

efemérides de la ingeniería – 2021

[25 años]

1996. Se aprueba el Real Decreto 2068/1996, de 20 de diciembre, por el que se aprueba la Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado (EF-96)". "Las Instrucciones para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (EH-91) y de hormigón pretensado (EH-93) hace necesaria también la revisión de la Instrucción EF-88, al objeto de adecuarla a lo prescrito en ellas". También se publican la RPX-95 y la RPM-95 para el proyecto de puentes mixtos y metálicos: "adelantándose al ejercicio mental que supondría el cambio de moneda de la peseta al euro, las nuevas normas se adaptaron al sistema internacional de unidad y exigían habituarse a los N/mm² en lugar de los kp/cm² y a los kN en vez de toneladas".

Se aprueba un nuevo Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses, más conceptual y menos detallado que la Instrucción de 1967: "De acuerdo con lo que es la tendencia mundial en la materia, el Reglamento técnico no establece soluciones técnicas concretas en cada una de las fases de desarrollo y utilización de las presas y embalses, que son responsabilidad específica del titular de la presa, sino que procede a fijar los criterios de seguridad que han de tenerse en cuenta para prevenir y limitar social y ambientalmente los riesgos potenciales que estas infraestructuras pueden representar". El Reglamento se ha completado con un conjunto de Guías Técnicas, a modo de recomendaciones, elaboradas por el Comité Nacional Español de Grandes Presas y por la propia Dirección General del Agua.

El mismo año, y tras de avatares muchos, acaban las obras de la presa de Mequinenza, "la más alta del Ebro con sus 81 m sobre cimientos, [que] está preparada para desaguar 12.800 m³/s por su vertedero central, y tiene una central de 310 MW en la margen izquierda".

[50 años]

1971. Federico Goded Echevarría (1917-1988) lee su discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: *Distribuciones de neutrones térmicos*.

Se publica (el 16 de febrero; BOE, nº40) el Decreto 3854/1970, de 31 de diciembre, por el que se aprueba el Pliego de Cláusulas Administrativas Generales para la Contratación de Obras del Estado. Incluye 79 cláusulas. La "62.- Modificaciones no autorizadas", por ejemplo, establece que "ni el contratista ni el Director podrán introducir o ejecutar modificaciones en la obra objeto del contrato sin la debida aprobación de aquellas modificaciones y del presupuesto correspondiente".



Como refiere Miguel Ángel del Val Melús ("Los pavimentos en las carreteras españolas del siglo XX"), "a partir de 1971, con la construcción de la autopista Sevilla-Cádiz, los pavimentos de hormigón empiezan a emplearse en España con una cierta continuidad y a gran escala en carreteras. Se adopta la técnica californiana de losas cortas de hormigón vibrado en masa, ejecutadas con pavimentadoras de encofrados deslizantes. De 1973 a 1978 se realizan 216 km en la autopista del Mediterráneo. En 1975 se construye el pavimento continuo de hormigón armado de la autopista Oviedo-Gijón-Avilés (43 km); después de treinta y dos años [en 2007] soportando un tráfico pesado muy intenso, su estado estructural sigue siendo satisfactorio".

La Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales del Ministerio de Obras Públicas publica la Orden Circular 229/71 C.V. llamada *Normas sobre barreras de seguridad*. Sergio Corredor Peña ("Sistemas de contención de vehículos: perspectiva histórica y retos de futuro") explica que "en este documento se establecían unos criterios de implantación de barreras de seguridad en las carreteras españolas, a partir de la experiencia adquirida hasta esa fecha en otros países europeos y en Estados Unidos. También se incluía una primera descripción de las barreras empleadas hasta entonces, clasificándolas en flexibles, semirrígidas, rígidas y nuevos tipos, entre los que se encontraba un colchón modular de impactos, antecedente de los actuales atenuadores. Esta orden circular constituyó la referencia reglamentaria en España hasta mediados de los años 90".

Terminan las obras del puente sobre el Wadi el Kuf en Libia, de Riccardo Morandi, "donde reprodujo la misma estructura de Maracaibo [1962] y Polcevera [1967]. En este caso está menos justificada, porque al ser un puente de tres vanos las torres no necesitan una rigidez tan grande. Este puente superó en luz al de Maracaibo y por tanto fue nuevo récord de luz de los puentes atirantados de hormigón", como dice Leonardo.

[75 años]

1946. Esteban Terradas Ila lee su discurso de ingreso en la Real Academia Española: *Neologismos, arcaísmos y sinónimos en plática de ingenieros*.

Se aprueba un Plan Nacional de Obras Portuarias: "Con la fuerte expansión del comercio internacional y la construcción de grandes buques que siguieron al fin de la Segunda Guerra Mundial, los puertos no se podían limitar a dar servicios de abrigo y protección, sino que debían convertirse en centros de tráfico comercial capaces de mover y almacenar grandes volúmenes de mercancías de todo tipo, y muy pocos puertos españoles estaban preparados para hacerlo. Tenían que aumentar sus calados, sus superficies de depósito y almacén, la capacidad de carga de sus grúas, etc. Los resultados del Plan no fueron los esperados".

Pierre Lardy (1903-1958), profesor de la ETH de Zürich, publica junto con Max Ritter (1884-1964) un libro capital sobre el hormigón pretensado: *Vorgespannter Beton: Theorie und*

Berechnung. Este mismo año Freyssinet construye “the first major bridge in the world built of precast, prestressed segmental construction”: el puente de Luzancy, sobre el río Marne, con una “esbeltez extraordinaria en su tiempo: 1,22 m de canto en el centro de un vano horizontal de 55 m de luz libre”.

El ingeniero danés Ove Arup (1895-1988), “who was two weeks short of his fifty-first birthday, a late age to launch out on one’s own”, funda en Londres una empresa mítica de ingeniería: Arup. Para Richard Rogers, arquitecto y *lord*, “Ove was a true Renaissance man and one of the greatest structural designers of the twentieth century with an exceptionally critical eye for anything that was not both functional and beautiful. [...] Under his leadership, Arup became an innovative and visionary institution driven by a truly liberal philosophy”.

La presa d’Aigle, de André Coyne, “est mis en eau. À la différence de Maréges [1935], la voûte est épaisse. Dans ce type d’ouvrage, le supplément de matériau par rapport à une voûte mince est en partie compensé par la réduction de la longueur du barrage, le rayon de courbure de la voûte étant plus grand. Mais surtout, sa construction est plus simple du fait que le parement amont est un cylindre vertical, le parement aval, en forme de conoïde, restant un peu plus délicat. Enfin, au lieu d’utiliser des tours à tapis pour la mise en œuvre du béton, système précis et sûr mais onéreux du fait que les tours (ou grues), ayant une portée limitée, doivent être assez nombreuses, on utilise des blondins, système oublié en France depuis son invention de 1834 au pont de Tours, mais qui avait pris une grande extension aux Etats-Unis. Ceci consiste à utiliser une plate-forme (appelée, à Tours, un “oiseau”) suspendue à des câbles ancrés de façon telle qu’ils puissent surplomber tous les points de l’ouvrage ».

[100 años]

1921. Tras siete años de arduos trabajos, el 21 de mayo el rey Alfonso XIII inaugura el Pantano del Chorro, un embalse que regula el caudal del río Guadalhorce y que amplía la zona regable del valle inferior del río conocida como la Hoya de Málaga. Se emplean modernas máquinas eléctricas: tractores, hormigoneras, grúas, martillos neumáticos... y las obras accesorias también son muchas y enjundiosas: desvíos de río, línea de ferrocarril, puentes, túneles, viviendas para 700 obreros... Por *Real Decreto*, de 12 de septiembre, Rafael Benjumea Burín (1876-1952) recibe el título de Conde de Guadalhorce [Hace notar Carmen Martín Gaité en su biografía sobre el ingeniero que “este real decreto, por una curiosa coincidencia, venía inserto a continuación de otro mediante el cual se concedía la grandeza de España al Teniente General D. Miguel Primo de Rivera y Orbaneja, a quien entonces pocos españoles conocían. Otra coincidencia es la de que esta concesión de nobleza a Primo de Rivera, apareciese en la Gaceta de Madrid, exactamente dos años antes de su pronunciamiento militar del 13 de septiembre del año 1923”].

En Suiza terminan las obras de la presa de Jogne, de 57 m de altura, “en la que con el fin de conseguir mayor superficie de refrigeración se utilizó por primera vez el sistema de “juntas abiertas”, que consistía en dejar juntas con una abertura del orden de un metro o superior. [...] Las juntas abiertas tenían la ventaja de no exigir bloques alternados en el hormigonado y la facilidad de observación de las posibles grietas longitudinales. El inconveniente principal era la necesidad de tener que utilizar dos elementos de cierre de la junta. El relleno de juntas y pozos era normal hacerlo con el mismo hormigón y si acaso se limitaba el tamaño máximo del árido, en otras ocasiones los pozos se rellenaban de arcilla”.

Un ingeniero suizo, Fred Noetzi (1887-1933) publica un “paper of 60 pages in the ASCE Transactions”. “[He] summarized the situation in a landmark 1921 paper in which he reviewed the practice of arched dams, gave relatively simple formulas for calculating the cantilever and the arch actions in horizontally curved dams Noetzi then proceeded to discuss the central issues in concrete dam design that went beyond the statics of water-pressure loading: stresses due to temperature change, to shortening of the arches under water pressure, and to shrink-age of the concrete as well as the influence of cracks in the concrete. He showed by simple calculations that these effects were at least as important as those due to the statics of water pressure loading”. David P. Billington et al...

Arthur Vierendeel publica *Esquisse d’une histoire de la technique*: “l’ingénieur doit sentir d’abord, calculer ensuite”. Por su parte, Marcel Bénézit, professeur de la École Spéciale des Travaux Publics, publica un magnífico tratado de puertos: *Cours de ports et travaux maritimes*.

[150 años]

- 1871.** Pedro Pérez de la Sala (1827-1908), a la sazón encargado de la cátedra de Puertos y Señales Marítimas, publica un importante *Tratado de las construcciones en el Mar; arreglado al Programa de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos*. “La segunda edición [1886], la más completa, consta de un volumen con 17 capítulos desarrollados a lo largo de 875 páginas y de un Atlas con 63 láminas y 445 figuras y dibujos citados en las diferentes lecciones. [...] Los diez primeros capítulos están dedicados a los elementos meteorológicos y físicos de la acción del mar (viento, olas, mareas, corrientes), sus efectos sobre la costa (régimen de costas, rías, canales) y los materiales de construcción en el mar (cales, morteros, cementos). Los capítulos X y XI describen los buques y puertos, respectivamente. Por último, los capítulos XII al XVII se dedican al estudio minucioso de las construcciones marítimas. Llevan por título, cada uno de ellos, los siguientes: Formas y Trazado de los diques, Diques de escollera, Fabricación de sillares artificiales, Coronación de diques, Sistemas concertados, Diques de madera”. En años posteriores publicará *Lecciones de faros* (1883-1885) y *Señales marítimas* (1887).



José Ramón Navarro Vera informa de que “en el accidente del puente de las Guarrizas, una locomotora rompió las viguetas del piso y se precipitó al vacío, con el resultado de 3 muertos y 2 heridos” y la “prensa arremetió contra los ingenieros, a los que calificó de ignorantes y descuidados. La Revista de Obras Públicas, después de analizar el accidente del puente, que había sido proyectado y construido por ingenieros extranjeros, replicaba así: «En este país, donde desgraciadamente todo se discute con pasión, y las más de las veces todo se usa como arma política, no nos extrañan estos arranques, creyendo firmemente, no obstante, que si los periódicos aludidos tuviesen los datos y antecedentes necesarios, rectificarían su juicio y modificarían sus apreciaciones, haciendo al Cuerpo de Ingenieros la completa justicia que merece»”.

Luis Sainz Gutiérrez (1829-1899), ingeniero jefe de 2ª clase de caminos, canales y puertos y comendador de número de la Real y Distinguida Orden de Isabel la Católica, publica *Compendio de arboricultura aplicado a las plantaciones de carreteras*: “si en tiempos que afortunadamente pasaron pudieron ser los árboles objeto de censura por el público que frecuentaba las carreteras, considerándolos como seguro abrigo de malhechores, y por los labradores limítrofes que creían ver en la sombra de aquéllos notable perjuicio para alguna parte de sus cosechas, indiscutible es hoy su beneficio para todos; con particularidad para el desvalido caminante que, bajo su protectora sombra, repara las cansadas fuerzas, y muy especialmente para las mismas carreteras, a cuya conservación ayudan favoreciendo la de la humedad, de que, con particularidad las enclavadas en las provincias meridionales, tanto necesitan”.

«Le barrage construit à Aix-en-Provence par François Zola (1796-1847), le père de l'écrivain, est le parfait exemple d'une innovation majeure, qui passera pourtant quasi-inaperçue après sa mise en service. En France, il faudra attendre 1930 pour voir se construire un nouvel ouvrage de ce type : un siècle se sera écoulé depuis la première soumission du projet en 1838 ! Cette année-là, François Zola proposa à la municipalité d'Aix de lui concéder l'alimentation en eau de la ville au moyen d'un barrage dans la vallée de l'Infernet. D'une hauteur de 42 mètres, son ouvrage, inspiré de réalisations plus anciennes, reste comme le premier barrage-voûte de l'ère industrielle. C'était aussi l'une des premières fois où l'on envisageait d'alimenter une ville en eau potable à partir d'un grand réservoir... d'où les réticences de la population ! Le barrage servit également à faire fonctionner des usines, en utilisant la chute entre l'arrivée du canal à Aix et les différents points de livraison de l'eau potable. En 1871, il fut baptisé du nom de son auteur, et reste en service aujourd'hui encore”.

Concluyen las obras del primer gran túnel que atraviesa los Alpes entre Francia e Italia, bajo el Mont Cenis, que “is on a direct line between Lyons and Turin. It was the obvious route for a link between the railway Systems of France and Italy”. En este túnel se emplea también por vez primera el martillo neumático, como explica Gorazd Humar: “When work on the tunnel began in 1854 using the manual method, progress was just 0.60 metres a



day. It looked as though the builders would never be able to tunnel through Mont Cenis. With the advent of the pneumatic drilling machine [developed in 1859 by Germain Sommeiller (1815-1871), a civil engineer from Savoy], the situation was turned on its head. The use of compressed air was so effective that it was even used to drive locomotives in this long tunnel [12,290 metres]".

El matemático Joseph Valentin Boussinesq publica *Étude nouvelle sur l'équilibre et le mouvement des corps solides élastiques dont certaines dimensions sont très-petites par rapport à d'autres*. Un año después publicará *Théorie des ondes et des remous qui se propagent le long d'un canal rectangulaire horizontal* y *Théorie des ondes liquides périodiques*. En 1876 publicará *Essai théorique sur l'équilibre d'élasticité des massifs pulvérulents et sur la poussée des terres sans cohésion*.

[200 años]

1821. Al frente de la Dirección General de Caminos y Canales del Reino, nuevamente reorganizada, se nombra a José Agustín de Larramendi, según Real Orden, de 1 de agosto. De la Escuela se encarga Francisco Javier Barra (c. 1764-1841) y los exámenes de ingreso han lugar en abril.

"The first civil engineering course outside of West Point was offered in 1821 by the American Literary, Scientific and Military Academy, later to be known as Lewis College and then, in 1834, renamed Norwich University. The first civil engineering degree was conferred by Rensselaer Polytechnic Institute in 1835. By mid-century engineering courses were being offered by Union College (1845), Harvard College (1846), and Yale College (1846)".

Pierre-Dominique Bazaine publica "una teoría de las esclusas con dársena de retención": *Mémoire sur l'établissement des bassins d'épargne dans les canaux de navigation, et sur les moyens d'économiser une grande partie de l'eau qui se dépense annuellement au canal de Ladoga*, teoría que devendría proyecto, el de las esclusas de Schlüsselbourg. Para Dmitri e Irina Gouzévitch, no obstante, "el pensamiento teórico de Bazaine, por original que sea, tiene un precedente importante: el proyecto de esclusa de Betancourt, memoria publicada en 1807 que le abrió las puertas del Instituto de Francia un año después [*Mémoire sur un nouveau système de navigation intérieure, présenté à l'Institut Nationale de France*]. Por lo demás, el propio Bazaine había reconocido "la existencia de una obra inglesa de comienzos del siglo XVIII que contenía la descripción de un caso particular de esclusas gemelas. Los británicos, fieles a sí mismos, resolvieron empíricamente un problema concreto. El modelo ideal de Bazaine calculado teóricamente ofrecía, por el contrario, diversas soluciones aplicables a cualquier caso particular, incluido el descrito por los ingleses".

El ingénieur des ponts et chaussées, y ultrarrealista, Augustin Louis Cauchy publica las lecciones que imparte en la École polytechnique bajo el título *Cours d'analyse*: "Cuando



los valores sucesivamente atribuidos a una misma variable se aproximan indefinidamente a un valor fijo, de modo que acaben por diferir de él tan poco como se quiera, a este último se le denomina límite de todos los demás". Cuatro años después publicará *Sur les intégrales définies prises entre des limites imaginaires*.

John Loudon McAdam (1756-1836) publica *Remarks on the present system of road making* –dos años antes había publicado *A Practical Essay on the Scientific Repair and Preservation of Public Roads*–. Como explica Paolo Ferrari («La rivoluzione stradale di John Loudon McAdam»), "il punto di partenza del lavoro di McAdam fu la constatazione che il terreno naturale, se mantenuto asciutto, fosse in grado di sopportare senza danno i carichi trasmessi dalle ruote dei carri. Ciò che pertanto era necessario per realizzare una buona strada era disporre sul terreno naturale uno strato duro e compatto, impermeabile in modo da impedire che l'acqua piovana penetrasse nel terreno sottostante, sufficientemente regolare per ridurre al minimo la resistenza al rotolamento delle ruote dei carri, resistente all'usura e facilmente riparabile. Questa tecnica costruttiva rappresentava una rivoluzione rispetto al modo tradizionale di costruire le strade, che fin dai tempi degli antichi Romani assumeva come necessaria una robusta fondazione ottenuta, come si è visto, scavando una profonda trincea per tutta la larghezza della strada. Ma altrettanto importante fu il metodo impiegato per mettere a punto questa tecnica: metodo rigorosamente sperimentale, che consisteva nel porre in atto successive modifiche nella tecnica impiegata sulle strade sperimentali da McAdam costruite a sue spese, in seguito alle osservazioni fatte sul comportamento di tali strade sotto l'azione del traffico. [...] Impiegando questo metodo McAdam giunse alla conclusione che lo strato da sovrapporre al terreno naturale dovesse avere uno spessore di circa 25 cm, e che dovesse essere formato da elementi lapidei a spigoli vivi, disposti sul terreno in tre fasi successive fino a realizzare lo spessore desiderato. Gli elementi lapidei dovevano essere ottenuti dalla spaccatura di grosse pietre, ed avere piccole dimensioni allo scopo di dar luogo ad una superficie di rotolamento regolare e di potersi incastrare facilmente fra loro". Por su parte, para Richard Shelton Kirby (*Engineering in History*) "the roads of McAdam was thinner than Trésaguet's (1717-1796) or Telford's, much less expensive, much easier to build. McAdam's unique contribution was his insistence that the subsoil must be dry and kept dry; if it were dry, it would be firm, and there would be no need for deep foundations".