

## efemérides de la ingeniería – 2024

[25 años]

**1999.** Juan Miguel Villar Mir (1931) lee su discurso de ingreso en la Real Academia de Ingeniería: *Sociedad, Ingeniería y Academia*.

Leonardo Fernández Troyano publica *Tierra sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes*. [En 2003 Thomas Telford Publishing publicará en inglés una edición con el título: *Bridge Engineering. A Global Perspective*. Y en 2006 será Flaccovio Dario quien publique una edición italiana: *Terra sull'acqua. Atlante storico universale dei ponti*].

Se aprueba la *Orden, de 27 de diciembre, por la que se aprueba la norma 3.1.-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras*, "haciendo especial énfasis en los conceptos de seguridad y comodidad, en los datos básicos para el estudio del trazado en planta y alzado y en la definición de las secciones transversales y en las distancias de seguridad entre entradas y salidas consecutivas de la carretera". También se aprueba la nueva Norma 8.1.-IC "Señalización vertical".

Acaban las obras del puente sobre la A-8 sobre el río Escudo, cerca de San Vicente de la Barquera, proyectado por Javier Manterola. Así lo describe Miguel Aguiló (*Legado y proyección de lo construido*), para quien es "un arco inferior de novedosa materialización": "En los arcos tradicionales, la potencia exigida por la luz a salvar es transmitida por el canto del arco, pero aquí la sección del arco es similar a la de las columnas superiores y a la de las vigas del emparrillado soportado por éstas. Manterola desdobra cada arco lateral en una pareja de arcos tubulares de acero rellenos de hormigón y arriostrados entre sí. Cada pareja recibe las columnas que soportan el tablero en el eje de las piezas de conexión de los arcos, sin que toquen los tubos, cuyo trazado permanece totalmente limpio en toda su longitud, pues tampoco tocan el tablero en la clave".

Se inaugura la pasarela peatonal de Solferino sobre el río Sena en París, obra de Marc Mimram (1955). "Elle a une longueur de 140 m et une largeur variable de 11 à 15 m. Sa structure est formée d'une arche en acier de 106 m de portée, constituée de deux arcs reliés par des entretoises transversales, ces arcs étant eux-mêmes composés de deux poutres-échelles cintrées dont leur écartement en plan est variable. Les arcs ont une flèche de 7 m et sont encastrés dans les culées. Elle permet de desservir, sans escalier, à la fois les quais haut et les quais bas de chaque rive. A sa mise en service, les vibrations furent telles que des amortisseurs dynamiques accordés durent être ajoutés pour filtrer certaines fréquences de vibration".

Otra pasarela bien elegante se construye sobre el río Viamala, en Suiza, "secondo progetto e strutture" de Jürg Conzett (1956): se trata del Pünt de Suransus, una banda



tesa de 40 m de luz. El propio ingeniero (*Forme di strutture*) resume cómo concibió la obra: "la passarella è stata concepita a partire da due idee piuttosto semplici: da una parte l'uso di un sistema costruttivo basato sull'immagine di un *nastro* teso tra le due rive, sistema che concinceda tanto per la sua intuitività –figurativa e statica– quanto per la sua efficienza nel raccordare diverse altezze di sponda. Dall'altra parte la scelta di costruire una passarella in pietra, nell'intento di conferire al progetto un preciso aspetto materico legato al suo contesto [...]. L'effetto è ottenuto facendo lavorare assieme pietra e acciaio, usando il principio della precompresione: quattro piatti metallici, sospesi da riva a riva, supportano sottili lastre di granito (60 x 250 x 1110 x milimetri) che da sole costituiscono l'impalcato".

El puente de Öresund, que une Dinamarca y Suecia, es "un buen ejemplo de puente mixto", a juicio de Javier Manterota, Miguel Ángel Astiz y Antonio Martínez Cutillas ("Puentes de ferrocarril de alta velocidad"). "Con una longitud de 7,8 km, el puente se divide en dos partes, un tramo atirantado de 1.100 m de longitud y dos tramos de acceso de 3.739 al este y 3.014 m al oeste, con vanos de 140 m de luz [que fueron prefabricados por Dragados en la bahía de Cádiz y remolcados en barcasas]. La calzada superior de 24,8 m de anchura se destina a la carretera y el cordón inferior de la celosía sirve de soporte al ferrocarril de doble vía. [...] La celosía es una excelente viga de rigidez para el puente atirantado y necesaria para el control de las deformaciones al paso del tren. La dirección de sus diagonales cambia, deja de ser una triangulación Warren, para dirigirse en dirección del atirantamiento".

Para el Sunniberg Bridge, "Menn designed the four main elements (pier, pylon, cables, and deck) each to satisfy technical requirements and each to achieve separate aesthetic goals that in addition create an integrated form. The first two elements –and visually the most prominent ones– are the pier (below the roadway) and the pylon (above the roadway). In many cable-stayed bridges, these two are separate elements, both visually and structurally, but here they are completely integrated. [...] the piers are shaped to express the bending moment diagram under live load on one span only. That moment is maximum at the junction of pier and deck and decreases toward the ground, as does the longitudinal spacing of the two legs of each pier. The pylon is only 14.8 meters high, slightly over 10 percent of the span length to avoid the awkward and overpowering visual effect of the normal ratio of about 25 per cent [...]. Menn designed the third element, the cables, to be parallel in the harp form so that the two cables planes would not appear visually cluttered in partial profile. But because of the low pylons, the vertical deck loads put high tension forces in the cable and correspondingly high compression forces in the deck, which forces must be carried by the thin deck. To avoid buckling, Menn increased the deck thickness near the piers where compression (from all the cables) is greatest. Finally, for the deck, Menn sought a continuous thin line throughout the entire length of the bridge. Because of its horizontal curve, he could dispense with expansion joints, always a maintenance problem, since the deck can expand or contract



horizontally as an arch. Because there are many cables supporting the deck and because the stiff pylons prevent liveload deck bending, the roadway slab can be extraordinarily thin. The deck slab is 50 centimeters thick, and the edge beams are only slightly greater than one meter".

Se inaugura la Cúpula del Milenio: "Main contractor McAlpine Laing, structural engineer Buro Happold and architect Richard Rogers Partnership shared the financial risk under a target cost contract. [...] Roger's original concept was for a roof supported by huge steel radial trussed ribs. 'These would have been very difficult to design and very expensive' Buro Happold's project partner Ian Liddell told New Civil Engineering. 'Instead, I told the architect we would do a cable net structure for him, one that would be twice as big as anything ever done before.' And so developed the 320m-diameter landmark structure with its 12 sloping 100m-tall steel masts supporting a cable-net and fabric roof. Construction was not without difficulty, but took only 15 months from first pile to full enclosure. And that had to accommodate a decision to change from a temporary to a permanent structure, requiring a switch to more durable PTFE (Teflon)-coated glass fibre fabric for the roof. About £500m of the £758m project cost went on the dome itself. And while the millennium exhibits inside attracted some criticism, the Dome itself was recognised as a triumph of engineering and design". (Hugh Ferguson and Mike Chrimes: *The Civil Engineers. The Story of the Institution of Civil Engineers and the People Who Made It*).

A partir del 1 de enero –*ab initio*, sólo en once países– es de curso legal una nueva moneda única: el euro. En el reverso de todos los billetes aparece un puente: "Displayed designs do not represent any particular architectural monument, but characteristic features of different architectonic styles in form of windows, gates and bridges". No obstante, algunos de los puentes son reconocibles, *more or less*; así, en el billete de 5€ (classic) aparece el pont du Gard; en el de 50€ (renaissance style), el puente de Rialto; o en el de 500€ (modern architecture of 20<sup>th</sup> century), el pont de Normandie.

### [50 años]

**1974.** Se aprueba la Ley 51/1974, de 19 de diciembre, de Carreteras. "La Ley de Carreteras de 4 de mayo de 1877 profundamente afectada ya por una normativa posterior fragmentaria y dispersa; requiere una urgente actualización, dada la íntima relación de la realidad que regula con el desarrollo demográfico y económico del país y los avances tecnológicos del sector producidos desde aquella fecha". La estructura de la nueva ley queda así fijada: Título I.- Normas generales. Título II.- Régimen de las carreteras. Capítulo I.- Planificación. Capítulo II.- Estudios y proyectos. Capítulo III.- Construcción. Capítulo IV.- Financiación. Capítulo V.- Explotación. Título III.- Uso y defensa de las carreteras. Capítulo I.- Limitaciones de la propiedad. Capítulo II.- Uso de las carreteras. Capítulo III.- Normas



particulares sobre autopistas y autovías. Título IV.- Travesías y redes arteriales de poblaciones.

Acaban las obras –el proyecto es de 1970– del puente del Diablo sobre el río Llobregat, concebido por José Antonio Fernández Ordóñez y Julio Martínez Calzón, un puente pórtico mixto con pilas esculturales en hormigón blanco. La luz principal es de 100 m. Para Martínez Calzón (*Puentes, estructuras, actitudes*), “este proyecto inaugura, a nivel mundial, una línea de gran alcance estructural y estético en el ámbito de los puentes. Ésta consiste en el empleo de sistemas híbridos constituidos por grandes elementos de hormigón pretensado para formar las zonas de pilas –dotándolas de un carácter eminente y decididamente escultórico– y por potentes piezas mixtas –muy esbeltas– de hormigón y acero estructural, para conformar los dinteles, todo lo cual origina combinaciones de gran riqueza y expresividad, al par que ajustadas plenamente a los criterios resistentes y económicos a los que deben ceñirse las obras de ingeniería para resultar éticamente consistentes”.

“In October Jörg Schlaich succeeded Fritz Leonhardt as professor of concrete structures at the University of Stuttgart. [...] He immediately instituted work to develop an improved theory for understanding the internal workings of these materials. This is known as the Strut-and-Tie Method or STM”. Este método de las bielas y tirantes se recogerá años después en casi toda la normativa estructural del hormigón, incluida la EHE española. En este mismo año, acabarán también las obras de otro proyecto del ingeniero alemán: la torre de refrigeración de Schmehausen: “The Cable Net Cooling Tower for the Hamm-Uentrop nuclear power plant in Schmehausen represents a prototype for the testing of a new cooling process –dry cooling– and a new structure: namely, a cable net structure”.

Christian Menn acaba las obras del Felsenau Bridge: “At first glance, the Felsenau design appears to be merely another good example of the segmental cantilever bridge construction pioneered by Ulrico Finsterwalder. Closer study shows that Menn’s design represents a unique application of that method. [...] The first unusual characteristic [are] the two thin and narrow hollow-box walls about 48 meters high and spaced 12 meters. This solution provides relatively long spans of 156 meters with a girder whose maximum moments are based only on the 144-meter clear spans. Furthermore, in spite of very thin walls (2.4 x 7.5 meters), the longitudinal stiffness is great because the spacing is so wide (12 meters). Therefore, the double-column solution is efficient. [...] The second distinctive aspect [is that] Menn designed relatively long spans out of haunched single-box girders made continuous both at midspan and at supports. These haunched single boxes are efficient because they require less material than a girder of constant depth. [...] The third uncommon feature of the Felsenau design is the single box for a wide roadway. Previously, prestressed segmental bridges had two boxes, one for each half of the bridge, producing two bridges side by side. The single box with cantilever slabs requires less material than would two boxes”.



Ciento veinticuatro años después de trasladarse las grandes vigas del Britannia Bridge por flotación "se utiliza el mismo sistema en el puente de Niteroi sobre la bahía de Guanabara, en Río de Janeiro. Es un viaducto de gran longitud, con tres vanos principales metálicos de 200+300+200 metros de luz en viga continua, que se prolongan con voladizos de 30 metros en los vanos siguientes. Este tramo se construyó en tres piezas; las laterales tenían 292 metros de longitud y las centrales 176. Las piezas laterales se llevaron por flotación a su posición definitiva, se elevaron mediante gatos por el costado de las pilas, y se riparon a su posición definitiva. Una vez montadas las laterales se trasladó la central, se elevó mediante cables y se empalmó con las laterales".

Se acaba en Japón el primer túnel, de 1.900 m y 3,4 m de diámetro, construido con el procedimiento E.P.B. (Earth Pressure Balance): "Hacia la década de 1970, los japoneses empezaron a utilizar la propia tierra excavada como medio para equilibrar la presión en el escudo. La excavación es realizada por medio de un gran disco con varios cortadores insertados para desprender el terreno, y el material así liberado entra en una cámara integrada con el disco cortador. Un tornillo sin fin extrae el material que lo descarga en una tolva o depósito, desde el que se alimenta el sistema de transporte para la extracción del escombro que, en general, se hace con trenes de vagones sobre vía, o con una cinta de extracción montada a lo largo del túnel", como explica Miguel Aguiló (*Túneles...*).

### [75 años]

**1949.** El ITCE (Instituto Técnico de la Construcción y Edificación), adscrito como "centro adherido" al Consejo Superior de Investigaciones Científicas desde 1939, se une al Instituto del Cemento, y se crea el Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento.

Se hace oficial el 22 de febrero "la circulaire C.G. 1333", la "Bible des ingénieurs sanitaires", obra principal del ingénieur des ponts et chaussées Albert Caquot (1881-1976): «Liant conditions de financement des travaux d'assainissement et application de recommandations contenues dans la circulaire, l'État central va imposer pendant trente ans sur le territoire national la *formule de Caquot*».

Acaban las obras de la presa de la Girotte, proyectada por Albert Caquot: "Un béton spécial est étudié pour résister au gel. Dix-sept piles de 7 mètres de largeur sont dressées à 17 mètres les unes des autres. « Les formes des piles et des voûtes [...] ont été étudiés en vue de faire concourir dans les meilleures conditions possibles la poussée hydrostatique à la stabilité de l'ouvrage en charge » sans employer d'armature métallique, toujours pour des raisons d'économie. Les voûtes sont toutes en béton massif ; « elles ont été construites après les piles contre lesquelles elles s'appuient simplement sans aucune liaison »; cylindriques à leurs bases et à leurs sommets, elles ont, au milieu une forme torique. Une architecture nouvelle es née. Haut de 48 mètres, long de 507 mètres, le barrage a une capacité de retenue de 50.000.000 m<sup>3</sup> ».



The *Elzbrücke* in *Emmendingen* (1949), the second prestressed concrete bridge of the consultant engineers Leonhardt Andrä und Baur, was a continuous three span haunched slab bridge with a span of 15.0 m + 30.0 m + 15.0 m. At an overall depth of 58 cm in mid span and 121 cm above the support, this massive superstructure was also very slender. [...]The *Elzbrücke* at *Emmendingen* is the first continuous prestressed concrete girder bridge with continuous tendons and bond. In 1950, it was followed immediately by the analogous construction of the first German prestressed concrete bridge for train load, the railway bridge across the Neckar canal near Heilbronn.

### [100 años]

**1924.** Con sólo 19 años, termina sus estudios de ingeniería de caminos, canales y puertos Carlos Fernández Casado (1905-1988). Añadiría a éste, los siguientes títulos académicos: ingeniero de radiotelegrafía por la *École Supérieure d'Electricité* de París (1926) y de Telecomunicación (1927), y las licenciaturas en Filosofía y Letras, especialidad de Historia (1944), y en Derecho (1973).

Por Real Decreto-Ley, de 12 de julio, se aprueba el Estatuto Ferroviario, "en el que se recogen las bases para una reforma general y sistemática del régimen concesional de los ferrocarriles". Dos años después, por Real Decreto-Ley, de 3 de julio, de 1926, se crea la Explotación de Ferrocarriles por el Estado. "Se trata de un organismo dependiente del Ministerio de Obras Públicas cuya función era gestionar directamente la red ferroviaria propiedad del Estado. Esta red estatal podía proceder de los expedientes de caducidad de concesiones, del abandono de las líneas férreas por los concesionarios, de las subastas celebradas sin alcanzar adjudicatario, o de las propias construcciones que realizara el Estado. Es decir, este organismo se encarga mayoritariamente de aquellos ferrocarriles en los que por diversas causas cesaban sus concesionarios. Esta legislación hacía referencia directa, en primer término, a las empresas concesionarias y así en la base 1ª se establecían sus objetivos: la agrupación de líneas, las adquisiciones de material y obras de ampliación y mejora, la construcción de nuevas líneas, fijar las fechas de reversión y prohibir la adopción de nuevas cargas hipotecarias por parte de las empresas. En la exposición de motivos del decreto se aclaraba que no se trataba de convertir en buenos a los malos negocios ferroviarios, sino sólo mejorar los servicios, «si con las mejoras, con buenos servicios de explotación, con medidas indirectas de gobierno y con tarifas adecuadas el negocio no prospera, será porque el ferrocarril no responda a una verdadera necesidad comercial, porque el agio ha predominado en relación con la explotación, porque se ha querido obtener una subvención y no organizar un transporte». Lo que ocurrió es que no todo lo que el Estatuto preveía se llevó a término, con lo que resulta difícil efectuar un balance de la política ferroviaria de la Dictadura. Para las grandes empresas fueron los mejores años en relación a los beneficios obtenidos y el reparto de dividendos a sus accionistas, pero, aún con todo, ni ellas mismas estuvieron de acuerdo con los procedimientos que les habían permitido esa



ficticia situación, pues habían perdido definitivamente su autonomía financiera, y en adelante necesitarían la garantía del Estado y su autorización para la emisión de deuda y también bastante autonomía en su gestión por las competencias crecientes que adquirió el Consejo Superior de Ferrocarriles". ("Reducción de competencias, mantenimiento del gasto (1914-1936)", de Pedro Pablo Ortúñez Goicolea).

Acaban las obras de la "primera de las presas bóveda modernas construidas en España, interviniendo en ella como consultor H. E. Gruner, una de las primeras autoridades europeas en construcción de presas", como señalan Francisco Bueno Hernández y Joaquín Díez-Cascón Sagrado (*Ingeniería de presas. Presas de fábrica*). Se trata de la presa de Montejaque, de 84 metros de altura. Sobre la diferencia principal entre las presas modernas (de hormigón) y antiguas (de mampostería), el ingeniero suizo escribe que "al estar sometida a un esfuerzo la presa, hay la incertidumbre de si este revestimiento impermeable trabaja conjuntamente con el resto del muro o si hay que considerarlo como una pantalla separada. Si el muro es de hormigón, toda la masa interviene en los cálculos, tanto para el efecto del arco como para el de la viga".

Robert Maillart construye una estructura estricta: los Magazzini Generali, en Chiasso. Para Hugo Corres Peiretti (1954), esta obra "no es el resultado de una genial inspiración, sino el fruto paciente de un intenso estudio de las acciones y esfuerzos solicitantes, tras perseverante búsqueda de una equilibrada y estética forma estructural".

Como paso previo para "unire Milano alle vicine città di Como e Varese e con le zone turistiche del Lago di Como e del Lago Maggiore", el 21 de septiembre se inaugura el primer tramo de *autostrada* ("vie per l'automobile riservate al traffico veloce e con il pagamento di un pedaggio per coprire le spese di costruzione e di gestione") entre Milán y Varese; detrás del novedoso concepto y de su puesta en ejecución de las obras se encuentra el ingeniero Piero Puricelli (1883-1951). A juicio de Neil Upton (*An Illustrated History of Civil Engineering*), los antecedentes eran norteamericanos: "The early 1920s saw a new approach to highway design: roads were designed specifically for motor traffic and higher speeds, with long sight lines, gradual curves, banked corners, dual-carriageways and no intersections with other roads. The motorway was born. Some of the ideas came from the earlier city streets where heavy congestion had demanded a solution. North-eastern Boulevard, now Roosevelt Boulevard, in Philadelphia was started as an 8-mile (13 km) section in 1903. Its 300-foot (91-m) width was occupied by a central 60-foot (18-m) wide through road, two 34-feet (10-m) wide side service roads, footpaths and lawns. Boston, too, had such boulevards, and after 1910, Grand Boulevard in the Bronx, New York, had some of its crossing roads going beneath street level. In 1906 Eugène Henard published a tract on "Intersections having superimposed highways" giving examples from Paris and other European cities. In it he proposed the "cloverleaf" junction and the traffic island. The state of New Jersey took the lead in superhighways between towns in the early 1920s and used the first road island on the eastern approach



to the Camden-Philadelphia Bridge. The Camden project also contained the first two-level junction on a state highway. The first cloverleaf junction was opened in 1928 at Woodbridge on the New Jersey Turnpike. New Jersey also had more miles of dual-carriageways than any other state at this time". Por lo demás, el avance de las *autostrade* sera continuo, como resume Federico Paolini ("A Country on four wheels. The car and society in Italy (1900-1974)"): It was however Fascism to enhance road communications starting the construction of the first motorways: between 1923 and 1933 the motorways Milano-Laghi (1923-1925) Milano-Bergamo (1927), Napoli-Pompei (1929), Bergamo-Brescia (1931), Milano-Torino (1932, Firenze-Mare and Padova-Mestre (1933) were all built. In 1928, Act nº 1094 of May 17th the *Azienda autonoma strade statali* (AASS, the National roads authority) was instituted and was financially autonomous; its role was to technically manage the national road network. In the 1930s, due to a scarcity of revenue from tolls, AASS was induced to purchase and manage 300 km of motorways (Milano-Laghi; Milano-Bergamo and Firenze-Mare); in 1934 AASS studied a programme for a motorway network for a total of 6.850 km, which was later aborted by the Second World War, and in 1935 it built the 50 km *autocamionale* (road for heavy traffic) Genova-Pianura Padana. By 1942 the total extent of the road network measured 174.258 km: of these, 21.286 km were classified as main roads (in 1933 these measured 20.597 km), 42.213 were secondary roads and 110.280 local roads".

El profesor Godard, "sucesor del gran ingeniero Résal en la Escuela de Ponts et Chaussées", publica *Ponts et combles métalliques*. Para Miguel Aguiló (*Grandes cubiertas españolas*), "Godard aborda la cuestión centrándose casi exclusivamente en las cerchas, que considera un tipo estructural indisolublemente unido a la construcción de cubiertas, y desde un punto de vista muy pragmático. Para él, el empleo del hierro sustituyendo a la madera se debe exclusivamente a la necesidad de cubrir grandes espacios. El metal permite aligerar considerablemente los pesos propios y alcanzar con ello luces imposibles de acometer con cerchas de madera. Con ese enfoque, Godard ignora la apuntada interacción entre objetivos y medios asociada a la utilización de lo nuevo pues, en muchas ocasiones, las cosas se desean sólo porque son posibles. Esta simple afirmación está, aunque muchas veces de manera implícita, en el origen del impulso que ha llevado a acometer muchas innovaciones tecnológicas".

### [150 años]

**1874.** Nace una nueva especie: "Los Ingenieros libres de Caminos, Canales y Puertos", a los que Gabriel Rodríguez dedica un artículo completo en la Revista de Obras Públicas: "La Real Orden, de 19 de agosto de 1866, que declaró cerrado el Cuerpo de Ingenieros de Caminos con el personal de que en aquella fecha constaba, y con el que llegase a ingresar en el mismo Cuerpo de los alumnos que estaban entonces cursando en la Escuela, no ha empezado a producir sus naturales efectos hasta el año pasado [1874]. Los individuos de las promociones correspondientes a 1872 y 1873, que al dictarse la



referida orden no habían ingresado aún en la Escuela, fueron admitidos, sin embargo, en el Cuerpo, por gracia especial. Los individuos de la promoción de 1874 son, pues, los primeros de la clase de Ingenieros libres [...]. Los Ingenieros libres de Caminos, Canales y Puertos tienen, pues, cuando concluyan su penosa carrera, el derecho de acreditar su capacidad, al ofrecer sus servicios a la industria privada, con el título o certificado correspondiente, y en el caso de que haya plazas vacantes en el Cuerpo del Estado, si han sido alumnos internos, tienen además el derecho de presentarse a los ejercicios de oposición, que para cubrir estas vacantes anuncie el Gobierno. Hemos dicho el derecho de *acredita su capacidad*, porque esto y nada más es lo que los nuevos Ingenieros deberán a su título. La profesión que van a ejercer no tiene el privilegio concedido por las leyes vigentes a otras profesiones análogas, como la del arquitecto, la del médico o la del abogado".

En septiembre comienzan las obras de la terminal de descarga del ferrocarril minero de la Río Tinto Company, según proyecto de George Barclay Bruce (1821-1908), "notable ingeniero que llegó a presidir la Institution of Civil Engineers en 1887 y 1888". Así describe Fernando Sáenz Ridruejo (*Puertos españoles en la Historia*) el embarcadero de hierro: "tenía el muelle una longitud de 594 m sobre la playa. Constaba de tres niveles distintos, que permitían la descarga por gravedad, mediante un sistema de pendientes y contrapendientes en que los vagones cargados ascendían por las vías centrales hasta un punto alto en el que se desenganchaban y retrocedían para ser retirados por la máquina. Toda la estructura se cimentaba sobre pilotes de fundición roscados al subsuelo. Las columnas también eran de fundición, mientras que las vigas transversales y las abrazaderas se construían de hierro forjado. Sobre viguetas del mismo material apoyaba una cubierta de madera. Los pilotes se reunían en grupos de 2 x 4, separados cincuenta pies. Las hélices de las roscas, aunque se habían proyectado de 4 pies de diámetro, se construyeron de 5 pies, a causa de la blandura del terreno. Se introdujeron manualmente mediante coronas de ocho brazos, cada uno de los cuales tenía cinco metros de longitud y era accionado por cinco hombres. Se trabajaba sobre almadías, con la ayuda de buzos que controlaban el avance".

"Por Decreto del Poder Ejecutivo, de 30 de diciembre", como informa Inmaculada Aguilar Cervera en *El discurso del ingeniero en el siglo XIX. Aportaciones a la Historia de las Obras Públicas*, adquieren carta de naturaleza los Anales de Obras Públicas, que "tenía como objetivo la publicación de memorias, estudios y obras ejecutadas por el cuerpo de ingenieros, tal como indicaba su subtítulo *Memorias y documentos referentes a la ciencia del ingeniero y al arte de las construcciones*. [...] Cada tomo anual contenía una o varias memorias acerca de algún proyecto realizado. Eran textos, por lo general, extensos (entre 50 y 350 páginas), acompañados de láminas litografiadas, grabados intercalados en el texto, planos generales y planos de detalle". El primer Anal se publicará en 1876: "En el editorial del primer número se incide no sólo en las aptitudes científicas del ingeniero, sino en las numerosas obras ejecutadas en los últimos veinticinco





años. El balance era el siguiente: de 6.000 kilómetros escasos de carreteras a 21.000; de 28 kilómetros de ferrocarril a 6.100; de 6 faros antiguos a 169 faros; de unas pocas obras en puertos, paralizadas, a 51 puertos concluidos o en construcción. [...] La misma Orden destaca también otra faceta del ingeniero de caminos, el de protector del patrimonio y estudioso de los monumentos históricos. Un comentario bastante inusual en un expediente administrativo e incluso en el debate de las atribuciones propias de su profesión pero indicativo de ese sentimiento nuevo hacia la Historia".

Terminan las obras de un magnífico puente sobre el río Mississippi: "The St. Louis Bridge was completed. The three main arch spans are 502 ft + 520 ft + 502 ft (153m + 158,5+ m + 153 m). This was the first major steel bridge after the mass production of steel was made possible by the new processing methods [...] James Buchanan Eads (1820-1887) introduced to America the European pneumatic caisson –an air-tight enclosure that would allow men to work underwater without being hindered by the shifting tides. [...] However, 352 workmen suffer from a strange new ailment –caisson's disease or the bends– and twelve men would die from it, and two would remain crippled for life". En 1920 James B. Eads "became the first engineer elected to the American Hall of Fame". Mientras, en New York, "Coignet verra son béton utilisé avec succès pour un ouvrage noble : le pont de Cleffridge, dans le parc de Brooklin, édifié par Calvert Vaux et John C. Goodridge. En effet, l'ouvrage se révèle à la fois très économique et de bonne facture esthétique". [La historia más exhaustiva de la construcción del puente la escribirá en 1881 Calvin M. Woodward, "Dean of the Polytechnic School of Washington University": *A History of the St. Louis Bridge : Containing a Full Account of Every Step in Its Construction and Erection, and Including the Theory of the Ribbed Arch and the Tests of Materials*].

Ana Vázquez de la Cueva nos informa de que "como complemento del abastecimiento de aguas de la capital de Francia Eugène belgrano hizo la magnífica conducción de la Vanne de 173 kilómetros; de ellos 17 iban en arcadas. Con este motivo, las arquerías de María de Médicis [de 1624], que formaban también parte de la conducción, fueron ampliadas. Se le añadió entonces un segundo piso elevado sobre el existente que, con 1.061,42 metros, lo rebasaba también en longitud considerablemente y que estaba compuesto por ochenta arcos de unos diez metros de luz cada uno".

Maurice Lévy (1838-1910) publica *Le Statique graphique et ses applications aux constructions*. "[José Eugenio] Ribera –informa José Ramón Navarro Vera– utiliza la estática gráfica de Levy en el cálculo del Viaducto del Pino, y el mismo Eiffel confesaba que también utilizaba normalmente este sistema, aunque en el Garabit, lo combinó con procedimientos analíticos porque la importancia del peso propio con relación a las cargas de tráfico hacía difícil la determinación de la línea de presiones"]. Por su parte, Mohr publica *Contribución a la teoría de los entramados*, "donde aplica el principio del trabajo virtual para la obtención de las tensiones en las barras".



Se abre al público « le pont routier d'Argenteuil, enjambant la Seine en aval de Paris », que había sido destruido cuatro años antes en la guerra franco-prusiana [el puente original se había construido en 1822]. Claude Monet pintará un cuadro bien conocido. [El mismo año se ocupará también del puente ferroviario].

### [200 años]

**1824.** Como informan Aniceto Zaragoza Ramírez y Eloísa López Moreno, “en la *Reseña histórica de la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, desde su creación hasta 1873* encontramos la siguiente referencia: «Nos limitaremos a decir que en la Escuela del año 20 al 23 estaba dividida la enseñanza en tres cursos: el primero comprendía la mecánica racional y la geometría descriptiva, con sus aplicaciones a las sombras, a la perspectiva, a la gnomónica y a la estereotomía; el segundo la mecánica aplicada, los principios generales de arquitectura civil, y algunas nociones de física, mineralogía y geología; y el tercero y último la topografía y geodesia, los proyectos y construcción de caminos, puentes y canales, y las obras de ríos y puertos. El estudio del dibujo era común a los tres años»”.

En San Petersburgo fallece Agustín de Betancourt en fecha señalada: el 14 de julio. A Betancourt, “un héroe español del progreso”, debemos nuestra razón y ser los ingenieros de caminos españoles. Está enterrado en el cementerio luterano Smolenski de San Petersburgo, donde también yace el matemático Leonard Euler. Sus restos serán trasladados en 1979 al cementerio Lazarevski.

“Siguiendo los consejos de Juan López de Peñalver (1763/64-1834), que fue colaborador de Betancourt, por R. O. de 18 de agosto de 1824 se creó el Real Conservatorio de Artes (RCA), en parte reencarnación del Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro y de la Colección de Máquinas de la Clase de Artes de la Real Sociedad Económica Matritense. Lo dirigió hasta su fallecimiento. [...] Para su utilización en este centro, su director realizó la traducción de la *Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes: curso normal para el uso de los artistas y menestrales, y de los maestros y veedores de los talleres y fábricas*, escrita en 1826 por Charles Dupin (1784-1873), director y profesor del Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) de París. Esta traducción consta de dos tomos: la *Geometría*, publicada en 1830, y la *Mecánica*, en 1835, que, tras la muerte de Peñalver, debió concluir su hijo Juan López de Peñalver de la Torre”. (Fernando Vea Muniesa y M<sup>a</sup> Ángeles Velamazán Gimeno: “La formación matemática en la ingeniería”).

Thomas Young se encarga de redactar el artículo “Bridge” para el *Supplement to the fourth, fifth and sixth editions of the Encyclopaedia Britannica*. Ocupa el citado artículo, con figuras incluidas, 27 páginas: “The mathematical theory of the structure of Bridges has been a favourite subject with mechanical philosophers; it gives scope to some of the most refined and elegant applications of science to practical utility; and at the same time that its progressive improvement exhibits an example of the very slow steps by which



speculation has sometimes followed execution, it enables us to look forwards with perfect confidence to that more desirable state of human knowledge, in which the calculations of the mathematician are authorised to direct the operations of the artificer with security, instead of watching with servility the progress of his labours".

A la vez que Joseph Aspdin fabrica en Leeds un material conglomerante nuevo, el cemento Portland, en Francia Louis Vicat investiga las propiedades de cales y cementos, como escribe Marc Gaillard (« Ponts et viaducs : vingt siècles d'innovation »): « Le pont de Souillac, sur la Dordogne, mis en service en 1824, tient sa renommée de Louis Vicat qui y expérimente alors la chaux hydraulique ou ciment artificiel, procédé qui va révolutionner la construction des ponts et des ouvrages d'art, dont les techniques étaient restées inchangées depuis les Romains ».

« The first chain suspension bridge for traffic other than just pedestrians on the European mainland was opened on 8 June. It spanned 29.70 m over a tributary of the River Morava near Strážnice in Moravia and was designed by Bedřich (Friedrich) Schnirch".

El *polytechnicien* Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) formula, de manera preliminar, los principios de la entropía en *Réflexions sur la puissance motrice du feu et les moyens propres à la développer*.

