



EL PICADERO DE MOSCÚ, UN ALARDE ESTRUCTURAL DE LA ÉPOCA NAPOLEONICA OBRA DEL ESPAÑOL AGUSTÍN DE BETHENCOURT

El 15 de marzo de 2004 se incendió y se destruyó totalmente el picadero de Moscú, un edificio de 1818, obra del ingeniero español Agustín de Bethencourt. También conocida como Sala de Ejercicios Ecuestres de Moscú originalmente se utilizaba para el entrenamiento de las tropas de caballería durante los duros inviernos moscovitas y en la actualidad se utilizaba como sala de exposiciones, conocida como Manezh. Tras el incendio, el edificio se reconstruyó en un tiempo record de un año. En su inauguración, el alcalde de Moscú lo destacó como ejemplo de gran ingeniería que sigue sorprendiendo por su estructura. Fue un encargo del zar Alejandro I, vencedor en la frustrada invasión de la tropas napoleónicas a Bethencourt. El edificio era de factura neoclásica destacando por sus enormes dimensiones, especialmente en la cubierta, de un solo vano. Bethencourt impresionó al zar con esta obra tanto por la celeridad en su construcción como por la enorme capacidad organizativa del ingeniero canario (disponía incluso de calefacción). Debido al interés demostrado por este edificio, Bethencourt publicó en 1819 en San Petersburgo, una monografía titulada Descripción de la sala del Ejército de Moscú donde explicaba toda la obra. Se citará más adelante, extraída de la Memoire que recoge Jean Baptiste Rondelet, en su *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*. Bethencourt, ingeniero que hoy llamaríamos De Caminos, recaló en Moscú después de una dilatada y fructífera carrera profesional y de

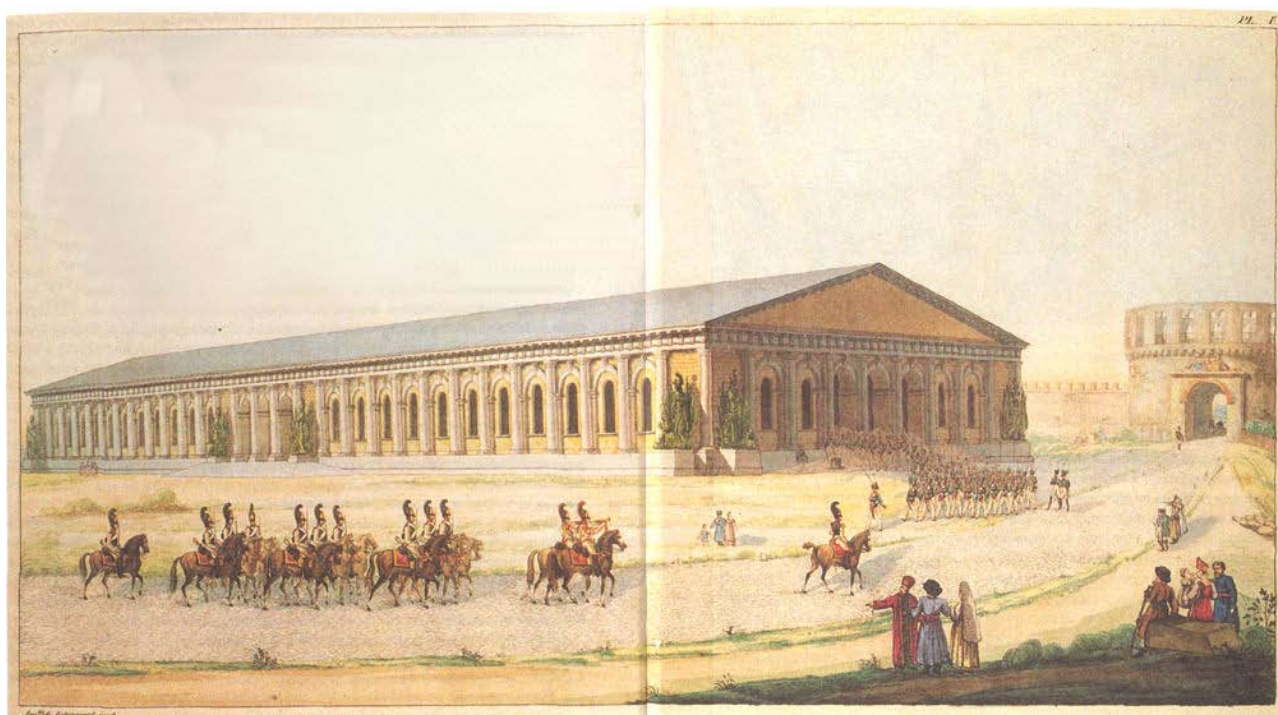
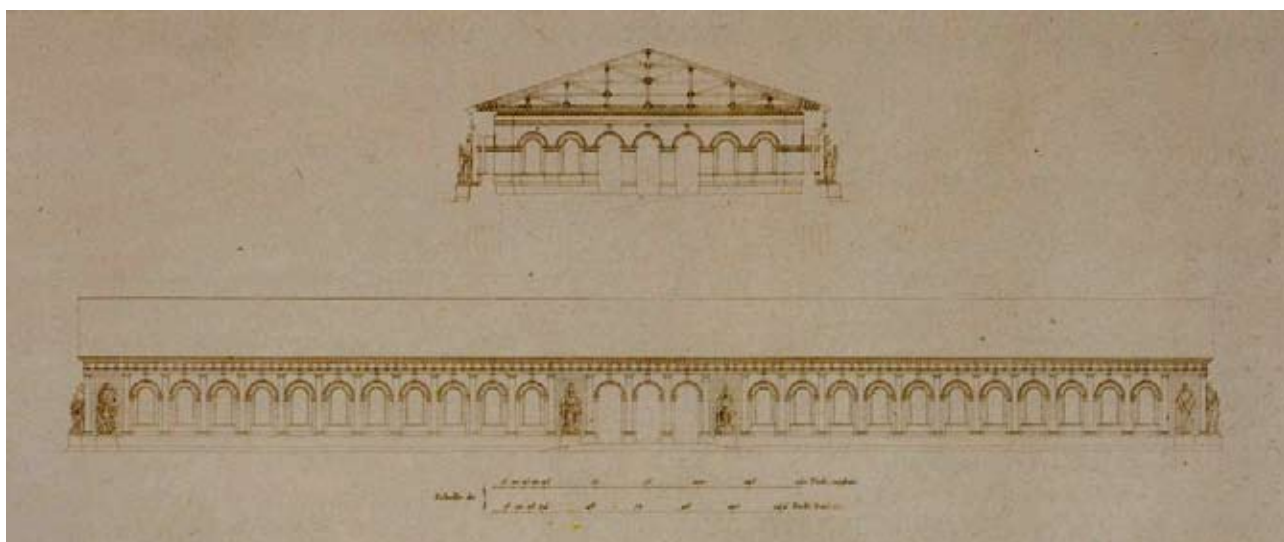
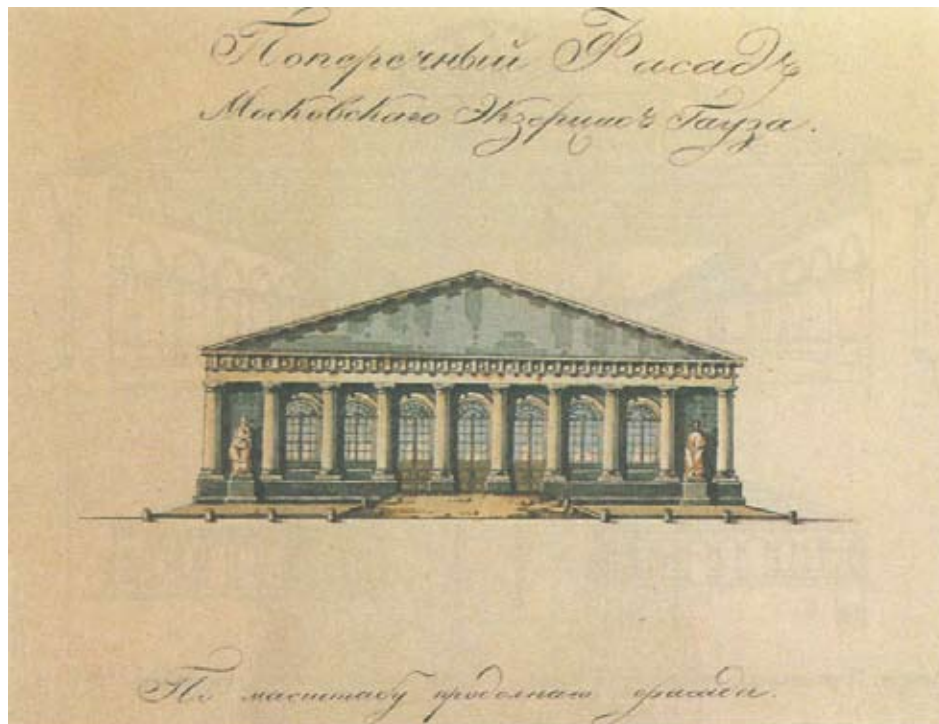
hecho murió en San Petersburgo. Debido a su prestigio como ingeniero e inventor (ver biografía al final) Betancourt ingresó en el ejército ruso en 1808 con el grado de Mayor General para misiones especiales de su Majestad Imperial, concretamente en el Departamento de Vías de Comunicación (análogo a la Inspección de Caminos y Canales español). Al año siguiente es ascendido a teniente general. En 1809 es nombrado asesor del recién creado Cuerpo de Vías de Comunicación y en 1817 diseña el edificio del Picadero de Moscú, que fue terminado en el tiempo record de cinco meses. Su estructura de madera fue un hito de la ingeniería estructural y lo analizaremos brevemente a continuación.

El picadero de Moscú

A pesar de que en su momento existía abundante documentación escrita sobre este edificio (existen referencias en la Fundación Orotava de Tenerife y en la Fundación Agustín de Betancourt, de la Escuela de Caminos de Madrid, actualmente es difícil rastrear la bibliografía original y hemos de contentarnos con referencias. La arquitecto M^a Isabel Gómez Sánchez menciona esta estructura en su tesis doctoral, publicada en AITIM (Las estructuras de madera en los tratados de arquitectura), cuando comenta el Tratado de Jean Rondelet. Comenta lo siguiente:

Las cubiertas para salas de ejercicios, normalmente militares, de







estructuras



Modelos a escala de la estructura

Rusia en aquellos tiempos.

moda en Europa desde mediados del siglo XVIII toman el relevo a las armaduras de las antiguas basílicas romanas como estructuras de madera de mayores dimensiones; tras el proyecto para la sala de ejercicios de Darmstadt (1771) de Krafft, con 136 pies de luz libre pero dudoso esquema estructural, destaca la de Moscú de Betancourt (1818) cuya descripción transcribe Rondelet literalmente (Description de la Salle d'exercice de Moscou, par M. de Bethencourt. Lieutenant general au service de S.M. l'empereur de Russie).

Describe con especial atención esta sala, obra que supuso en su época un alarde estructural y constructivo con 160 pies de luz y tan solo 21,80° de pendiente (trazada tomando como altura 1/5 del ancho) destacando sus soluciones constructivas:

- la formación del tirante como viga compuesta de 11 x 22 pulgadas (pieza muy robusta con un canto de poco más de 1/7 de la luz) y las soluciones de refuerzo y uniones verticales.
- el empleo de contraflechas (12

pulgadas, que suponen un peralte de 1/160 de la luz)
 - el sistema de arriostamiento de las armaduras mediante triple jabalconado-armadura interior
 - la construcción y ensayo, a escala natural, de dos armaduras que se cargaron para simular las distintas condiciones de trabajo posibles Separadas cuatro metros, con su parte proporcional de forjado suspendido y convenientemente arriostadas, Betancourt informa en su Memoire (ver a continuación) de las deformaciones y flechas medidas así como de los problemas de ejecución.

Extracto de la Memoria de A. de Bethencourt

Se trata de un documento interesantísimo, por su viveza e inmediatez, y uno de los escasos ejemplos de un autor de arquitectura e ingeniería del pasado, que comenta su obra. Está escrita originalmente en francés, idioma culto también en la

De acuerdo con las experiencias de las cuales se han comentado (ver pág. 135), se debía tener toda la confianza posible en la solidez de la estructura de cubierta pero diferentes circunstancias han contribuido a debilitarla durante su construcción. 1° Yo había dado al pendolón de la cercha, como se vio anteriormente, la quinta parte de la longitud de los tirantes, y esa proporción me había parecido más ventajosa para dar a la estructura toda la solidez que podía desear, sin que el frontón fuera desagradable por su excesiva altura; pero, para lograr un poco más de elegancia, se le dio menos de un sexto, lo que aumentaba considerablemente el empuje horizontal de los tirantes.

2° No pudiendo conseguir suficiente madera para hacer las vigas de los tirantes de la misma longitud, hizo falta acortar los espacios entre los falsos pendolones (montantes) y se pusieron nueve en lugar de siete como se ve en la Figura 7 Plancha CXIV. Esta construcción no tenía nada de viciosa; pero habiendo intercalado ocho de estas cerchas las barras horizontales no podían conectarlas de una manera uniforme, lo que debía dañar la solidez general de la cubierta.

3° Sea por falta de materiales, o



El Manezh, en la actualidad (exterior e interior), siendo utilizado como feria de muestras





estructuras

falta de tiempo, no se hicieron más que treinta y dos cerchas, donde treinta correspondían al centro de cada columna, espaciadas 18 pies y una pulgada, y los dos extremos estaban colocados completamente contra el muro del frontón. Esta distancia hubiera sido muy grande incluso para una cubierta de anchura media.

Dos filas de cruces de San Andrés, atirantadas entre los montantes, impidiendo el vuelco en el sentido longitudinal de la sala.

Así pues las cerchas fueron elevadas y enlazadas suficientemente para no tener que lamentar ningún accidente indeseable. Se quitaron los soportes y se midió lo que cada cercha había descendido en el centro. Ya habíamos reseñado que los tirantes se les había dado 12 pulgadas de más altura (contraflecha) en el centro que los extremos. Tras el examen se comprobó que habían descendido desde 2 pulgadas y media hasta 6 y media, dependiendo de si las cerchas habían estado más o menos bien ejecutadas, que la madera estuviera más o menos seca, etc. El término medio de la flecha fue de 4 pulgadas y $34/100$. Después de este primer movimiento, todas las partes de la cubierta se sostuvieron en el mismo estado hasta al menos el mes de abril siguiente, cuando, hacia el final era de 4 pulgadas y $93/100$, es decir, que durante los 5 meses de invierno, el descenso medio de los tirantes no había superado más que algo más de media pulgada.

Accidente acontecido a las cerchas

Para darse cuenta de los movimientos que podía sufrir la cubierta, se tuvo la precaución de hacer frecuentes tomas de nivel generales, y el término medio de flechas que estaba a finales de abril en $4\ 99/100$ fue a fines de mayo, de 5,97, y a fines de junio, de 6,97; a fines de julio, de 8,02, y a fines de agosto, de 8,10. A partir de este momento, todas las

cerchas se mantuvieron estables en su posición.

Se debe reseñar que este descenso que siguió al secado de la madera, de la cual, una gran parte había sido cortada y dejada flotando sobre el río, pocos días antes de ser empleada, se secó muy rápidamente y se fendó considerablemente en su sentido longitudinal. La gran velocidad que se imprimió a la construcción de la obra (cinco meses) y la falta de madera para elegir, forzó a aceptar todo lo que estaba a la mano: todo ello entre cuatrocientos carpinteros, cuya única herramienta era el hacha, no se tuvo tiempo de elegir los más capaces para confiarles los ensambles que requerían más precisión. En tal premura, la supervisión llegó a ser muy difícil: así en los tirantes, los rebajes tenían, donde había 3 líneas, hasta 2 pulgadas; los pernos y los orificios no se correspondían exactamente: había que terminar la obra en la fecha prevista.

El primer día del mes de julio de 1819, época de los más fuertes calores en Moscú, se comprobó, por el control de la nivelación, que el tirante de la cercha n° 24 había descendido en el centro cerca de una pulgada, lo que llamó la atención del ingeniero encargado de la supervisión del edificio y puso un guardia en la cercha para su observación. En efecto, dos días después se escuchó un enorme crujido y se comprobó que el tirante, en la parte correspondiente al pendolón, se había partido por la mitad y se había separado, dejando un hueco de tres cuartos de pulgada; sin embargo no había descendido más que una pulgada, y las cerchas colindantes habían cedido, una tres cuartos de pulgada y la otra media pulgada. Se ve en la figura 5 la forma en la que se partió este tirante.

La cubierta permaneció en su posición durante las 5 horas que se emplearon en preparar los puntales, tanto para la cercha partida como para las dos vecinas que la sujeta-

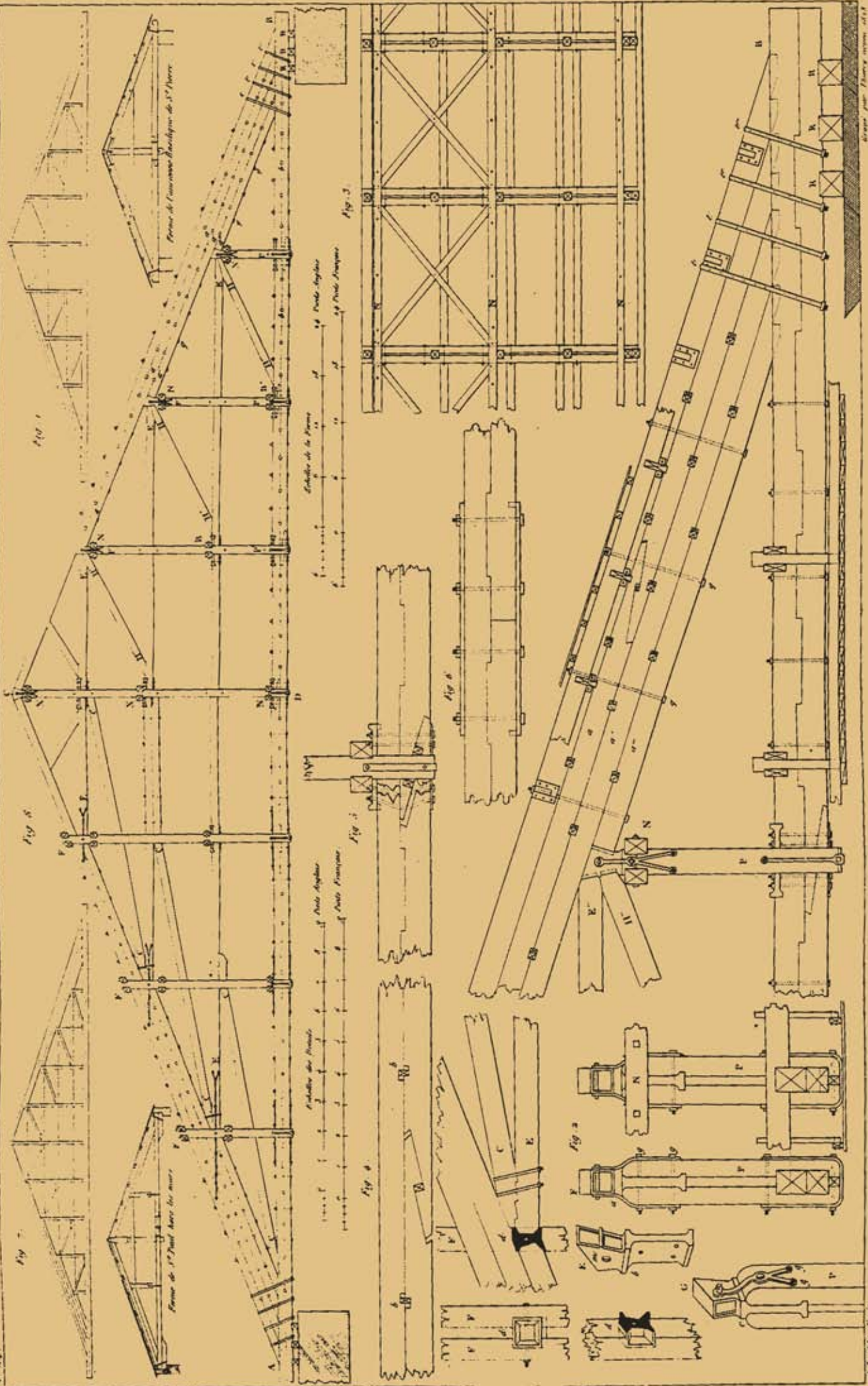
ban mediante sus correspondientes cruces de San Andrés.

Un examen atento hizo ver que la causa de la ruptura había sido un nudo muy grueso que tenía la madera, precisamente en el lugar donde la otra viga tenía el rebaje del rayo de Júpiter, que en otra estaba muy fendado y que la única parte sólida estaba cortada por los pernos.

Su Majestad el Emperador me ordenó reparar el accidente y yo hice sostener la cercha rota por sus pares, y desemperné enseguida las barras horizontales, así como las verticales que forman los falsos pendolones o montantes. Después de eliminar las dos vigas rotas, el tirante se cerró con dos vigas: se colocaron las dos nuevas vigas, se elevó el tirante 4 pulgadas y se apretaron todos los pernos; después de haber eliminado todos los andamios no se observó el menor descenso de la pieza.

No sé inútil resaltar aquí que, en las vigas que yo he sustituido he hecho primero suprimir el Rayo de Júpiter y los he ensamblado como se muestra en la figura 6, donde se ve que las dos testas acodadas en escuadra de la pletina de hierro forjado, puesta en la cara del ensamble, entran 2 pulgadas en la viga.

Un mes después ocurrió un accidente parecido en la novena cercha producido exactamente por la misma causa: fue reparada por el mismo método en menos de una semana. Estos accidentes han probado de una manera muy evidente la bondad de este sistema estructural, donde incluso se podría aumentar, sin peligro, las dimensiones. A pesar de eso, como su ejecución fue muy poco adecuada y todavía hay piezas de madera muy defectuosas, he solicitado a su Majestad que me permita rehacer la cubierta, tomando el tiempo y las precauciones que exige una construcción de este tipo. Por lo pronto se acercarán las cerchas a 12 pies de distancia y no se temerá en absoluto por su solidez.





Perfil biográfico de

Agustín de Bethencourt

Agustín de Bethencourt y Molina (1758-1825) fue uno de los ingenieros más prestigiosos de Europa. Nacido en el Puerto de la Cruz (Sta. Cruz de Tenerife), era hijo de Agustín de Betancourt y Castro. El apellido Bethencourt (o Betancourt, Betancor, etc.) es muy frecuente en Canarias y viene a de Maciot de Bethencourt, Señor de la isla de Lanzarote desde antes de la conquista española.

Su padre era asiduo participante en la Tertulia de Nava y miembro fundador de la Sociedad económica de la Laguna. Heredero de las ideas ilustradas y de la inquietud intelectual paterna y precisamente en esa misma Sociedad, presentó Agustín en 1778 su primer diseño, una máquina epicilíndrica para entorchar seda, realizada en colaboración con sus hermanos José y María, muy probablemente autora de la primera memoria científica firmada por una mujer en Canarias.

En 1778, Agustín de Betancourt marcha a Madrid a estudiar en los Reales Estudios de San Isidro y, como tantos canarios, ya no regresará a las islas. Sus primeros encargos para la Corona, en 1783, son la inspección del Canal Imperial de Aragón y el estudio de las minas de Almadén, sobre cuyo estado redacta tres detalladas memorias; en este mismo año y ante la Corte Real, eleva, por primera vez en España, un Globo Aerostático. En 1784 viaja a París a la escuela de Puentes y Caminos. A partir de 1785 lleva a cabo numerosas investigaciones técnicas («Memoria sobre la purificación del carbón piedra», etc) y comienza a realizar estudios sobre hidráulica y mecánica y a diseñar y adquirir máquinas por encargo de Floridablanca con vistas a la futura creación en Madrid de un Gabinete de Máquinas. En el otoño de 1788 realiza su primer viaje a Inglaterra donde permanece dos meses obser-

vando máquinas a mitad de camino entre la investigación científica y el espionaje industrial. En Londres observa una máquina de doble efecto funcionando en una fábrica de harinas y un nuevo modelo de telar mecánico. A su regreso a París, en 1789 escribe para la Academia de Ciencias una «Memoria sobre una Máquina de vapor de doble efecto» y al mismo tiempo, diseña una bomba que se instala en la recién construida fábrica de harinas de los hermanos Perier. Poco después, diseña un modelo de telar mecánico. El mismo año construye una máquina eólica para desaguar terrenos pantanosos. En 1790 presenta a la Academia de Ciencias de París la «Memoria sobre la fuerza expansiva del vapor de agua». El año siguiente, 1791, escribe su estudio sobre la manera de fundir y barrenar cañones de hierro. Ante el cariz revolucionario que empieza a tomar la situación en Francia, regresa a Madrid con donde inaugura el Real Gabinete de Máquinas, del que es nombrado director. En 1793 viaja a Inglaterra donde permanece tres años investigando sobre teorías de las máquinas y dónde presenta en 1795 el diseño de una máquina de cortar hierba en ríos y canales. En 1796, ante la ruptura de relaciones diplomáticas entre España e Inglaterra viaja a París donde presenta al Directorio el prototipo de un telégrafo óptico y comienza la polémica con Chappe acerca del telégrafo de Breguet y Betancourt, que se zanja con el informe favorable de la Academia de Ciencias en 1796. En 1797 patenta una prensa hidráulica e industrial. Este mismo año regresa a España, donde es nombrado Inspector General de Puertos y Ca-



minos. En 1802 funda la Escuela de Ingenieros de Caminos, de la que es el primer director. Poco después abandona definitivamente España, trasladándose a París y a finales de 1807 viaja a San Petersburgo invitado por el Zar Alejandro I y permanece allí durante 6 meses. Tras una corta estancia en París regresa a Rusia donde permanecerá hasta su muerte al servicio de Alejandro I. Nombrando mariscal del ejército ruso, queda adscrito al Consejo Asesor del Departamento de Vías de Comunicación y posteriormente es nombrado Inspector del Instituto del Cuerpo de Ingenieros y Director del Departamento de Vías de Comunicación. A lo largo de los 16 años alternará la dirección académica del Instituto de Ingenieros con numerosas obras públicas, entre ellas la del Picadero de Moscú, de 48 m de luz. A partir de 1822 comienza a tener problemas con el Zar y es sustituido.

El 26 de julio de 1824 (14 de julio en el calendario juliano) muere a los 66 años en San Petersburgo. A su entierro asisten, por orden del Zar, todos los generales, jefes y oficiales de San Petersburgo. Su mujer, Ana Jourdain, recibió del emperador la concesión del sueldo de su marido. El propio zar Alejandro I moriría pocos meses después ▲

No toda la madera
tratada es igual.

¿Qué está usando usted?

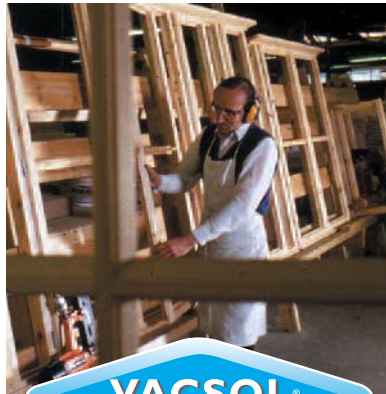
LAM WOOD

**Las soluciones de madera
para sus estructuras**



**TANALITH[®]
E**

MADERA TRATADA A PRESIÓN



**VACSOL[®]
AZURE**

MADERA TRATADA A PRESIÓN

**TANALITH[®] E y VACSOL[®] Azure son
productos preservantes para la
madera únicos.**

Han sido específicamente desarrollados por Arch Timber Protection, para proporcionarle el nivel máximo de protección y rendimiento de su madera de horticultura, jardín, construcción y carpintería.

**Sólo las maderas tratadas con estos
renombrados productos pueden llevar los
nombres de TANALITH[®] y VACSOL[®].**

¿Son sus maderas tratadas un artículo genuino?

Contacte con nosotros en la siguiente dirección
para asegurarse.

Contactar con: Iñaki Cruz, Representante de Ventas

Teléfono: 689 314494

E-mail i.cruz.archchemicals@gmail.com

Protección

inCOMPARABLE

para la madera

www.archtp.info

50 años de experiencia en España.



Pino CL4 Estructura



Pino calidad sin nudo



Douglas



Abeto

**Pino CL4- Abeto y douglas
sin tratar y con tratamiento**

Fabricación Francesa

Madera Laminada-Encolada GL24h
Duo-Trio : Madera Contra-Encolada GT24
Finger joint : Madera Maciza Empalmada C24
Longitud máxima: 13m
Marca CE reglamentaria
Cola PU (sin disolvente)

Nuestra madera
proviene de bosques
sostenibles



PIVETEAU BOIS
BP7 - 85140 Ste FLORENCE - FRANCIA
Tel. 0033 251 66 11 35
Fax. 0033 251 66 09 28
e-mail : commercial@piveteau.com



Encuentrenos en

29 www.piveteaubois.com



PIVETEAU BOIS[®]

Creador de soluciones sostenibles