

Luciano Yordi, un ingeniero de Caminos coruñés que proyectó para Galicia

Revista de Obras Públicas
nº 3.520. Año 158
Abril 2011
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Luciano Yordi, a civil engineer from Coruña who designed for Galicia

Carlos Nárdiz Ortiz. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Profesor de la Universidad de A Coruña. (España). cnardiz@udc.es

Ana García Mayo. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos
Colaboradora con la Demarcación del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Galicia. (España).
agarmay@ciccp.es

Resumen: La investigación que realizó Ana García Mayo de la obra de Luciano Yordi, constituyó el grueso del catálogo de la exposición con la que se inauguró la nueva sede de la Demarcación de Galicia del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. La investigación se enriqueció con las reuniones que mantuvimos con aquellos que le conocieron en su faceta más humana, entre los que se encontraban ingenieros de caminos que colaboraron con él en los últimos proyectos de presas, como Ángel Mario Carreño y Rodrigo del Hoyo.

Desde que iniciamos la andadura de la anterior Junta Rectora del Colegio en Galicia, aprobamos que la figura de Luciano Yordi, del que teníamos referencias de su escritos y de su obra, merecía una exposición para difundir los valores de un ingeniero de caminos, impulsor de iniciativas fundamentales para A Coruña y para Galicia, y proyectista de presas como las del Eume o Belesar, que él mismo justificaba en sus escritos, fundamentalmente en la *Revista de Obras Públicas*. No es anecdótico, en este sentido, que su hermano Antonio Yordi, nos confesara en una conversación que a Luciano Yordi lo que le gustaba realmente era escribir, lo cual en un ingeniero de caminos se traduce en una forma de explicarse así mismo y a los demás los motivos y los condicionantes de sus obras (1).

Palabras Clave: Presas; Galicia; Historia y Estética de la Ingeniería; Empresas eléctricas

Abstract: The research conducted by Ana Garcia Mayo on the work of Luciano Yordi formed the main part of the exhibition catalogue presented on the opening of the new Galician Regional offices of the Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. This research was enhanced by meetings with people who knew him on a more personal level, including civil engineers such as Ángel Mario Carreño and Rodrigo del Hoyo, who collaborated with Luciano Yordi on his final dam projects.

The previous Governing Board of the Colegio in Galicia considered that the writings and works of Luciano Yordi were worthy of an exhibition in order to spread the values of a civil engineer who was the driving force behind projects for Coruña and Galicia in general, and a designer of dams such as the Eume or Belesar dams which he himself justified in his writings, and particularly in the *Revista de Obras Públicas*. It then comes as no surprise that his brother Antonio Yordi should reveal in a conversation that what Luciano Yordi really liked to do was to write – this being something which, in a civil engineer, may be seen as a means of explaining to both oneself and all others the reasons and basis for one's works (1).

Keywords: Dams; Galicia; History and Aesthetics of Engineering; Electricity Companies

1. Introducción

La primera vez que tuve una referencia de Luciano Yordi de Carricarte, fue a través de un artículo que había escrito en la Revista de Obras Públicas (ROP), en junio de 1973, sobre "*Filosofía del*

emplazamiento de las Presas de Embalse", que terminaba con una frase sobre la personalidad de los ingenieros de caminos en la que decía que "uno de los atractivos de la profesión era el de imaginar siempre como posible algo diferente a lo establecido o heredado", todo lo contrario de lo que ha

sido la práctica más generalizada, no solo en la profesión de los ingenieros de caminos, sino en el resto de las profesiones que se ha enfrentado con el proyecto de obras en la naturaleza.

Este artículo era el último de los trece artículos que había escrito en la ROP de los que hacemos una referencia al final, en donde los dos primeros, de 1951, se relacionaban con la *Presa del Tambré*, que había proyectado para la *Sociedad General Gallega de Electricidad S.A.*, de la que era director su padre, el también ingeniero de caminos coruñés Luciano Yordi Menchaca, que había tenido varios cargos relacionados con las carreteras y los puertos fuera de Galicia. El proyecto, que ampliaba el aprovechamiento hidroeléctrico que la Sociedad tenía desde 1927, era una presa de gravedad de 48 m de alto, que no implicaba mayor complejidad, pero que centrará a partir de entonces la trayectoria vital de Luciano Yordi como proyectista relacionada con los aprovechamientos hidroeléctricos y con la industrialización de Galicia.

No en vano, en su segundo artículo en la ROP, que titulaba "*Posibilidades industriales de Galicia*" (1954), empezaba diciendo que según su criterio, las mayores posibilidades de la región gallega en el orden industrial, son las que se basan en la explotación al máximo de sus grandes recursos de "hulla blanca", porque la base de la riqueza no solo industrial, sino aún económica, es la abundancia económica de la energía o fuerza motriz disponible.

Este pensamiento, que habría hoy que matizar y condicionar con las características ambientales y paisajísticas de los cauces de los ríos, en aquella época de la España de mediados de los años 50, que seguía el ejemplo de otros países cercanos como Francia o Italia, ya desde los años 30 con el aprovechamiento hidroeléctrico de sus ríos, era difícil de matizar, por lo que una de las variables con las que es necesario acercarse a la figura de Luciano Yordi, es que era un ingeniero de caminos de su época, incluso con planteamientos anteriores al Plan de Estabilización de 1959, con el que se inició realmente la industrialización en España, después de la experiencia de finales del siglo anterior en Asturias, País Vasco y Cataluña.

Al salto de escala de los aprovechamientos hidroeléctricos que se iniciaron en España, se refería

Luciano Yordi al decir que fuera de un círculo reducido, no se ve el enorme esfuerzo que en otros aspectos, además del económico, hacen las Empresas a través de sus equipos de hombres y material para llevar a buen fin esta lucha con la naturaleza, que al fin y a la postre es la obtención de la energía básica para la industria. En este sentido, Luciano Yordi, consideraba que "una región como la nuestra que lo ha dado todo para ayudar a resolver lo que fue un pavoroso problema eléctrico, debe exigir, y a ello tiene derecho, el montaje de industrias cuya base es la energía en su propio suelo, sin tener que enviar al exterior la mayor parte de la energía producida en su aprovechamientos", extendiéndose a continuación en el tipo de industrias que podrían venir a Galicia.

No es extraño, por tanto, que a Luciano Yordi le encontremos ya antes, haciendo un *Anteproyecto para la ubicación de la Refinería de A Grela* (como primer emplazamiento, antes de Bens) por la que competían en esos momentos otras ciudades como Gijón, Bilbao o Santander en el norte de la Península, y que las grandes industrias que se ubicaron en el polígono industrial de la Grela (inaugurado en 1961) necesitaran la energía de la *Presa del Eume*, terminada un año antes, y el agua derivada de la *presa de Meicende*, también proyectada por Luciano Yordi y a la que se hace también referencia a la exposición.

En la Grela también, se ubicará la empresa *Elaborados Metálicos S.A. (EMESA)*, de la que Luciano Yordi fue su fundador y presidente de su Consejo de Administración, y que se va relacionar con la construcción de obras de ingeniería trascendentales para Galicia como fue el puente de Rande.

A Luciano Yordi lo encontramos también ya desde comienzos de los años 50, realizando el *Anteproyecto del aeropuerto de Alvedro*, justificando las ventajas de su ubicación en este lugar, frente a las propuestas de los años 30 y 40 de ubicarlo en la Ría del Burgo, e incluso de su trasladarlo a Larcha o Baldaio. Apoyándose en La Voz de Galicia, complementó al papel que jugó este periódico en apoyo de la ubicación del aeropuerto en Alvedro, cuya decisión fue tomada en 1953.

La relación de Luciano Yordi con A Coruña, se extendió también a otros proyectos trascendentales para la ciudad, como el "*Proyecto de ampliación del abastecimiento de agua a La Coruña*"

que realizó en 1965, que comprendía una presa de regulación en el sistema Mero-Barcés, una nueva planta de tratamiento en la Telva, y un conjunto de depósitos reguladores, para una población que se suponía rebasaría los 400.000 h. La *presa de Cecebre* proyectada en 1965 por Luciano Yordi para el abastecimiento a la ciudad de A Coruña, aunque no suponía ningún avance respecto a las presas proyectadas anteriormente, y su construcción se retrasase diez años, es hoy vital para el abastecimiento a la ciudad y su área metropolitana, que rebasa hoy la población estimada entonces (2).

A mediados de los años 60, con las *presas del Eume y Belesar*, Luciano Yordi se convertiría en unos de los proyectistas de grandes presas más importantes de España, como luego comentaremos, que compatibilizaría con proyectos de concesiones hidroeléctricas menores para la empresa "Fuerzas Eléctricas del Noroeste S.A." (FENOSA) que había absorbido en 1953 a la *Sociedad General Gallega de Electricidad*, bajo la presidencia de *Pedro Barrié de la Maza* (3).

Pero junto a esta labor de proyectista de grandes y menores presas, hay otra menos conocida, que es la que realiza con la *Diputación Provincial de A Coruña*, a partir de que en 1958 suceda como ingeniero Jefe de Vías y Obras, a otro ingeniero de caminos trascendental para la ciudad de A Coruña, como fue Alfonso Molina. De sus intervenciones en carreteras provinciales, la que le hizo merecedor, coincidente con su fallecimiento en 1978, a un reconocimiento por parte de la *Diputación Provincial* fue el *Viaducto de Catoira*, para unir A Coruña con Pontevedra sobre la ría Ulla, acordándose entonces dar a este viaducto el nombre de *Luciano Yordi de Carricarte*, que todavía no se ha producido. Otro proyecto suyo fue la línea de trolebuses entre Santiago de Compostela y Carril que no se llegó a materializar.

Es sin embargo a su papel como proyectista de grandes presas, a la que dedicó mayor atención, por ser sin duda en ellas en las que se refleja su



Luciano Yordi.

principal personalidad, con algunas presas que han quedado para la historia de la ingeniería de la segunda mitad del siglo XX en España.

2. Un ingeniero proyectista de presas de su época

Aunque no es fácil para la mayor parte de la gente, separar lo que significa el proyecto de *las presas*, con su carga histórica y su forma de enfrentarse o adaptarse a la naturaleza, del vaso de agua que suponen *los embalses*, que inundan tierras con un valor agrícola, ambiental o paisajístico y que sepultan a veces núcleos de población históricos como hizo el embalse de Belesar con Portomarín, obligando a trasladarlo, detrás de la personalidad de Luciano Yordi, hay que ver fundamentalmente un proyectista de presas, que ejerce su profesión al servicio de empresas que tienen en la producción y distribución de electricidad su principal objetivo y en las que los embalses son la consecuencia necesaria para la explotación del desnivel de altura que se produce en la lámina de agua.

La localización de la cerrada adecuada en la que se sitúa la presa para explotar un tramo de río, se convirtió en esa época en el principal argumento de su construcción, siempre que las afecciones o servicios existentes (poblaciones, vías de ferrocarril o carreteras existentes que discurren paralelas a los cauces de los ríos) fueran asumibles. Luciano Yordi, es por tanto, un ingeniero de caminos proyectistas de presas de su época, lo que no quita un ápice de valor a su trayectoria como proyectista.

Las presas que proyectó en Galicia, al servicio en la segunda mitad de los años 40 de la *Sociedad General Gallega de Electricidad* (fundada ya en 1903 para la explotación de los saltos de Segade en el Umia y de Fervenza en el río Belesar, próximo a Ferrol), y a partir de 1956 (que absorbió a la anterior sociedad, presidida también por Pedro Barrié de La Maza) para FENOSA (Fuerza Eléctrica del Noroeste, S. A.), muestran un ingeniero preocupado por la innovación y por el diseño de presas, aparte de por



El ministro de Obras Públicas (Vigón) imponiendo la Medalla al Mérito Civil.

la justificación de sus proyectos como antes comentábamos en relación a los artículos que escribió en la ROP.

Aparte de unos primeros proyectos realizados nada más terminar la carrera en 1946, como los que realiza con Fernando Salorio para las presas de *Dorna* y *San Jorge*, *Eume* (posteriormente modificados por él), o *Tambre*, apoyados en soluciones de presas de gravedad, el salto de escala y tipológico de sus proyectos se va a producir cuando en 1955 presente el "Proyecto de replanteo del aprovecha-

En Vigo, con motivo del espectáculo visual de "La luz a la vida" (1970).



miento hidráulico del Río Eume", que terminada de construirse en 1960, va a ser la primera presa bóveda de España de doble curvatura y en la que habría de enfrentarse con la propia empresa, dirigida por su padre, para imponer esta solución.

Nadie que vea hoy la *presa del Eume*, de 103 m de altura, podrá abstraerse de la elección acertada del emplazamiento y de la tipología adoptada, del cuidado de los detalles del aliviadero, de las barandillas, de los desagües de fondo, de los accesos o de la imagen que ofrece la presa cuando el agua en avenidas desagua por la coronación, para pensar que quien la proyectó estaba pensando en algo más que la construcción de una presa tradicional que retuviera el agua y creara un salto para producir energía eléctrica.

Aunque los modelos para las presas bóvedas como el explica en el artículo que escribió en la ROP de 1956, son deudores de las innovaciones que había introducido André Coyne con la presa de Meréje a mediados de los años 30, y del desarrollo posterior de las presas francesas, italianas, e incluso portuguesas de Santa Luzía, Castello de Bode, y Venda Nova, en las que había intervenido el propio Coyne en el proyecto, con el apoyo en estos dos últimos casos del *Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC)* de Lisboa, la manera de resolver los detalles anteriores, la forma de encajar la presa en las laderas del Eume, y la decisión de construir una presa bóveda en este lugar, pensando como Juan Manuel Zafra (ingeniero de caminos difusor del hormigón armado en las primeras décadas del siglo XX) que el ingeniero necesita ser osado, lo que no implica ni imprudencia, ni mucho menos temeridad, hace que la presa del Eume tenga un lugar en la historia de la ingeniería en España.

Con la concesión que había tenido FENOSA de la explotación del río Miño, entre Portomarín y Os Peares, la *presa de Belesar*, le permitió a Luciano Yordi mostrar todo su potencial de proyectista, en esos momentos puntero respecto a lo que se estaba haciendo en España. También aquí modificó el proyecto anterior de la presa de gravedad, para convertirla en una presa bóveda de doble curvatura de 129 m de altura y que doblaba la longitud de coronación de la presa del Eume.

Proyectada en 1960 y terminada de construir en 1963, suponía una crítica al perfil triangular de las presas de gravedad -como decía Luciano Yordi-

por el mal rendimiento del material, y por la falta de consideración que tienen estas presas del hecho que se trata de estructuras de tres dimensiones y no de dos al igual que la del Eume. Consideraba también un gran error olvidar que la estructura de la presa es el "conjunto que forman la presa y la montaña" (ROP 1961). La presa de doble curvatura que proyectó, fue ensayada al igual de la del Eume por el LNEC, en donde se fueron formando en los años 50 una serie de ingenieros portugueses como J. Serafín o M. da Costa, que a través de la empresa CONSULPRESA, van a trabajar conjuntamente con los españoles. Además, en los ensayos de la presa del Eume, como en los de la presa de Belesar, se apoyará también en el *Laboratorio Central de la Escuela de Caminos de Madrid* bajo la dirección de Eduardo Torroja y Carlos de Benito (4).

Tanto la presa del Eume, como la de Belesar, van a figurar entre las obras más significativas de presas construidas en España, en un periodo que como decía J. Torán (ROP 1964), la hidroelectricidad fue la causa motivadora principal de la construcción de grandes presas. Aunque en España habían surgido para fabricar ríos -decía Torán- para beber, regar y comer, las más importantes construidas en esos años estaban orientadas a provocar discontinuidades aprovechables en saltos hidroeléctricos. Aparte de las del Eume y Belesar (las primeras) han quedado como ejemplos de presas de ese periodo la de Canelles (150 m de altura), Susqueda (135 m), Aldeadávila (177 m), que merece la pena visitar en estos momentos, para relacionarse con un momento (ya no repetible), en la construcción de grandes presas en España (5). Los problemas sociales y ambientales que generan los embalses, hacen que hoy en día nuevas presas de esas características, sean inviables.

Las presas posteriores de Luciano Yordi, va a proyectarlas en colaboración con otros ingenieros de caminos: *Velle* y *Castrelo*, con Ángel Mario Carreño, o *Friera* y *Albarelos* con Rodrigo del Hoyo, aunque sin duda también importantes, no van a suponer ese grado de osadía que reivindicaba en Eume y Belesar. Merece también destacarse *la presa de Meicende*, por su tipología de bóvedas múltiples (de la que solo hay tres ejecutadas en España), proyectada en 1960 para abastecer de agua a las empresas "Alúmina de Galicia, S.A" y "Grafitos Eléctricos del Noroeste" en el polígono de la



Presa de Meicende.

Grela, cuya ubicación en esos polígonos fue posible por la subestación eléctrica, a la que llegaban las líneas de alta tensión que partían primero de la presa del Eume y después de Belesar.

El razonamiento de que es la disposición de electricidad suministrada por las grandes presas en esa época, la que favoreció la implantación en Galicia de determinadas empresas, hay que ponerlo también en la balanza con los efectos ambientales y sociales que supuso la construcción de estas obras, al igual que las que la empresa IBERDUERO llevó a cabo para la explotación del río Sil y de sus afluentes el Bibeí y el Xares, o de las propiedades y áreas afectadas que van a producir las centrales térmicas de *As Pontes* y *Meirama*, o la también térmica situada en el Polígono de Bens en A Coruña, en Sabón.

Pero éste es otro debate, lo que nos interesa transmitir aquí es la faceta humana, planificadora y proyectista de Luciano Yordi y creo que por primera vez la investigación que ha realizado Ana García Mayo, puede hacer justicia a un ingeniero de caminos, canales y puertos, apenas conocidos por la población y por la propia profesión.

3. La presa del Eume

La presa del Eume es fundamental en la carrera de Luciano Yordi y en la ingeniería de presas, por estar considerada la primera presa bóveda moderna de España.

La presa del Eume vertiendo.



Inicialmente prevista como presa de gravedad, Luciano Yordi luchó para imponer su idea de construir una presa bóveda, venciendo la inicial resistencia de los propietarios de la empresa explotadora (Sociedad General Gallega de Electricidad SGGE) de la cual su padre, Luciano Yordi Menchaca, era director gerente.

Hemos de ser conscientes de lo que suponía la introducción de esta tipología en esa época, en la que la mayor parte de las presas construidas en España eran de gravedad. Los años de guerra civil (1936-1939), la posguerra y el posterior período de aislamiento exterior, hicieron que el importante desarrollo conseguido años antes en la tecnología de construcción de presas sufriese un retroceso motivado por la falta de materiales (cemento, acero), de medios auxiliares y de maquinaria y por la existencia de una mano de obra abundante pero con una cualificación muy escasa. Se optaba, por tanto, por una tipología en la que la experiencia estaba más que probada, como era la de gravedad.

En el año 1946, Fernando Salorio y Luciano Yordi redactan un proyecto (*Proyecto de ampliación del "Salto de la Capela" para el aprovechamiento integral del río Eume*) con el fin de solicitar la ampliación de la concesión para aprovechamiento hidroeléctrico en el río Eume, afectando a los ayuntamientos de Pontes de García Rodríguez, A Capela y Monfero, en la provincia de A Coruña, y Xermade, en la de Lugo. El proyecto fue realizado para Fábricas Coruñesas de Gas y Electricidad, S.A., empresa que años después fue absorbida por la SGGE.

En este proyecto se proponía una presa de gravedad de 96 m de altura, con planta curva de 250 m de radio. El cuerpo de la presa estaba formado por un arco de 170 m y dos alineaciones rectas de 33,50 m y 34 m. Se diseñaba un aliviadero en superficie, con una longitud de 88 m y perfil Creager.

El 24 de septiembre de 1953 el BOE publica la resolución por la que se concedía a la SGGE el aprovechamiento de las aguas del río Eume con destino a producción de energía eléctrica, fijando en dicha resolución un plazo máximo de dos años para la presentación del denominado *proyecto de replanteo*.

Éste fue redactado por Luciano Yordi, en junio de 1955, bajo el título de *Proyecto de replanteo del aprovechamiento hidroeléctrico del río Eume*, y en la memoria del mismo describía los motivos que le llevaban al cambio de la tipología inicial, aun manteniendo su emplazamiento.

Luciano Yordi basaba su idea, por una parte, en el informe que la asesoría geológica del Ministerio de Obras Públicas había emitido el 31 de agosto de 1954 y en el que se señalaba lo siguiente: "*Las condiciones del terreno, cuyas características han sido descritas en párrafos anteriores, las consideramos en su conjunto favorables y creemos que permitirán la construcción de la presa y aun podríamos añadir que es esta ubicación apta para recibir una presa de tipo bóveda, solución que dadas las circunstancias topográficas del caso, encerraría sin duda considerables ventajas económicas que, desde un punto de vista nacional, no pueden desatenderse cuando se trata de obras de gran envergadura*".

Por otra parte, hacía referencia al tiempo transcurrido entre el proyecto inicial y el que se redac-

taba en ese momento (casi diez años) y al avance en la técnica de construcción de aprovechamientos hidroeléctricos. Mencionaba al ingeniero Gómez Navarro y a su libro "Saltos de agua y presas de embalse", de 1953, en el que se decía que "En Europa (salvo en España, quizás), desde hace unos quince años son muy escasas las presas importantes que se construyen de gravedad, ya que la escasez de medios auxiliares y económicos, materiales y por otro lado la conveniencia de reducir los plazos de construcción, hacen que los técnicos se esfuercen continuamente en alcanzar soluciones que sin sacrificar la seguridad, resulten más económicas".

También recordaba las palabras de *Semenza*, ingeniero italiano constructor de presas, que reiteraba la idea de buscar la economía de medios basándose en la técnica.

Luciano Yordi, en un artículo publicado en la Revista de Obras Públicas, en febrero de 1956, titulado "Consideraciones sobre la doble curvatura de la presa del Eume" exponía los motivos por los que adoptaba esta solución, que eran los siguientes:

- a) Los mayores conocimientos en el campo estático, debidos especialmente a los modelos reducidos, con la posibilidad de confrontar los resultados obtenidos en estos modelos con el comportamiento real de la obra puesta en servicio
- b) La técnica más avanzada alcanzada en los procedimientos de impermeabilización y consolidación
- c) Los mayores conocimientos que se tenían de las características del hormigón, que permitían obtener resistencias más altas y uniformes
- d) Mayor experiencia en presas bóvedas, por la gran cantidad de obras ejecutadas (fuera de España).
- e) Mayor técnica y organización de las empresas constructoras, dotadas de maquinaria de obra, en la cual se habían hecho en los últimos años grandes progresos.

En otros países de nuestro entorno (fundamentalmente, Francia, Portugal e Italia), la tecnología para la construcción de presas bóveda estaba mucho más avanzada y Luciano Yordi había estudiado esas obras, tal y como indicaba también en la memoria del proyecto haciendo referencia a las



Vista del embalse y la presa del Eume.

presas de Cabril y Salamonde en Portugal, a Mareges en Francia y a Lumiei, Val Gallina y Osiglietta en Italia.

Si bien Luciano Yordi señalaba que las investigaciones realizadas confirmaban que la contribución de los elementos (ménsulas) verticales favorecen el comportamiento de los arcos horizontales, permitiendo aumentar la tensión que éstos soportan, en el cálculo empleó criterios más conservadores, según las tendencias seguidas en las presas portuguesas. Así, calculó los arcos horizontales sin tener en cuenta el efecto que en ellos provoca la existencia de ménsulas verticales, aunque sí se admitió que los esfuerzos de compresión alcanzasen 40 kg/cm^2 , que resultaba un valor bastante elevado. Las cargas consideradas para el cálculo de los arcos horizontales fueron las hidrostáticas, las acciones térmicas, los de retracción del hormigón y las derivadas de la deformabilidad de la roca.

En cuanto a los elementos verticales, se comprobó la ménsula de la parte más solicitada (la central), utilizando un elemento de anchura unitaria y en equilibrio sometido al peso propio, la carga hidrostática, las reacciones de los arcos horizontales y la reacción de la base. Una vez hecha esta comprobación, la ménsula se dividía en elementos separados por planos horizontales y se establecía el equilibrio de cada uno de ellos. A partir de la dovela superior se iba trazando el polígono de equilibrio y definiendo los esfuerzos resultantes.



La presa de Belesar.

El empleo de esta nueva tipología llevaba consigo no solamente la utilización de métodos de cálculo hasta ese momento no empleados en las presas en España, sino también la necesidad de realizar ensayos en modelos reducidos para dar una mayor información sobre el comportamiento esperable de la estructura. Éstos se efectuaron en el Laboratorio Central de Ensayos de Materiales (en aquellos años, dependiente del Instituto Eduardo Torroja y en la actualidad, del CEDEX) bajo la dirección de Eduardo Torroja y de Carlos Benito. Los modelos empleados se fabricaban con un producto llamado *litargel* (mezcla en caliente de glicerina, gelatina, litargirio y agua, moldeable a 50° C) que permitía zonificar la estructura. La carga hidrostática se modelizaba mediante aceites y las deformaciones se medían con extensómetros eléctricos.

Pero fue necesario efectuar más ensayos, debido a la existencia de una roca fracturada y disgregada en la margen derecha. Se recurrió entonces al LNEC (Laboratorio Nacional de Engenharia Civil), en Lisboa. Allí se realizaron ensayos para comprobar las consecuencias que podría tener en el estado tensional de la presa la existencia de rocas con un elevado grado de fracturación y descomposición. Tras los ensayos, se obtuvo como resultado que la mayor deformabilidad de la zona de apoyo solamente tenía influencia en las zonas más próximas, aumentando la tensión de compresión en éstas. Se realizaron dos modelos a escala 1/200.

En el LNEC se efectuaron gran cantidad de ensayos en modelo reducido de numerosas presas. Sus miembros más destacados fueron *Manuel Rocha* (director del laboratorio) y *Joaquim Laginha Serafim* como director de la sección de estudios de presas. Con ambos desarrolló Luciano Yordi una relación profesional y de amistad que perduraría con los años.

También aparece en esta obra la aportación de *Mariano Fernández Bollo*, uno de los primeros ingenieros de Caminos, Canales y Puertos especialista en la aplicación de métodos geofísicos en el estudio de los terrenos, que colaboró con Luciano Yordi realizando informes para varias de las obras que éste proyectó y ejecutó, entre ellas la presa del Eume, que también fue pionera en la utilización de métodos sísmicos para el reconocimiento del terreno.

Además, en la presa del Eume se instaló uno de los primeros sistemas de auscultación que se utilizó en España

La presa del Eume tiene una altura desde cota de cimentación, de 103 m y una longitud en coronación de 284 m. La superficie del embalse es de 425 hectáreas y el volumen embalsado, de 123 hm³.

La construcción de la presa del Eume supuso para Luciano Yordi el reconocimiento profesional y social, que quedó reflejado en la concesión de la Encomienda de la Orden del Mérito Civil, en el año 1960.

4. La presa de Belesar

Si la presa del Eume supuso el primer paso en el campo de la construcción de presas bóveda en España, con la obra de Belesar Luciano Yordi se convirtió en responsable de uno de los trabajos más emblemáticos de la ingeniería de presas en nuestro país (6).

La inauguración del embalse de Belesar, el 1 de mayo de 1963, supuso un acontecimiento en la época. Ya durante su construcción se había producido la visita de numerosas autoridades a una obra cuya complejidad estaba no solamente en el proyecto, si no también en la ejecución de la misma, que se llevó a cabo en una zona aislada, con una disponibilidad de materiales no siempre adecuada y con todo tipo de dificultades.

Luciano Yordi se hizo cargo de esta obra cuando ya se habían iniciado los trabajos previos, si bien la tipología definida en el proyecto inicial era la de una presa de gravedad. Aceptó ponerse al frente de los trabajos, aunque puso como condición el cambiar el diseño previsto.

Diseñó entonces una presa bóveda, similar a la del Eume. Sin embargo, la magnitud de la obra era mucho mayor. Solamente por establecer una pequeña comparación, diremos que el volumen medio embalsado quintuplica al del Eume, al igual que el caudal evacuado por los aliviaderos y que la superficie del embalse es, de manera aproximada, cuatro veces superior.

Pero, al igual que sucedió en el proyecto de la presa del Eume, en el proyecto de la presa de Belesar hace una explicación detallada de los motivos que le llevan a cambiar la tipología de la presa inicialmente prevista (gravedad) por una presa bóveda, basados, fundamentalmente en la forma de la cerrada, que hacían muy difícil cumplir las condiciones bajo las cuales es válido el cálculo de la presa como elemento que funciona por gravedad. Vuelve a poner como ejemplos para el diseño de las presas obras realizadas en otros países, en este caso las de Noiry, en Suiza, Chicamba y Odeaxere, en Portugal y la de Reno di Lei, en Italia.

Su definición geométrica fue más compleja que la del Eume. La sección horizontal estaba formada por arcos de tres centros, manteniendo la simetría de la bóveda con respecto al plano vertical. Justificaba esta decisión porque la experiencia de cálculo y los modelos habían demostrado que se conseguía una mejor distribución de tensiones con esta geometría, además de mejorar la incidencia de la presa con las laderas. La obra se completaba con dos estribos, dos aliviaderos en "salto de esquí" que se apoyaban en éstos y dos presas con perfil de gravedad que alcanzaban las paredes laterales de la cerrada.

El método de cálculo empleado fue el del *Bureau of Reclamation* (Trial Load Method of Analysing Arch Dams). Éste consistía en suponer la presa dividida en elementos verticales y horizontales (ménsulas y arcos) que trabajan de manera conjunta. Un punto cualquiera del paramento situado aguas arriba pertenece al mismo tiempo a la ménsula y al arco que pasan por él. Este mismo punto recibe el empuje hidrostático a través de dos sumandos, ca-



La presa de Belesar durante su construcción.

da uno de los cuales corresponde a uno de los elementos.

Se partía entonces de un reparto de presiones (genérico) y se calculaban los desplazamientos de los puntos comunes a las ménsulas y arcos en los que se había dividido la estructura. Evidentemente, en una primera aproximación estos desplazamientos eran diferentes y debían de ajustarse las leyes de presiones para que se fuesen aproximando hasta alcanzar valores similares.

Una vez conseguido que los desplazamientos fuesen similares para cada punto, como perteneciente a elementos diferentes, se calculaban las tensiones correspondientes y se comprobaban si éstas eran admisibles. Si no fuese así, era necesario efectuar correcciones en la geometría y volver a iniciar el cálculo, con las dificultades que esto suponía teniendo en cuenta los medios disponibles en aquellos años.

En el caso de Belesar, se consideraron cinco arcos, cinco ménsulas y dos estribos, admitiendo en los puntos de cruce entre arcos y ménsulas un ajuste radial.

Siguiendo el camino iniciado ya en la presa del Eume se estudiaron con profundidad las características del macizo rocoso, utilizando un estudio sísmoeléctrico, sondeos de reconocimiento y puesta en

carga de la roca de cimentación, siguiendo los criterios que permitían la clasificación según el método CBR.

También se efectuaron ensayos en modelo reducido en el Laboratorio de Engenharia Civil de Lisboa (LNEC). Se efectuaron cuatro ensayos de la presa, a escala 1/275 y uno de la ataguía, a escala 1/75. En ambos casos, los materiales empleados en el modelo eran yeso y diatomea y la carga hidrostática se modelizaba mediante mercurio.

En cuanto a las cargas consideradas, fueron el peso propio, la presión hidrostática, la subpresión, las acciones sísmicas y las provocadas por los desplazamientos de los estribos.

Se aceptaba que el peso propio actuaba únicamente sobre las ménsulas pues, según justificaba Luciano Yordi en la memoria del proyecto, los desplazamientos por él causados eran anteriores a las inyecciones que se realizaban y, por tanto, previos al funcionamiento de la estructura como bóveda.

La presión hidrostática se dividía en dos componentes. Una horizontal, repartida por ajuste entre arcos y ménsulas, y otra vertical, que únicamente actúa sobre las ménsulas.

Resultaba un proceso muy complejo, que nos da idea de lo que supuso el cálculo de esta estructura y nos recuerda las palabras de Luciano Yordi publicadas en "La Voz de Galicia" el 1 de marzo de 1956:

Llevo un año haciendo cálculos de resistencias, cubicaciones y demás para la construcción de una presa y resulta que lo que llamamos en ingeniería "el perfil definitivo" me trae sin sueño (...) una ligera alteración en el cálculo, un error por imperceptible que sea, daría al traste con mi trabajo de un año.

5. Las presas de Velle, Castrelo y Frieira

Estas presas se construyeron en el tramo del río Miño comprendido entre la unión del río Sil y la frontera portuguesa. La longitud de este tramo es de 65 km y su desnivel, de 65 m. Aguas arriba se encuentran los embalses de Belesar y Os Peares.

Los proyectos de estas tres presas fueron redactados por Luciano Yordi y Ángel Mario Carreño Rodríguez-Maribona, siendo éstos los últimos trabajos

relativos a las presas en los que intervino Luciano Yordi.

Se optó por construir tres presas móviles, tipología basada en la construcción de elementos de poca altura, con elementos móviles (en este caso, compuertas Taintor), que permiten que, con pequeños incrementos de la cota de agua, pueda pasar la totalidad del caudal de avenida.

Estas presas se suelen construir en ríos con mucho caudal (en el caso del río Miño, 250 m³/s), y en zonas con un interés agrícola alto. En este caso, los trabajos se desarrollaban no solamente con ese condicionante, en terrenos dedicados fundamentalmente al cultivo del viñedo, si no que existían otros dos muy importantes, como la presencia de la línea de ferrocarril entre Ourense a Vigo, que discurría de manera paralela al río, y la proximidad de las ciudades de Ourense y Ribadavia.

Según la clasificación aparecida en el libro "Ingeniería de Presas. Presas de fábrica" (¿Referencia?), las presas de Velle, Castrelo y Frieira ocupan los primeros lugares entre las presas móviles construidas entre 1941 y 2000. Así, teniendo en cuenta el caudal correspondiente a la máxima capacidad del aliviadero, la presa de Frieira ocupa el primer lugar, junto con la de Montijo, con 10.000 m³/s, la de Castrelo, el segundo (8.650 m³/s) y la de Velle, el tercero (8.000 m³/s). Si el parámetro de comparación es el del caudal específico, definido como la capacidad del aliviadero / longitud neta de aliviadero, Velle, Castrelo y Frieira ocupan los puestos séptimo, segundo y tercero, respectivamente.

Las tres presas construidas eran de gravedad y planta curva. La de Velle, con una superficie de cuenca de 12.380 km², está situada aguas arriba de Ourense. Tiene una altura máxima sobre el lecho del río es de 26 m y una longitud de coronación de 195 m. El volumen de agua embalsada es de 17 Hm³ y el desagüe se produce a través de cinco vanos, cerrados por compuertas Taintor, de dimensiones 25x10 m. La cota máxima del embalse (108,40 m) estaba condicionada por el trazado del ferrocarril y los desagües de la presa de Os Peares y de la de San Pedro, en el Sil.

En cuanto a la presa de Castrelo, su cota máxima de embalse (84,061 m), estaba fijada por el desagüe de los colectores de Ourense y por la línea de ferrocarril. Su altura máxima sobre el lecho del río es de 30 m y su longitud de coronación, 172,50 m. Em-

balsa un volumen de 14 Hm³, ocupando una superficie de 13.032 km². El aliviadero, con una capacidad de desagüe de 8.650 m³/s, dispone, al igual que en la presa de Velle, de cinco vanos cerrados por compuertas Taintor, siendo en este caso las dimensiones de dichos vanos de 17,50x13,40 m.

Por último la última de las tres presas, *Frieira*, es la de mayores dimensiones de las tres. En este caso, su cota máxima de embalse (67,00 m) estaba condicionada, al igual que en las de Velle y Castrelo, por el trazado de la línea del ferrocarril, si no también por la proximidad a la población de Ribadavia, que no podía ser inundada.

La presa de *Frieira* tiene una altura máxima sobre el lecho del río de 33 m y embalsa 44 Hm³ en una superficie de 15.178 km². Su longitud de coronación es de 194 m, disponiendo de siete vanos cerrados por compuertas Taintor de 15,50x14,50 m. Su capacidad de desagüe alcanza 10.000 m³/s.

En las tres presas se construyeron galerías de visita, desde las que se ejecutaron pantallas de inyección y drenaje. El volumen de hormigón empleado fue de 55.000 m³ en la presa de Velle, 109.000 m³ en la de Castrelo y 135.000 m³ en la *Frieira*. Con estos tres saltos quedaba completo el aprovechamiento integral del río Miño y, en cierto modo, finalizado un trabajo en el que tanto había tenido que ver Luciano Yordi con la construcción de la presa de Belesar. ♦

Artículos de Luciano Yordi en la Revista de Obras Públicas

- "Presa del Tambre" 1951, 99, tomo I (2.838): 481-490
- "Presa del Tambre" 1951, 99, tomo I (2.839): 524-532
- "Posibilidades industriales de Galicia" 1954, 102, tomo I (2.866): 58-74
- "Consideraciones sobre la doble curvatura de la presa del Eume" 1956, 104, tomo I (2.889): 16-20
- "Valoración de la características elásticas de los macizos rocosos. Cimentación de la presa-cúpula del Eume" 1956, 104, tomo I (2.893): 237-244
- "Ataguía de Belesar sobre el Río Miño" 1959, 107, tomo I (2.929): 284-293
- "Evolución de los perfiles de las presas en arco y ajuste de la bóveda a la cerrada" 1961, 109, tomo I (2.954): 371-382
- "La presa de bóvedas múltiples de Meicende" 1962, 110, tomo I (2.967): 445-454
- "Presa de Belesar. Bóveda de doble curvatura de hormigón en masa" 1964, 112, tomo I (2.988): 291-311
- "Presa de velle, Castrelo y Frieira" 1967, 115, tomo I (3.928): 889-906
- "Presa y central de Frieira" 1972, 119, tomo I (3.081): 13-22
- "La presa y el aprovechamiento hidroeléctrico del río Salas" 1972, 119, tomo I (3.087): 549-558
- "Filosofía de emplazamiento de las presas de embalse" 1973, 120, tomo I (3.098): 581-592

Referencias:

- (1) COLEGIO DE INGENIEROS DE CAMINOS DE GALICIA. *Luciano Yordi 1917-1978* (Catálogo de la Exposición), 2010. 153 p. ISBN 978-84-380-0430-2.
- (2) NÁRDIZ ORTIZ, Carlos; VALEIRO SOLSONA, Carlos. *El abastecimiento de agua a la ciudad de A Coruña*. A Coruña: EMALCSA; Universidad de A Coruña, 2001. 238 p. ISBN 84-9749-000-2.
- (3) TORRES LUNA, María del Pilar de; PAZO LA-

- BRADOR, Alberto José; SANTOS SOLLA, José Manuel. *Los embalses de Fenosa y la geografía de Galicia en el centenario de D. Pedro Barrié de la Maza (1988-1998)*. A Coruña: Fundación Pedro Barrié de la Maza, 1988. 181 p. ISBN 84-85728-77-7.
- (4) DÍEZ-CASCÓN SAGRADO, Joaquín; BUENO HERNÁNDEZ, Francisco. *Las presas y embalses en España. Historia de una necesidad*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. Centro de Publica-

- ciones, 2003. 445 p. ISBN 84-8320-260-3.
- (5) AGUILÓ ALONSO, Miguel. *La enjundia de las presas españolas II*. Madrid: ACS, Actividades de Construcción y Servicios, 2002. 323 p. ISBN 84-932966-2-6.
- (6) VV.AA. *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008. (Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, nº 81). 426 p. ISBN 973-84-380-0382-4.