

Comentarios explicativos

ARMADURAS DE MADERA DEL HANGAR DEL ARMA DE INGENIEROS EN MARAC

0. INTRODUCCION

En este número 10 de la Revista de Edificación se comenta la lámina número 108 de la obra "TRAITE DE L'ART DE LA CHARPENTERIE", comenzando así un nuevo tema dedicado a las ESTRUCTURAS DE MADERA PARA CUBIERTAS DE GRANDES ESPACIOS utilizadas en otras épocas.

Las armaduras de madera que se describirán a continuación fueron diseñadas en 1825 por el coronel A.R. Émy para cubrir sin apoyos intermedios un hangar del Arma de Ingenieros en Marac, cerca de Bayona. Las dimensiones interiores de este espacio eran de 20 metros de ancho por 56 de largo. Para su cubrición se utilizaron 18 armaduras iguales separadas entre sí 3 metros.

1. DESCRIPCION GENERAL DE LA ARMADURA

1.1 Cada una de estas armaduras, según se ve en la figura número 9 de la lamina citada, estaba formada fundamentalmente por:

- un arco de medio punto de 10 metros de radio colocado en su parte interior,
- dos pies derechos en sus laterales, coincidiendo con los arranques del arco,
- dos pares inclinados que determinan la pendiente de la cubierta y que, a su vez, se apoyaban en cada pie derecho y en el arco,
- dos jabalcones tangentes al arco, dispuestos entre cada par y pie derecho,
- un cepo horizontal tangente al arco en su parte superior, que trabaja como tirante.

Todas estas piezas estaban unidas entre sí con ensambladuras de diferentes tipos y mediante 22 bridas de acero, 19 cepos radiales de madera de distintos tamaños y numerosos pernos pasantes.

Con este tipo de armaduras queda totalmente libre el espacio entre el suelo y el intradós de sus arcos.

1.2 El elemento fundamental de cada una de estas armaduras de la cubierta del hangar es este gran arco laminado, formado por maderas largas y estrechas superpuestas y curvadas fácilmente según la forma semicircular del arco debido a la gran flexibilidad de cada una de ellas; su conjunto recuer-

da a la forma de las ballestas de suspensión de algunos coches de caballos.

De la correcta ejecución de este arco dependerá en gran parte la resistencia y buen comportamiento mecánico de este sistema de armaduras de madera, de gran luz libre entre apoyos para aquella época.

2. DATOS Y DETALLES CONSTRUCTIVOS Y FUNCIONALES

2.1 En cada una de las dos piezas de los cepos radiales y en la zona de las caras planas del arco que coinciden con ellos, se realizan unas entalladuras de 1 centímetro de profundidad, de manera que entre ellos formen unas ensambladuras de 2 centímetros con la doble misión de mantener rígido el arco e impedir que se deslicen entre sí las piezas de madera superpuestas que lo forman.

2.2 Los pies derechos laterales quedan separados 10 centímetros de los muros de cerramiento, pero los tres primeros cepos radiales de cada lado se prolongan hacia afuera unos 20 centímetros para alojarse en unas cajas de 30 centímetros de profundidad dejadas en dichos muros de albañilería. Esta disposición constructiva no tiene por objeto utilizar la capacidad resistente de los muros, ya que el conjunto de la armadura no ejerce ningún empuje sobre ellos; con esta disposición constructiva sólo se pretende impedir su vuelco en el sentido longitudinal del edificio.

2.3 Como incrementar el número de cepos radiales sería aumentar inútilmente la madera de la armadura, se han colocado intercalados entre ellos una serie de bridas (figuras 1 y 2) y pernos de acero que, al presionar entre sí las piezas de madera superpuestas que forman el arco, oponen gran resistencia al deslizamiento de dichas piezas.

Las bridas metálicas obligan a que se produzca un contacto continuo entre las superficies de dichas piezas superpuestas.

Los pernos aumentan la presión de contacto y dan lugar a la formación de unos topes interiores ya que, al ser encajados a golpes de maza en los huecos taladrados muy justos, no dejan ninguna holgura de movimiento en las piezas que en cada caso atraviesan

TRAITÉ
DE L'ART
DE LA CHARPENTERIE

PAR A. R. ÉMY, COLONEL DU GÉNIE EN RETRAITE,

OFFICIER DE L'ORDRE ROYAL DE LA LÉGION-D'HONNEUR, PROFESSEUR DE FORTIFICATION A
L'ÉCOLE ROYALE MILITAIRE DE SAINT-CYR, MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES BELLES-LETTRES,
SCIENCES ET ARTS DE LA ROCHELLE, DE LA SOCIÉTÉ ROYALE D'AGRICULTURE ET DES ARTS DU
DÉPARTEMENT DE SEINE-ET-OISE, DE L'INSTITUT HISTORIQUE, ETC.

DEUXIÈME ÉDITION, revue avec soin,

SUIVIE

D'ÉLÉMENTS DE CHARPENTERIE MÉTALLIQUE,

ET PRÉCÉDÉE D'UNE

NOTICE SUR L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1867 (SECTION DES BOIS),

PAR

L. A. BARRE,

Ingénieur civil, ancien élève de l'École impériale et centrale des arts et manufactures,
Professeur à l'Association polytechnique.

TOME PREMIER.

PARIS,
DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE VICTOR DALMONT,

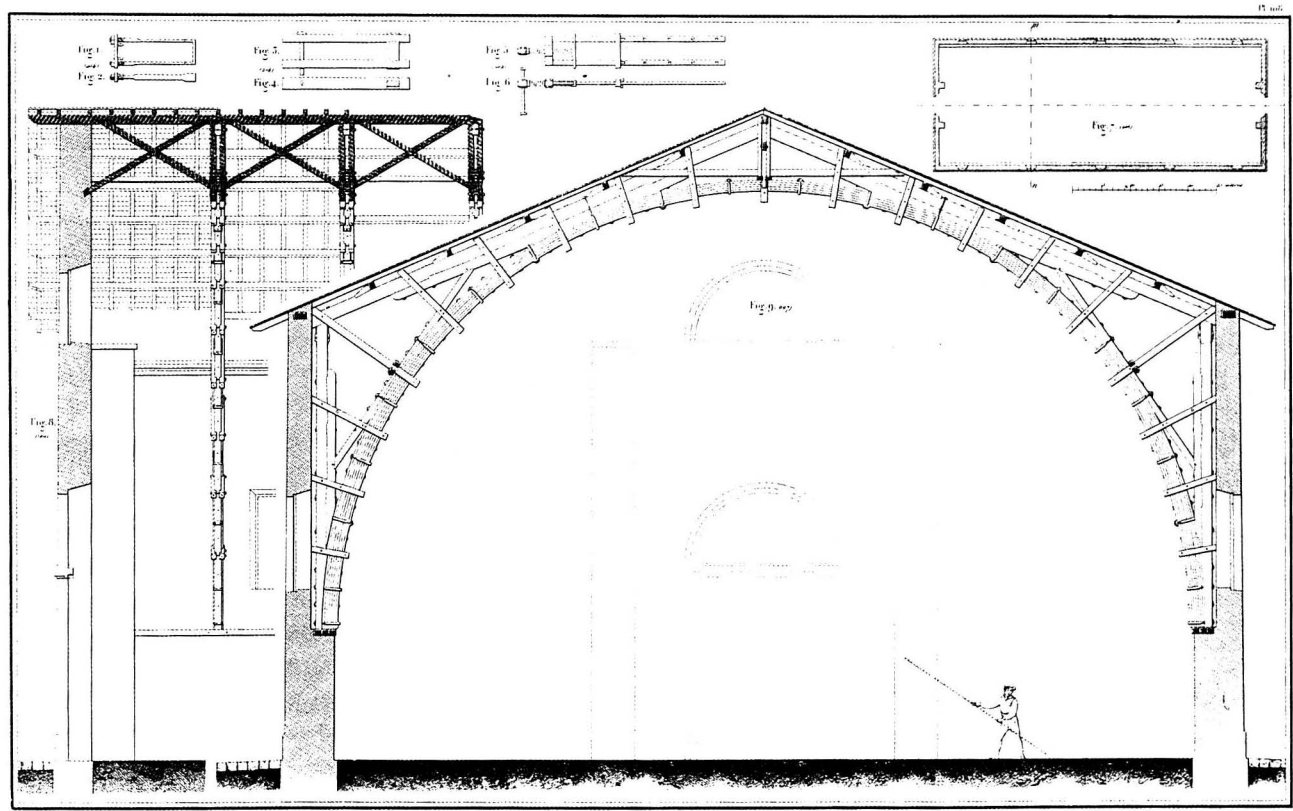
Précédemment Carilian-Gourey et Victor Dalmont,

Libraire des corps impériaux des Ponts et Chaussées et des Mines,
QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49.

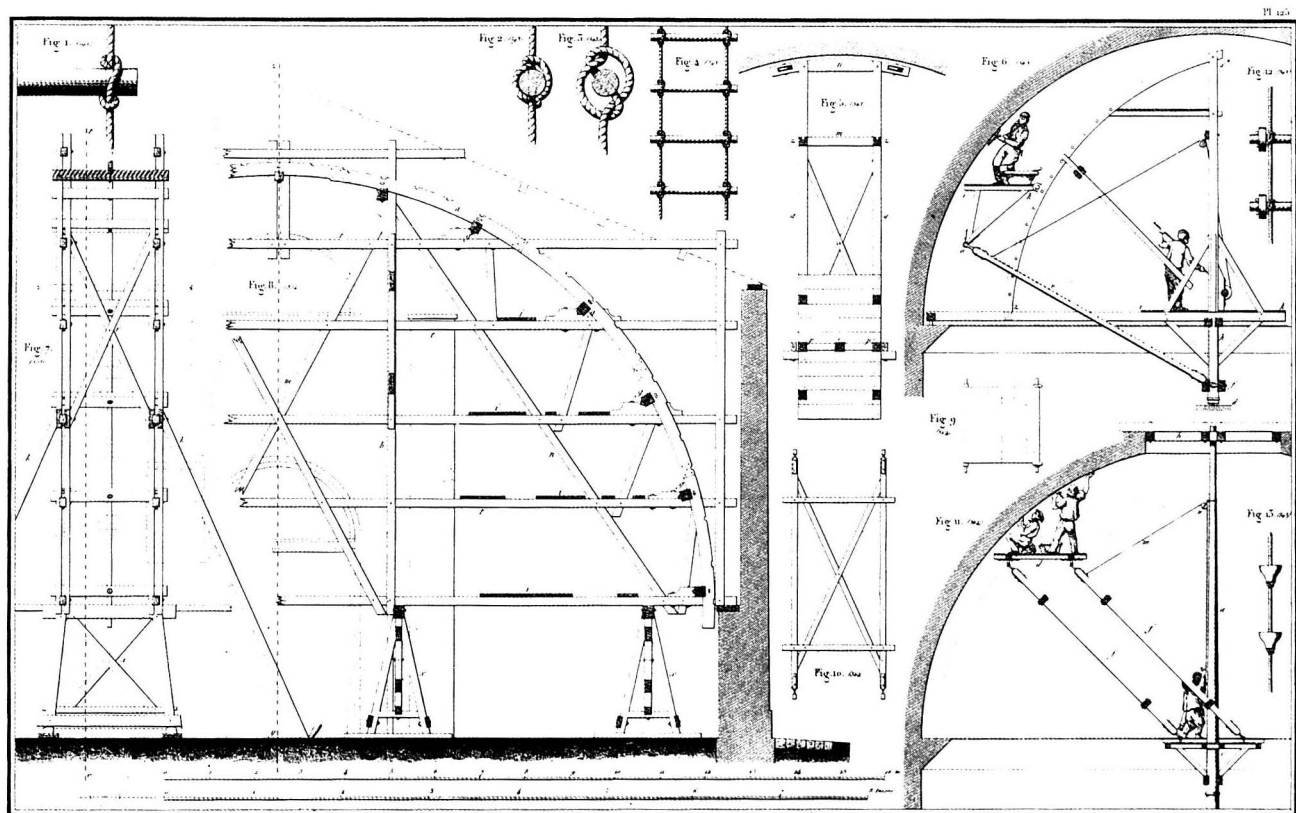
1869

Droits de traduction et de reproduction réservés.

*Datos de la publicación de la que procede la lámina
coleccionable*



Reproducción reducida de la lámina coleccionable, en formato de doble hoja, que se incorpora en este número de la revista



Reproducción reducida de la lámina que representa el andamiaje móvil utilizado para montar las armaduras de madera del hangar de Marac

perpendicularmente. Estos pernos, de 18 milímetros de diámetro aproximadamente, están separados entre sí unos 80 centímetros, la experiencia indica que no cortan peligrosamente las fibras de las maderas.

2.4 Se aprecia que los cepos, las bridas y los pernos hacen que las piezas curvadas del arco trabajen solidariamente y que se opongan con gran fuerza a que estas piezas se enderecen. En un raco laminado de cinco capas de piezas curvadas adosadas y de 20 metros de luz, la longitud del extradós es unos 60 centímetros mayor que la del intradós, ello hace que su enderezamiento sea imposible.

Al comenzar su construcción, los carpinteros temían que en este arco laminado se produjera un rápido enderezamiento de su curvatura; pero, en diversas experiencias anteriores, el coronel A. R. Émy había comprobado que la tendencia a abrirse de este tipo de arcos era muy pequeña.

Los arcos laminados atados únicamente con las bridas, sin cepos ni pernos, dejados totalmente libres en la plataforma horizontal sobre la que se habían montado, sólo se abrieron 16 centímetros, es decir, 8 centímetros hacia cada extremo. Un solo hombre podía corregir sin esfuerzo esta pequeña deformación ya que el empuje que como resorte produce este arco es casi nulo.

2.5 En cada armadura, están dispuestos exteriormente al arco tres grandes triangulos formados por los pies derechos laterales, los pares, los jabalcones y el cepo horizontal que trabaja como tirante. La unión ensamblada de éstos con el arco mediante los cepos radiales dan como resultado una armadura de gran rigidez que no produce empujes laterales sobre los muros de cerramiento.

2.6 Las piezas de madera superpuestas que formaban el arco laminado tenían 55 milímetros de espesor, 13 centímetros de anchura y de 12 a 13 metros de longitud de manera que, con dos piezas y media de estas maderas colocadas con las juntas a tope, era suficiente para conseguir el desarrollo del arco. Las juntas estaban distribuidas de forma que no coincidiesen en dos capas superpuestas seguidas y que todas coincidieran con los cepos radiales; en cada capa no debe haber más de tres juntas, normalmente había dos, de manera que en todo el arco existan un total de diez a doce juntas.

Todas las piezas de la armadura eran de 13 centímetros de espesor o anchura, como el arco y los pares, excepto los pies derechos laterales que eran de 20 centímetros.

2.7 Las armaduras se mantienen a distancias de tres metros entre sí mediante las correas y unos cepos de atado horizontales colocados en la parte inferior de los cepos radiales que a partir de cada apoyo ocupan el cuarto lugar y del que, colocado

verticalmente, coincide con el eje central del arco.

La figura 8 corresponde a una vista parcial de la sección vertical longitudinal del hangar, en ella se representan las armaduras y las diversas piezas de atado entre ellas, así como su rigidización con cruces de San Andrés. También se representan las piezas que forman los tableros de los faldones de la cubierta.

3. ENSAYOS Y PRUEBAS DE CARGA DURANTE LA FASE DE DISEÑO DE LAS ARMADURAS

3.1 Este sistema de armaduras debía servir al coronel A. R. Émy como estudio para otras armaduras que quería construir en distintos edificios. Para ello, se impuso dos condiciones en su diseño. La primera, era que las armaduras no debían ejercer empujes sobre los muros laterales y, la segunda, que pudiera soportar una cubierta pesada sin perder su elegancia y simplicidad. Debido a ello, construyó previamente algunas armaduras para someterlas a unas pruebas de carga mayores de las que tendrían que soportar en la realidad y, así, determinar experimentalmente el número de hojas que deberían componer los arcos laminados que formaban parte de ellas. Inicialmente los arcos se hicieron de cinco hojas superpuestas.

3.2 Se utilizó un andamio móvil para montar y mantener verticales las armaduras que se deseaban ensayar, que se apoyaban sobre unas plataformas anchas y gruesas de madera de encina, colocadas sobre el suelo compactado y nivelado previamente. De cada uno de los puntos correspondientes a los apoyos de las diez correas y al de la viga de la cumbrera, se colocaron largas cuerdas de las que se colgaron unas plataformas de madera separadas unos 50 centímetros del suelo. Poco a poco se fueron cargando simultáneamente todas las plataformas con piezas de hierro fundido hasta alcanzar una carga de 1.000 kilos en cada una, lo cual hacía un total de 11.000 kilos de carga de prueba en cada armadura ensayada, que era un 25% superior a la carga que debía soportar en el supuesto que la cubierta fuera de teja cerámica y estas estuviesen totalmente saturadas de agua.

Estas pruebas de carga se hicieron sin colocar los pernos.

3.3 A medida que se incrementaba la carga de ensayo la armadura iba descendiendo. Después de 24 horas de carga se comprobó la curvatura del arco mediante un radio de madera de 10 metros de longitud fijado, en uno de sus extremos en un eje horizontal de hierro colocado con precisión en el centro del arco. De esta manera se fueron comprobando las deformaciones que experimentaba cada pieza de la armadura.

3.4 El análisis detallado de las deformaciones

observadas en el ensayo de carga llevó al coronel A. R. Émy a la conclusión de que la rigidez en los arcos no debía ser la misma en todos sus puntos, debido a lo cual, era necesario reforzar con hojas de madera suplementarias los tramos del arco en los que su curvatura había experimentado mayores deformaciones. De esta manera quedarían equilibradas las secciones de todos los tramos del arco con los esfuerzos que recibirían al entrar en carga cuando ya estén en servicio, con el fin de que su curvatura permanezca invariable. Para conseguirlo, en cada mitad del arco se añadieron otras hojas de madera del mismo espesor. Se colocó una en parte del extradós del arco y otras dos en su intradós. Después de lo cual los espesores de las diferentes partes del nuevo arco fueron los siguientes:

- desde los arranques hasta el cepo radial número 1: 7 hojas (38,5 centímetros de espesor),
- desde el cepo radial número 1 hasta la brida metálica colocada entre los cepos radiales números 6 y 7 : 8 hojas (44 centímetros de espesor),
- desde la brida citada hasta el cepo radial número 9: 6 hojas (33 centímetros de espesor),
- entre los dos cepos radiales número 9, próximos a la cumbre de la armadura: 5 hojas (27,5 centímetros de espesor).

3.5 Para conseguir una mayor rigidez del conjunto de la armadura, además de estos refuerzos del arco, se reforzaron también los pies derechos acoplándoles, por su cara interior, otra pieza de madera de la misma anchura ensamblada con cada uno de ellos y, de la misma manera, también se reforzaron los pares por su cara inferior.

3.6 Las piezas de la armadura se hicieron con madera de roble ya que, en los espesores y longitudes utilizados, se pueden curvar casi con la misma facilidad que si fuesen de madera de pino, pero con la ventaja de que con la madera de roble no se producen aplastamientos en las zonas de las bridas metálicas ni en las de las cabezas y arandelas de los pernos porque admite presiones mucho mayores que la madera de pino.

3.7 Posteriormente se volvió a ensayar la armadura ya reforzada sometiéndola a las mismas cargas de prueba, observándose que no descendía, ni cambiaba de forma, ni se producían empujes horizontales sobre los pies derechos laterales.

4. COLOCACION Y MONTAJE DE LAS ARMADURAS

4.1 Posteriormente se construyeron las 18 armaduras del hangar según este modelo ya ensayado satisfactoriamente, aumentándose apreciablemente la resistencia e indeformabilidad del arco al

colocar en él todos los pernos que van situados entre los cepos radiales de madera y las bridas metálicas; de esta manera es como se representa en las figuras 8 y 9 de la lámina.

4.2 Por razones de plazos de ejecución las armaduras debían hacerse mientras se construían los muros perimetrales del hangar, lo que obligaba a colocar el taller de carpintería de armar fuera del edificio en construcción. Esto obligó a su vez a no poder colocar en el hangar las armaduras totalmente ensambladas debido a la dificultad de transportarlas durante un largo trayecto sin dañar sus ensambladuras, y por no poder pasar por debajo de los muros de cerramiento ya construidas sin romperlos debido a sus grandes dimensiones.

Por ello, fue necesario construir cada armadura fuera del edificio, para lo cual, se preparó sobre el suelo una superficie plana y se trazó sobre ella un dibujo a escala real de la armadura completa. Sobre este dibujo se dispuso una plantilla, también a escala real, del perfil que debía tener el intradós del arco una vez terminado. Sobre esta plantilla se iban curvando y fijando las sucesivas capas de madera hasta completar el espesor que este arco debía tener en cada tramo, para lo cual se utilizaban cárceles fijas de madera con cuñas de presión (figuras 3 y 4), cárceles graduables de acero con tornillo de presión (figuras 5 y 6), y bridas de acero (figuras 1 y 2).

Una vez terminado el arco se iban ensamblando y acoplando el resto de las piezas hasta completar toda la armadura y, después de numerar cada pieza, se desmontaba todo el conjunto.

4.3 Posteriormente, cada una de estas armaduras se volvía a montar en el lugar exacto del hangar donde debían quedar colocadas definitivamente. Estas armaduras se apoyaban directamente sobre unos durmientes colocados sobre la repisa que con este fin se había dejado en los muros laterales (figura 9).

Para realizar esta operación el coronel A. R. Émy diseñó también un andamiaje móvil específico que permitía repetir sobre él las mismas operaciones que anteriormente se habían realizado durante su construcción en el suelo. Con el fin de comprender mejor las características de la fase de montaje de estas armaduras, en la página 95 se ha colocado también una reproducción reducida de la lamina que representa en sus figuras 7 y 8 este andamiaje móvil, que ya fue comentado en el número 9 de esta revista.

Miguel Angel Gutiérrez Fernández.

