

efemérides de la ingeniería – 2022

[25 años]

1997. “Se produce el cierre de la M-40, ofreciendo un anillo distribuidor de gran dimensión, con una longitud de más de 60 km de su eje principal. Comenzado a construir en 1987, en julio de 1990 se abría al tráfico el primer tramo. Era un hito importante en la labor de redistribución del tráfico rodado de penetración en la capital, que se quería compatible con una estrategia de transporte que apostaba por el transporte colectivo. Y mientras la M-40 se cerraba, estaba en construcción la M-45 y más allá la M-50”. (Mercedes López, Jorge Bernabéu: *50 años construyendo el futuro, Ingeniería e infraestructuras en España, 1955-2005*).

En Bilbao se obra el milagro: *habemus* Museo Guggenheim, un “edificio icónico”, y acaban las obras del puente de Euskalduna. Para Miguel Aguiló (El carácter...), “El puente de Euskalduna se puede considerar como una celosía compleja, con una planta curva de 120 m de radio más un tramo recto suplementario [...]. Se trata de un puente de una radical novedad, que obliga a replantearse los criterios habitualmente utilizados por la ingeniería civil para valorar sus obras. Funcionalidad y belleza resultan criterios pobres para valorar este puente que se sale de todos los esquemas [...]. La forma resultante recoge la perfecta compenetración de planta, alzado y sección, tradicionales recipientes de lo funcional, lo formal y lo tecnológico”. A César Lanza (“Valor de un puente: Euskalduna”), le parece que “el resultado impresiona por atrevido y espléndido. Es así por la potencia figurativa, casi violenta, que da a la planta del puente un cuadrante de radio mínimo, y también por el ritmo que esa misma curva imprime a la evolución de la celosía central y a la sección transversal. En Euskalduna se siente vigor y armonía, pero no inocencia, como tampoco la hubo posiblemente en los puentes de Maillart”.

Se inaugura en el Centre Georges Pompidou, del 25 de junio al 29 de septiembre, la exposición “L’Art de l’Ingénieur”, probablemente la más importante muestra de la ingeniería civil desde mediados del siglo XIX hasta finales del XX; son comisarios de la misma José Antonio Fernández Ordóñez, de Madrid, y Raymond Guidot y Alain Guiheux, de París.

Obra del “Schlaich’s team”, se inaugura una pasarela en Oberhausen, haciendo uso de “the principle of inversion”: “Here, a suspension bridge that is circular in the plan and with a suspension cable and hangers along the center of the walkway was inverted in order to realize an efficient arch with an attractive spatial curve. In this way, it proved possible to harmonize the curved layout or the walkway with –if seen in view– the curved arch spanning the canal. The steel arch spans 77 meters and supports individual struts that

likewise support the walkway in the middle, or un past bears V-supports at 3-meter intervals".

[50 años]

1972. Por Orden, de 28 de febrero, se aprueba una nueva "Instrucción relativa a las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera". "La vigente Instrucción [de 1956] establecía cuatro secciones independientes: Tramos metálicos para ferrocarriles de vía normal, tramos metálicos para ferrocarriles de vía métrica, tramos metálicos para carretera y tramos metálicos para usos y disposiciones especiales. [...] Durante los quince años de vigencia de esta Instrucción sólo se modificaron las prescripciones para el tren de cargas provisto para las carreteras, que se basaban en cuatro hipótesis distintas, de las que, obligatoriamente, había de tomar las dos primeras, y quedaban la tercera y la cuarta a consulta previa con la superioridad. En los últimos años, las aceleraciones centrífugas o lineales de los vehículos han cambiado enormemente, como asimismo el hecho de la utilización moderna de grandes plataformas para transportes especiales que, por razones económicas, llegan a ser de tráfico frecuente. [...] el Consejo de Obras Públicas estima que la Instrucción propuesta ha sido minuciosamente estudiada y tiene como característica fundamental la simplificación de la antigua y la reformulación de las hipótesis de cargas, sobrecargas y acciones exteriores en consonancia con las nuevas técnicas, concluyendo que procede su aprobación".

El control de producción de las industrias dedicadas a la fabricación y suministro de hormigón preparado se contempla por primera vez en la *Instrucción para la fabricación y suministro de hormigón preparado* (EHPRE-72), aprobada por Orden de Presidencia del Gobierno, de 5 de mayo, de 1972 y modificada por Orden, de 10 de mayo, de 1973.

"El Plan Nacional de Autopistas fue la actuación más importante y de mayor proyección futura en la política de carreteras. En junio se presentaba el avance con un trazado periférico y otro radial. El estudio exhaustivo de prognosis de tráfico determinaba unos «corredores» y prioridades de demanda formando una red de prácticamente 7.000 km con carácter geométrico de trazado y secciones con capacidad para tráfico intenso y veloz de 120 km/h. En 1973 había en servicio 432 km de autopistas, 124 de autopistas libres y 308 de peaje" (Mercedes López, Jorge Bernabéu: *50 años construyendo el futuro, Ingeniería e infraestructuras en España, 1955-2005*).

Concluyen las obras de la presa de El Atazar: "Se trata de una bóveda de hormigón de doble curvatura, con una capacidad de 425 hectómetros cúbicos, 134 metros de altura sobre cimientos y 484 metros de coronación. El proyecto corrió a cargo de Consulpresa (Joaquim Laginha Serafim) y las obras se adjudicaron a Entrecanales y Távora, Dragados y Construcciones, y MZOV. Los trabajos, inicialmente valorados en 1000 millones de pesetas (6 M€), costaron finalmente alrededor de 6000 millones (36 M€)".



En 1967 el estudio de arquitectura Behnisch and Partner gana el concurso para diseñar las instalaciones principales de los Juegos Olímpicos de Munich: "Together with experts like Frei Otto, Lingwitz and Argyris, Leonhardt and his team headed by Jörg Schlaich developed since mid 1968 the structural concept and the detailing of the roofs". La forma y el estudio mecánico de las estructuras se determinarán mediante ensayos en maquetas de escala 1/125, aunque a partir de 1969-1970 serán los métodos de elementos finitos quienes sustituyan a las maquetas. Cada una de las cubiertas "est formée de surfaces à double courbure inverse, réalisées avec des réseaux de câbles bidirectionnels. Ceux-ci sont liés à des câbles de ralingue, des cerces et des mâts tubulaires en acier, dont la hauteur atteint jusqu'à 80 m pour la piscine. Toutes les couvertures reçoivent un bardage transparent en panneaux acryliques ».

Se abre al tráfico el primer gran túnel de Hong Kong, como informa Hugh Ferguson: "Opening in 1972 of the first immersed-tube cross-harbour road tunnel, designed by Scott Wilson and built by a consortium including Costain, transformed both business activity and tourism. During the three decades since the 70s, a further two road tunnels and three rail tunnels crossed the harbour, of the road system are four of the most prominent long-span bridge structures anywhere in the world".

Heinz Hossdorf publica en Berlín *Modellstatik* [Estática con modelos], inmediatamente publicado por el Instituto Eduardo Torroja, a instancias de Fernando Cassinello, y al cuidado de Carlos Benito Hernández (1915-2001) con el título *Modelos reducidos: métodos de cálculo*.

En el Laboratorio de Hidráulica de Delft, dos investigadores, Berkhoff y Schönfeld, por separado, resuelven teóricamente el fenómeno de refracción y difracción combinados (solución de pendiente suave, *mild slope*) del oleaje.

Se crea la Merrison Comision, "[which] was to make recommendations on the design of steel box girders following the dramatic failures of three box-girder bridges within 18 months: Milford Haven (June 1970, killing 4 construction workers), Yarra Bridge in Melbourne (October 1970, killing 35), and Koblenz in Germany (November 1971, killing 13)".

[75 años]

1947. Se aprueba la "Ley de Ordenación de los Transportes Mecánicos por Carretera y la Ley de Coordinación de los Transportes de Mercancías Terrestres", ambas de 27 de diciembre de 1947. Con ambas leyes, "entre otras cosas, se consagró la figura del canon de coincidencia con un no disimulado deseo de proteger el sector ferroviario", a juicio de José María Menéndez Martínez (1952).

Arturo Danusso (1880-1968) funda el muy prestigioso, a la postre, "ISAC (Istituto Sperimentale per Applicazioni in Calcestruzzo) en Bergamo, "which in 1951 became the



ISMES (Istituto Sperimentale Modelli e Strutture)". Un año antes se había creado el "Aeroelastic & Structures Research Laboratory", en el Massachusetts Institute of Technology: "From the wealth of research work, the contributions to FEM [Finite Element Method] and the systematic use of computers for calculating aircraft structures are particularly worthy of note. All the researchers [...] accepted the findings on the matrix formulation of structural mechanics problems laid out in the monograph *Elementary Matrices* by Frazer, Duncan and Collar".

El MOMA (Museum of Modern Art) organiza una exposición sobre el "structural art" de Robert Maillart, "partly through Sigfried Giedion", afamado historiador de la arquitectura, también suizo, y docente en la ETH, que unos años antes, en 1941, había publicado *Space, Time, and Architecture*, un long-seller "où, pour la première fois –a juicio de Bertrand Lemoine– dans une histoire de l'architecture, les constructions d'ingénieurs sont placées au tout premier plan en tant qu'avant-garde ».

[100 años]

1922. Acaban las obras del sifón de Tempul sobre el río Guadalete, en Jerez de la Frontera, proyectado por el profesor de Hidráulica Teórica de la Escuela Pedro M. González Quijano (1870-1958). Este sifón, y otro cercano sobre el río Majaceite, "a diferencia de todos los construidos hasta entonces en España, no salvaban los cauces [...] apoyando las tuberías en un puente que hacía las funciones de un *venter* sino que, por el contrario, la tubería describía un arco de gran luz, que tenía la característica de ser autoportante. La gran tubería de hormigón describe, por dos veces, una sobre cada río, una gran catenaria invertida, capaz de salvar una notable luz de 40 m. El sifón en puente-arco trabaja fundamentalmente a compresión y no precisa, por tanto, de armadura de tracción, salvo la mínima para resistir los empujes del viento. Esta solución presentaba la ventaja de consumir poco acero, escaso y caro como consecuencia de la devastación que representó la Primera Guerra Mundial", Ignacio González Tascón.

El 12 de julio se inaugura un túnel helicoidal entre Rivas y La Molina, en la margen izquierda del río Rigart, como destaca José María Fonseca García: "Como su nombre indica, está proyectado en forma de hélice con 35 milésimas de pendiente y 230 m de radio. Probablemente se escogió esta solución para no incrementar la pendiente del trazado, que con 40 milésimas es la mayor de España en ferrocarril de vía ancha con simple adherencia".

Tras de que en 1911 se electrificara la primera línea férrea en Almería, "en 1922 la compañía del Norte decidió electrificar su línea del puerto de Pajares, que asciende a más de 1.000 m y soporta el tráfico pesado que procede del puerto de Gijón y de la cuenca minera asturiana. Se escogió el tramo que va de Ujo a Busdongo y se electrificó a 3.000 V c.c. con material norteamericano. Se inauguró en 1925". D. Trevor Rowe (*Los ferrocarriles de España y Portugal*) aclara también que "la primera electrificación a 1.500



V fue asimismo emprendida por la Compañía del Norte, pues con este voltaje era más fácil y más barato comprar las instalaciones en Europa. En 1928 se electrificaron las líneas de Barcelona a Manresa y San Juan de las Abadesas, y un año después se hizo lo mismo con el tramo abierto en época más reciente (y financiado por el Estado) que alcanza la frontera francesa en Puigcerdá/La Tour de Carol".

Acaban las obras del puente de Saint Pierre du Vauvray. Pierre Xercavins et al. ("Eugène Freyssinet – His incredible journey to invent and revolutionize prestressed concrete construction") destaca que "the Saint-Pierre-du-Vauvray Bridge crosses the Seine River with a single span of 131m (430ft), a world record at the time. Until then the largest concrete arch bridges had been the Langwies Viaduct in Switzerland with a span of 98.5m (323ft); the Risorgimento Bridge over the Tiber with a span of 100m (328ft); the Minneapolis Viaduct over the Mississippi in the United States with a span of 122m (400ft) was still being built".

State representatives favoured the "creation of a permanent rail administration focusing on international traffic for the standardisation and improvement of conditions of railway construction and operations" "The international conference founding UIC was held in Paris on 17 October 1922. Initially the UIC had 51 members from 29 countries including Japan and China, which were soon joined by the railways from the USSR, the Middle East and North Africa.

Sobre el cielo moscovita se erige la torre emisora de radio de Chabolovka, de 150 m de altura, obra del ingenieros Vladimir Choukhov: "Les hyperboloïdes superposés forment ensuite une structure de tour effilée particulièrement élancée, conception qui permet de recourir à un nouveau procédé de montage (le procédé télescopique): dans la partie inférieure de la tour, les segments successifs sont assemblés au sol ; on les hisse ensuite au sommet provisoire de la tour à l'aide de 5 grues en bois traditionnelles ».

Dos años después de que Vladimir Tatlin presentara en Petrogrado [San Petersburgo] su maqueta del *Monumento a la III Internacional* –cuya pancarta rezaba "Ingenieros, cread nuevas formas"– entra en servicio "l'antenna per la trasmissione radio dell'URSS, a Mosca, denominata Shabolovkaya". Así describe Fausto Giovannardi (*Vladimir G. Shukhov and the lightness of steel*) esta extraordinaria estructura: "at least since 1911, Shuhhov began to think about the possibility of forming a tower with several sections of stacked hypars. The increase in the number of pages tapered increases the general shape, so that begins to resemble a cone. Before 1918 Shukhov had developed this concept, which brings in the draft of antenna for the radio broadcasts in Moscow. Shukhov has designed a tower of 9 sections, 350 m high, which would have surpassed the Eiffel tower height of 50 m, using less than one fourth of the amount of material. His project, full of calculations which analyze the hyperbolic geometry and dimensions of the various structural elements, was completed by February of 1919, but the 2,200 tons of steel needed to build the tower of 350 m were not available. In July 1919, Lenin decreed that the tower would be built to



height of 150 m and steel needed to be made available from the army stores. The construction of the tower with six smaller hypars began after a few months and was completed in March 1922". [En España, tres años después, Guillermo de Torre escribe su *Manifiesto Ultraísta Vertical*: "He aquí el erecto símbolo y la antena radiotelegráfica que irradia verbalismo sintético y conmociones de última hora"]].

"The idea of a ceremony for the Obligation of Canadian Engineers dates back to 1922, when seven past-presidents of the Engineering Institute of Canada attended a meeting in Montreal with other engineers. Rudyard Kipling responded to a call from the seven engineers with *The Ritual of the Calling of an Engineer*, to be administered by the Corporation of the Seven Wardens Inc. It was instituted with the simple end of directing newly qualified Canadian engineers toward a consciousness of their profession and its social significance, and indicating to more experienced engineers their responsibilities in welcoming and supporting the newer engineers when they are ready to enter the profession. The Obligation Ceremony is not connected to any other engineering organization nor to any university, although many of them support the idea of the Obligation and may participate in the administration of the Ceremonies".

[150 años]

1872. Por *Real Decreto, de 6 de julio*, "se mandó establecer el servicio electro-semafórico en España. En ese año había ya 130 semáforos en Francia, 30 en Italia y 20 en Portugal, unos en explotación y otros en construcción avanzada. Nada más interesante que establecer, como permiten los semáforos, puestos en relación con las líneas telegráficas, un lazo de unión entre los buques y sus armadores, ya para poder comunicar a aquéllos órdenes comerciales, ya para que éstos puedan conocer las necesidades de sus buques, mediante el empleo del Código internacional de señales, que consta de más de 78.000 combinaciones de letras". Años después, Pedro García Faria (1858-1927) será el proyectista del *semáforo* del Llobregat, uno de los seis previstos en el Mediterráneo.

José Antonio Rebolledo (1833-1895) publica *Casas para obreros o económicas*, viviendas de tres pisos con apartamentos mínimos que llegó a conocerse como "sistema Rebolledo". En una advertencia preliminar del libro escribe: "Estoy convencido de que sería mucho más desastroso el intentar suprimir la Internacional que permitir que se discutan libremente sus ideas. Si esa Sociedad es peligrosa en otros países, no será ciertamente por medio de la represión como se extinguirá el peligro. Ni aquí es permitido, ni sería conveniente perseguir a nadie por discutir y pensar". Por lo demás, el compromiso con 'lo social' de los ingenieros de caminos llegará hasta nuestros días, como explica Amaya Sáenz ("Los ingenieros en las calles de Madrid"): "Una interesante iniciativa urbanizadora decimonónica madrileña que atañe al caso que nos ocupa fue la Constructora Benéfica, asociación de caridad que desde 1875 promovió la construcción de viviendas higiénicas para obreros, inicialmente en la zona de Pacífico y después en





otros barrios de la capital. A esta empresa filantrópica, alentada por Concepción Arenal entre otros ilustres personajes, se vinculan desde su origen los nombres de diversos ingenieros de Caminos, entre los que figura José Antonio Rebolledo Palma, que fue profesor y bibliotecario de la Escuela y un miembro destacado de la Sociedad Económica Matritense. Activo divulgador científico, higienista, filántropo y defensor de la educación de la mujer, Rebolledo fue además un adelantado en el tema de las viviendas para las clases trabajadoras, al que dedicó su libro *Casas para obreros o económicas* y un sistema de construcción de las mismas con notable predicamento en aquellos años. Como él, que es titular de una calle en Vallecas, en el siglo XX otros ingenieros han asociado su nombre a la Constructora Benéfica y lo han perpetuado en el callejero urbano, caso de Domingo Mendizábal Fernández (1878-1964), que la presidió y tiene plaza en San Blas en la Colonia Benéfica Belén, o de Antonio Durán Tovar (1911-2012), también con calle en Vallecas, donde la entidad de la que fue benefactor y vicepresidente promovió numerosas viviendas.

Gustavo Pfeiffer publica *Atlas de los principales puertos de España*, basándose en los planos publicados por vez primera en la *Memoria de Obras Públicas* de los años 1864, 1865 y 1866, que habían levantado los ingenieros de caminos cumpliendo así lo establecido por la Dirección General de Obras Públicas, según Real Orden, de 24 de octubre, de 1859.

Luigi Cremona (1830-1903) publica *Le figure reciproche nella statica grafica*, que conocerá edición francesa en 1885, e inglesa en 1890. "Cremona generalised the Maxwell theory of reciprocal diagrams for the case of plane frameworks whose external forces represent a non-central system of forces", resume Kurrer. Danilo Capecchi y Guiseppe Ruta (*La scienza delle costruzioni in Italia nell'Ottocento. Un'analisi storica dei fondamenti della scienza delle costruzioni*) escriben que "secondo Cremona la formazione degli ingegneri doveva mirare a costituire una classe di tecnici altamente qualificati, ma anche culturalmente in grado di far parte della nuova classe dirigente nazionale; difese quindi fortemente il ruolo educativo della cultura scientifica, assolutamente inscindibile da quella più prettamente pratica, sottolineando l'importanza dello studio della geometria inteso come base per imparare a ragionare".

Con tecnología británica, y con ancho de vía estrecho (1,067 m), se inaugura la primera línea ferroviaria en Japón, entre Shinagawa (en Tokio) y el puerto comercial de Yokohama. La longitud total es de 29 km.

Como refiere Hunter Rouse ("Highlights in the History of Hydraulics"), William Froude (1810-79) was a somewhat older contemporary of Reynolds whose interests lay in the field of naval architecture. Froude built himself a towing tank on his own property and in part with his own funds, for the operation of which he had formulated a similarity law for flows under the influence of gravity. This law has come to be known under Froude's name, although it had actually been announced at least 20 years earlier by Ferdinand Reech

(1805-1880) [*Cours de mécanique d'après la nature généralement flexible et élastique des corps*, 1852], an Alsatian teaching in a naval college at Paris. But Froude was the first to note the development along the hull of ships ["Experiments on the Surface-friction experienced by a Plane moving through Water", 1872] of what came to be known as the boundary layer, a phenomenon of viscous shear which eventually was shown to be a function of the Reynolds number. It is hence only fair to note that Reynolds was the first to utilize the Froude law of similarity in model tests of tidal action in the Mersey estuary".

"The Albert Bridge crosses the river Thames in Chelsea, West London, England. It was opened on August 23, 1872. It was originally built as a modified cable-stayed bridge. However, due to structural challenges, the bridge was nicknamed "The Trembling Lady" due to its tendency to vibrate when carrying a large amount of people. It was modified twice--once augmenting the structure so that it incorporated aspects of a suspension bridge. It was modified a second time--two concrete piers were added, and the main span transformed to a simple beam bridge. It is 710 feet long, and 41 feet wide. The bridge is only one of two bridges crossing the Thames in London that have never been replaced. The other is the more famous Tower Bridge".

I *Congressi Nazionali degli Ingegneri e degli Architetti*, inaugurati nel 1872 a Milano e tenuti poi con scadenze diverse nelle principali città italiane, furono l'espressione del confronto tra le distinte categorie e della ricerca di una loro rappresentanza nazionale. Il primo congresso testimonia proprio il dibattito acceso riguardo la differenziazione delle competenze professionali. Esso fu articolato in cinque sessioni, dedicate rispettivamente all'Architettura, alle Costruzioni civili e stradali, all'Idraulica, alla Meccanica industriale e Fisica tecnologica e all'Ingegneria applicata all'Agricoltura.

Se publica el libro *Modern examples of road and railway bridges : illustrating the most recent practice of leading engineers in Europe and America*, by William H. Maw and James Dredge.

[200 años]

1822. En julio, en la medianoche del día 14 al 15, se inaugura la Feria de Nizhni Nóvgorod: un gran edificio central, dos edificios administrativos, ocho centros comerciales, 48 tiendas de dos pisos y una gran iglesia componen el conjunto. El proyecto es de Agustín de Betancourt, y durante las obras colaboran con él Rafael Bauzá (1778-1828) y Joaquín Espejo (1792-1847), este último casado con una de las hijas de Betancourt, Carolina. Otros ingenieros españoles del "círculo de Betancourt en Rusia" serán Agustín Monteverde (1798-1875), sobrino de Betancourt, y Joaquín Viado (1787-1838).

Claude Louis Marie Henri Navier lee en la Academia de Ciencias, el 22 de marzo, *Sur les lois des mouvements des fluides*, donde propone una formulación de la viscosidad de los fluidos sobre la base de una analogía formal con la teoría de la elasticidad, y de un modelo de fuerzas repulsivas entre moléculas: "ces lois seront retrouvées



indépendamment et dans une approche différente en 1845 par Georges Gabriel Stokes, et seront à l'origine des célèbres et incontournables «équations de Navier-Stokes» régissant le mouvement des fluides visqueux".

"The stone and brick bridge at Bordeaux was the most important work of the early nineteenth century in France. It was successfully completed in 1822 over the Garonne at a location where deep shifting sands had previously discouraged bridge builders from making any attempt" (*Bridges*, by Charles S. Whitney).

