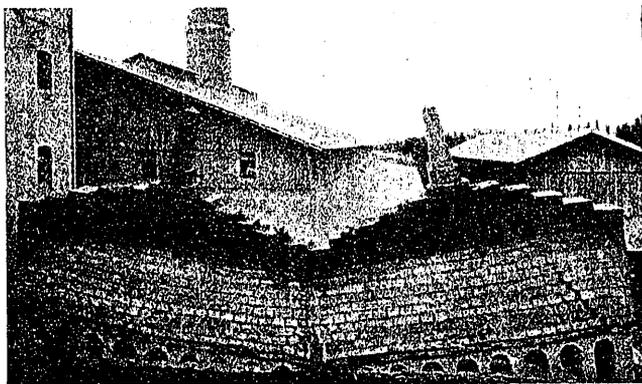


Fig. 51. Ensayo de un arco con tres articulaciones en Ehingen. El arco roto

A. Wayss; Berlín, 1886.—Ensayos a la rotura de bóvedas de 4,50 m de luz, 0,40 m de flecha y 6,53 metros de anchura, con espesor de 5 cm y diversas armaduras tipo Monier.

Breslau, 1886.—Ensayos de una bóveda de hormigón armado tipo Monier, de 5,19 m de luz, 1 m de ancho y 7 cm de espesor.

Wayss-Bauschinger; Munich, 1887.—Arco de 10 metros de luz, rebajado al 1/10, con 1 m de ancho y 10,7 cm de espesor, armado débilmente.

Wayss-Matzleinsdorf, 1889.—Puente de arco para ferrocarril, hormigón armado tipo Monier, de 10

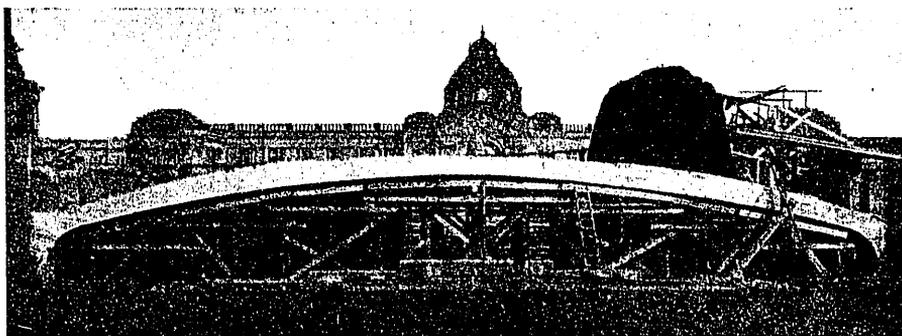


Fig. 52. Vista del arco ensayado en Düsseldorf

metros de luz, con espesores variando de 15 cm en clave a 20 en arranques. Se probó a comportamiento normal al paso de una locomotora, y en el año 1830 se sobrecargó con carriles hasta la rotura.

Stuttgarter Zementfabrik Blanbeuren; Ehingen,

1896-1898.—Ensayo de un arco de tres articulaciones (figuras 50 y 51), de 20 m de luz, 1,54 de flecha

En abril de 1898 se aumentó la sobrecarga hasta 3,40 m de altura, estudiándose flechas y tensiones.

En septiembre del mismo año se añadió una sobrecarga escalonada a 45°, y en 1899 se incrementó hasta la rotura.

De estas experiencias se dedujeron las siguientes conclusiones:

1.^a Es condición primordial para el buen comportamiento de un arco la ejecución cuidadosa de la cimentación de los estribos.

2.^a Es muy conveniente colocar armadura para absorber las tensiones de tracción que puedan producirse.

3.^a Lo mismo para la sobrecarga que para las variaciones de temperatura, se observó un alivio del trabajo del hormigón

por intervención del hierro. La adherencia entre ambos materiales resultó suficiente en todos los casos.

4.^a La protección del hierro a la oxidación fué efectiva.

5.^a La resistencia a la rotura del puente se corresponde con la resistencia a compresión de los hormigones empleados.

Asociación del Hormigón; Düsseldorf, 1908.—Estas experiencias formaron parte de una serie que sobre comportamiento de estructuras llevó a cabo la Asociación Alemana del

Hormigón en los años 1902 a 1908. Colaboraron la Asociación de Fabricantes de Cemento, la Cámara de

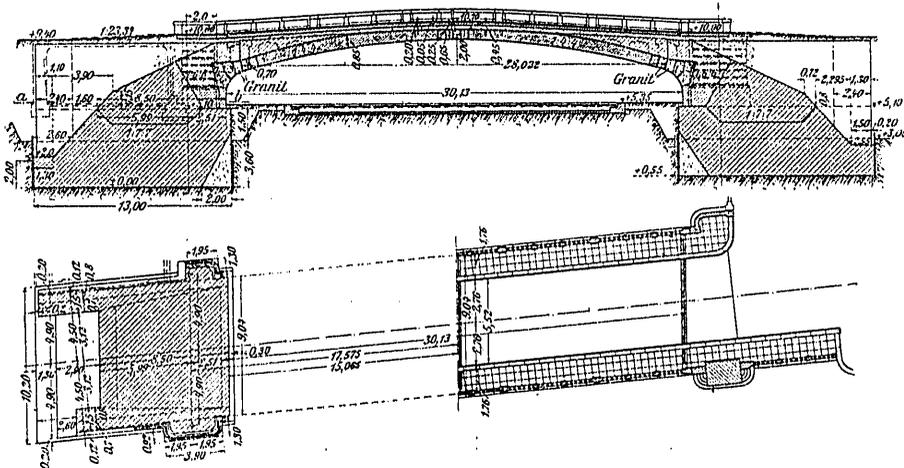


Fig. 53. Alzado y planta del arco ensayado en Düsseldorf

y 1,25 de ancho; los espesores variaban de 12 cm en clave a 32 cm. La directriz se había elegido de modo a obtener tensiones de compresión y tracción, armán-

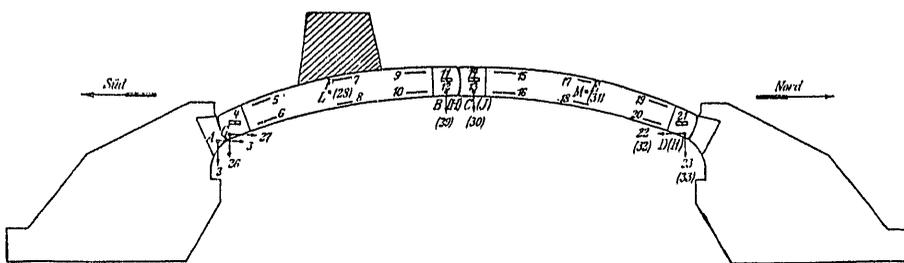


Fig. 54. Situación de la sobrecarga y de los aparatos de medida en el arco ensayado en Düsseldorf

dose con tres hierros en doble 'I', lo que permitió estudiar la protección del hierro a la oxidación cuando está embebido en hormigón.

Se cargó con briquetas de cemento hasta 1,40 me-

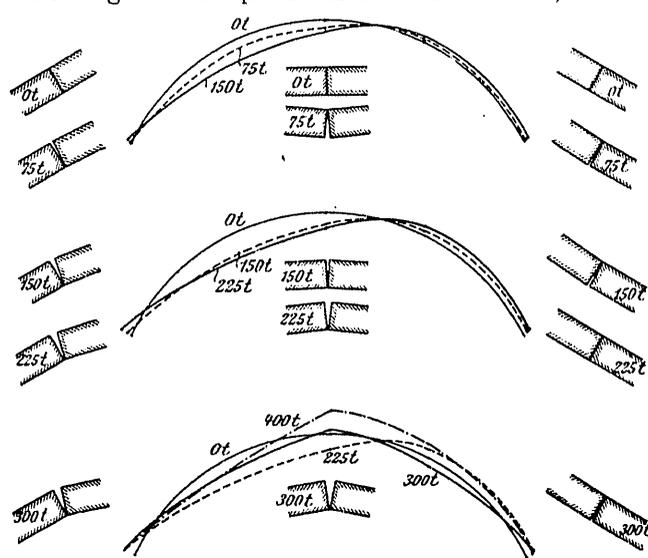


Fig. 55. Comportamiento de la directriz y de las rótulas para cargas crecientes, del puente ensayado en Düsseldorf

tros de altura, manteniéndose esta carga un año, durante el cual se estudiaron las variaciones de flecha a los efectos termohigrométricos y las tensiones en clave, riñones y arranques.

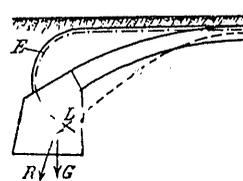


Fig. 56. Experiencias de Moller. Distribución de prestones en el estribo corriente

la Industria y Comercio de Düsseldorf y el Gobierno. Las medidas se llevaron a cabo por el Laboratorio del Politécnico de Berlín, y la construcción del puente, por la Casa Dickerhof & Widtmann.

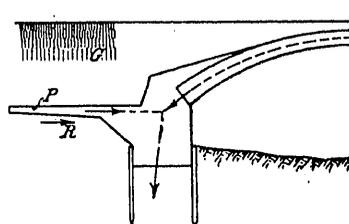


Fig. 57. Experiencias de Moller. Distribución de prestones en el estribo con pantalla de compensación

Se trata de un arco de tres articulaciones (figuras 52 y 53), de 28,02 m de luz, 1,92 m de flecha,

9,04 m de anchura y espesores variando de 65 cm en clave y 70 cm en arranques, a 85 en riñones.

Los puntos de vista directores eran:

1.º Comprobación del comportamiento elástico del arco por comparación de valores calculados y medidos directamente.

4.º Las rótulas de granito se comportaron excelentemente, llegando a soportar esfuerzos de 300 toneladas.

5.º Los resultados deducidos por el cálculo están de perfecto acuerdo con los obtenidos experimentalmente.

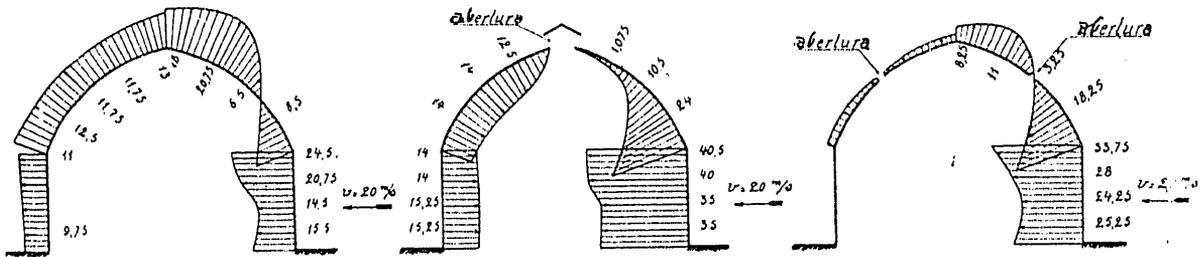


Fig. 58. Experiencias de Eiffel sobre modelos de hangares para dirigibles (tipo Belfort)

2.º Estudio de la eficacia de las rótulas de piedra para su aplicación a puentes; y

3.º Comportamiento de los estribos.

En la figura 54 aparecen situados los aparatos para medición de deformaciones longitudinales y angulares, así como la sobrecarga utilizada. Los tra-

M. Möller; Branchsweig, 1908.—Estas experiencias se llevaron a cabo sobre un arco de 20 m de luz, rebajado al 1/16,4, ancho de 1,50 m y espesores variando de 10 a 15 cm. El arco estaba reforzado por sus dos caras mediante vigas armadas con armadura de angulares y pletinas que le servían de timpanos. Se trataba de estudiar el comportamiento de los arcos muy rebajados con tímpanos superpuestos (fig. 56), a los efectos de situación real de la curva de presiones, y además la influencia de una pantalla horizontal (fig. 57) en la estabilidad del estribo.

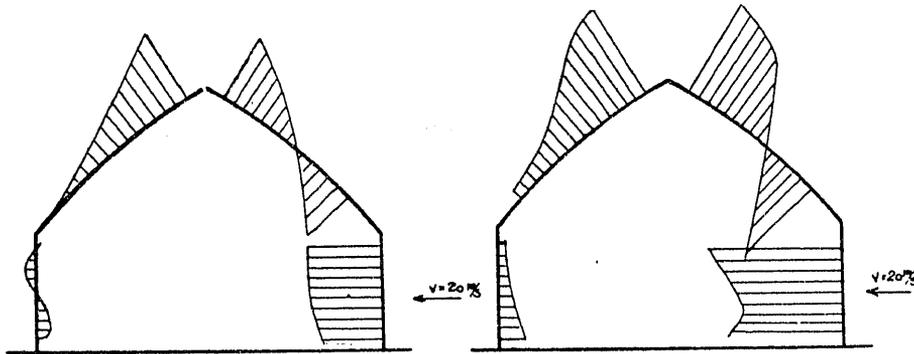


Fig. 59. Experiencias de Eiffel sobre un modelo de cobertizo

zos 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 16, 17, 18, 19 y 20 corresponden a extensómetros; los 4, 11, 14 y 21, a clinómetros; las G, L, B, C, H y D, a flechímetros, y los 3 y 2, a medición de la deformación del apoyo sur.

Para el estudio de los hormigones se utilizaron probetas cúbicas de 38 cm de lado, determinándose la siguiente ley para variación de tensiones y deformaciones:

$$\epsilon = \frac{\sigma^{1,1}}{550\,000}$$

En la figura 55 se indican las transformaciones de la directriz, así como el giro de las rótulas para cargas crecientes. Puede observarse un cambio en la forma de las elásticas al llegar la carga a 300 ton, en que se produce un apuntamiento del arco en su rótula central.

Se dedujeron las siguientes conclusiones:

1.º El arco resistió hasta una sobrecarga de 423 toneladas, que es, aproximadamente, 8,5 veces su propio peso.

2.º La tensión de compresión máxima alcanzada fué 196 kg/cm². Como el arco estaba calculado para 40 kg/cm², había un coeficiente de seguridad de 5.

3.º A consecuencia de la gran disimetría de la sobrecarga, se produjeron tensiones de tracción muy elevadas, llegando a 25 kg/cm².

EXPERIENCIAS EN ARCADAS DE CUBIERTA

Para complementar la exposición de las experiencias llevadas a cabo sobre arcos, vamos a resumir las más interesantes que se han realizado para estudiar la distribución del esfuerzo del viento

en las cubiertas arqueadas. Estas experiencias son de un extraordinario interés, pues correspondiendo a este esfuerzo las cargas más importantes que actúan

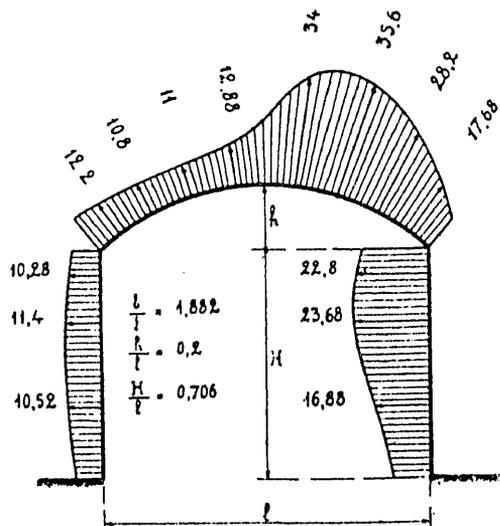


Fig. 60. Experiencias de Coupard sobre modelos de cubiertas (viento horizontal a 20 m/seg)

en las cubiertas arqueadas. Estas experiencias son de un extraordinario interés, pues correspondiendo a este esfuerzo las cargas más importantes que actúan

en la estructura, es preciso estudiar cuidadosamente su distribución a lo largo del contorno.

Digna continuación de los ensayos de Eiffel fueron los de Coupard en el laboratorio de Saint-Cyr,

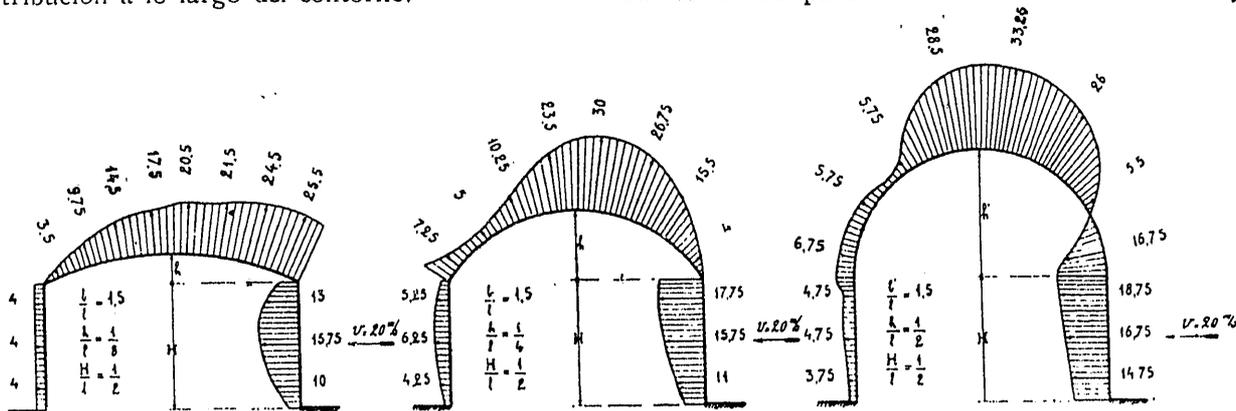


Fig. 61. Experiencias de Bounkin & Teheremoukhin sobre modelos de cubiertas

Se han llevado a cabo sobre modelo reducido en túnel aerodinámico, unas veces para la investigación del problema general—Eiffel, Coupard, Bounkin &

en 1924, sobre diversos modelos de edificios, entre los cuales el que aparece en la figura 60.

Los ingenieros italianos han experimentado tam-

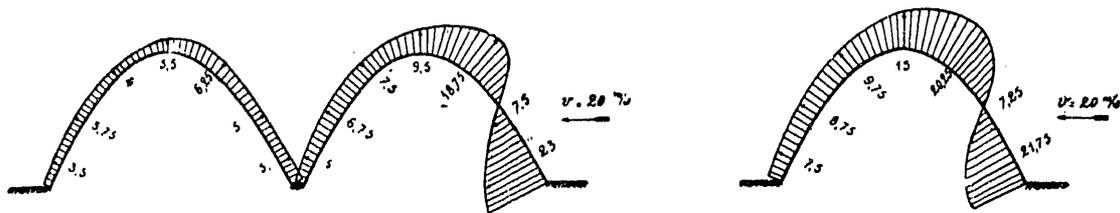


Fig. 62. Experiencias de Allard sobre modelos de hangares parabólicos. Viento horizontal

Teheremoukhin, etc.—y otras para resolver casos particulares de inmediata aplicación en construcción.

bién sobre modelos de cobertizos para uso de la aeronáutica militar.

Los más antiguos son los realizados por Eiffel en

Entre las experiencias alemanas, son interesantes

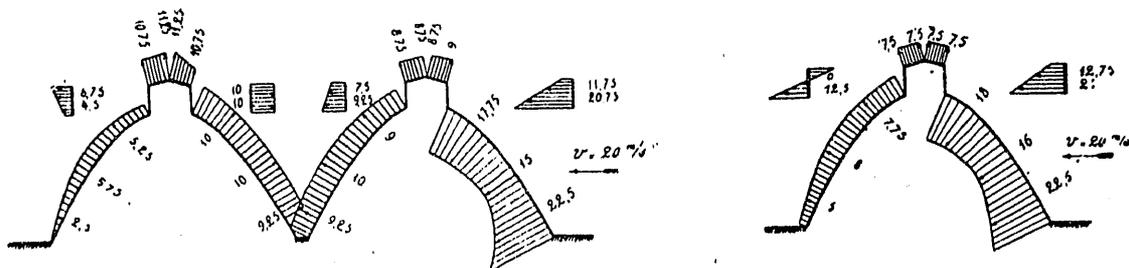


Fig. 63. Experiencias de Allard sobre modelos de hangares parabólicos con linterna. Viento horizontal

su famoso laboratorio de Auteuil, en 1914, sobre diversos modelos de hangares para dirigibles. Uno de los problemas más interesantes resueltos por él fué

las de Gruenig, en 1918, que llegó a las siguientes conclusiones:

1.ª La presión ejercida sobre la pared de un edi-

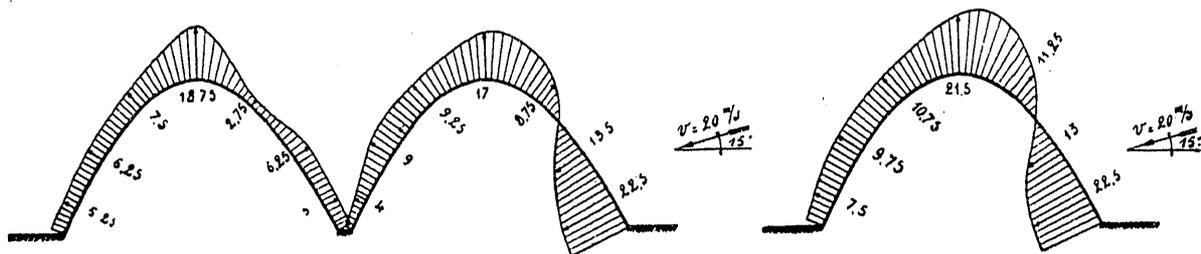


Fig. 64. Experiencias de Allard sobre modelos de hangares parabólicos. Viento inclinado

la determinación de la influencia de los orificios de ventilación, y la eficacia de una distribución adecuada de los mismos en la reducción de las presiones sobre la cubierta (figuras 58 y 59).

ficio expuesto al viento es sólo una fracción de la correspondiente sobre placa delgada de igual superficie.

2.ª La succión en la cumbre puede sobrepasar a la presión positiva en un 50 por 100.

