



02

Un plan para defender la Ribera

Antecedentes y estudios previos para un ambicioso proyecto

La Ribera, esa llanura amplia y fértil que el Júcar contribuyó a crear con su aporte de sedimentos, es considerada como una tierra privilegiada gracias, precisamente, a la presencia benefactora del río y a la lucha y el esfuerzo de los ribereños. Pero también ha vivido con la amenaza de sus cíclicas avenidas propiciadas por la orografía y el clima de la región.

La crecida que el Júcar protagonizó en el otoño de 1864 marcó un punto de inflexión. A partir de esa fecha se incrementaron estudios, estrategias, propuestas y planificaciones encaminadas a proteger de este fenómeno a toda la comarca, sus gentes y sus bienes.

La actual presa de Tous es el resultado de un esfuerzo largo y sostenido. Su particular proyecto es una respuesta en la que se resumen la experiencia acumulada durante años y un conjunto de ideas innovadoras, profundos estudios sobre un entorno lleno de dificultades para la construcción y la propuesta de planteamientos no convencionales para sortearlos y lograr un único fin: la defensa de la Ribera.

02

Un plan para defender la Ribera

Antecedentes y estudios previos para un ambicioso proyecto

“...las fuertes lluvias acaecidas el día 4 de noviembre de 1864 en la provincia de Valencia y en particular en el juzgado de Ayora, aumentaron el caudal de aguas del Júcar de una manera tan extraordinaria que produjeron la mayor avenida que registran las crónicas y archivos del país entero [...] El agua caía con tanta violencia, según lo referido en un caserío situado en el término de Ayora, ya confinado con el de Enguera, que varios carros y aperos de labranza de mucho peso que existían junto a la huerta de la casa, fueron arrastrados violentamente al fondo del barranco, a pesar de ser insignificantes las vertientes que abarcan a dicha casa y no estar edificadas en ningún pliegue o talweg del terreno donde pudieran recogerse las aguas; todos los campos puestos en cultivo quedaron despojados de la capa vegetal y productora que los cubría, dejando en unas partes la roca desnuda y en otras llenas de guijarros y grandes peñones arrastrados de las cimas y laderas de los cerros”. Así relataron los ingenieros de caminos José Gómez Ortega, Francisco Lizarraga y Evaristo de Churruca las inundaciones que el Júcar protagonizó en 1864 en un extenso informe encargado por el Ministerio de Fomento de su época y que hoy se puede consultar en una edición que publicó la Confederación Hidrográfica del Júcar en 1988.

Aquella de 1864 fue una avenida grave, pero no constituyó, sin embargo, un fenómeno desconocido. A lo largo del tiempo, han sido muchas las ocasiones en las que el río Júcar ha mostrado su poder destructor; tanto que, ya desde la época de la dominación árabe, parece que su nombre era asociado a su poder, pudiendo traducirse *Xuquer* como “devastador”. Una realidad constatable desde siglos atrás, en referencia a las afecciones sobre tierras, medios

materiales, animales y personas, producidas por sus inundaciones.

De las riadas históricas sucedidas se conservan documentos en los archivos de las poblaciones ribereñas. Una de las más famosas es la citada de 1864, y en el estudio de la misma se data como riada “más antigua de la que se conserva memoria en los archivos”, la que se produjo el 27 de septiembre de 1517, en la que desapareció el pueblo de Alcocer.

Otras riadas posteriores constatadas son las de los años 1753, 1766 (el 26 de septiembre) y la de 1779 (el 4 de octubre), calificada como “una de las más terribles avenidas y que dejó más funesta memoria en los habitantes de la Ribera del Júcar”; hubo más en 1785 (el 15 de septiembre), en 1791 (el 30 de septiembre), en 1801 (el 17 de noviembre) y en 1802 (en marzo). La de 1805 (el 17 de noviembre) fue definida como “la mayor que han visto aquellos naturales, antes de ocurrir la última de efectos tan lamentables” y causó daños en pueblos como Cofrentes, Millares, Cortes, etc y en Alzira “arruinó sesenta y una casas y se apuntalaron más de doscientas, llegando el agua en sus calles desde 10 a 14 palmos” (2,10 a 2,94 m). Posteriormente a esta última se constata una serie de riadas menores hasta llegar a la inundación de 1864.

Todas estas referencias sobre inundaciones y otras posteriores plantearon la necesidad de establecer un plan que permitiera proteger las poblaciones y, al mismo tiempo, aprovechar los recursos hidráulicos de la cuenca del Júcar tanto para el regadío como para la producción de energía eléctrica. Su inicio, como *Plan de Estudios*, se amparó en la ley de 9 de septiembre de 1932 sobre construcción del



embalse de Alarcón y otras obras complementarias para la regulación del río Júcar y que englobaba así mismo el estudio de la Presa de Tous. Como consecuencia de este plan integral y los estudios posteriores, se decidió la construcción de diversas presas tanto en el río Júcar como en sus afluentes. Así se fueron alzando en sucesivos momentos los embalses de Alarcón (terminado de construir en 1955) y el

de Contreras (de 1975) en su tributario el Cabriel; aguas abajo estarían en el Júcar, por este orden, Molinar (de 1951), Embarcaderos (de 1920), Cortes II (de 1988), Millares (la presa antigua es de 1928 y la nueva de 1988) y Naranjero (1989). El último de todos, en la zona más baja posible del curso del río, se dispuso el de Tous.

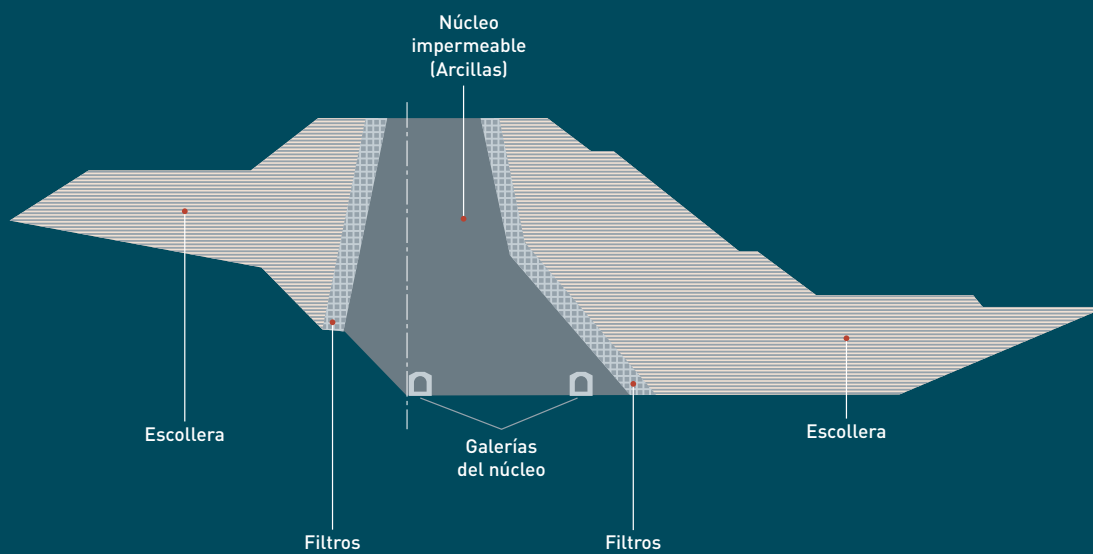
Embalse de Tous, se ve el campanario de la iglesia de la antigua población de Tous

ANTIGUA PRESA DE TOUS

CUERPO DE PRESA / PLANTA GENERAL

- 1 Toma Canal Júcar-Túria
- 2 Desagüe de fondo
- 3 Canal de llegada
- 4 Aliviadero
- 5 Canal de salida

SECCIÓN TIPO DE PRESA DEFINICIÓN GEOMÉTRICA



↓
río Escalona

río Júcar

1

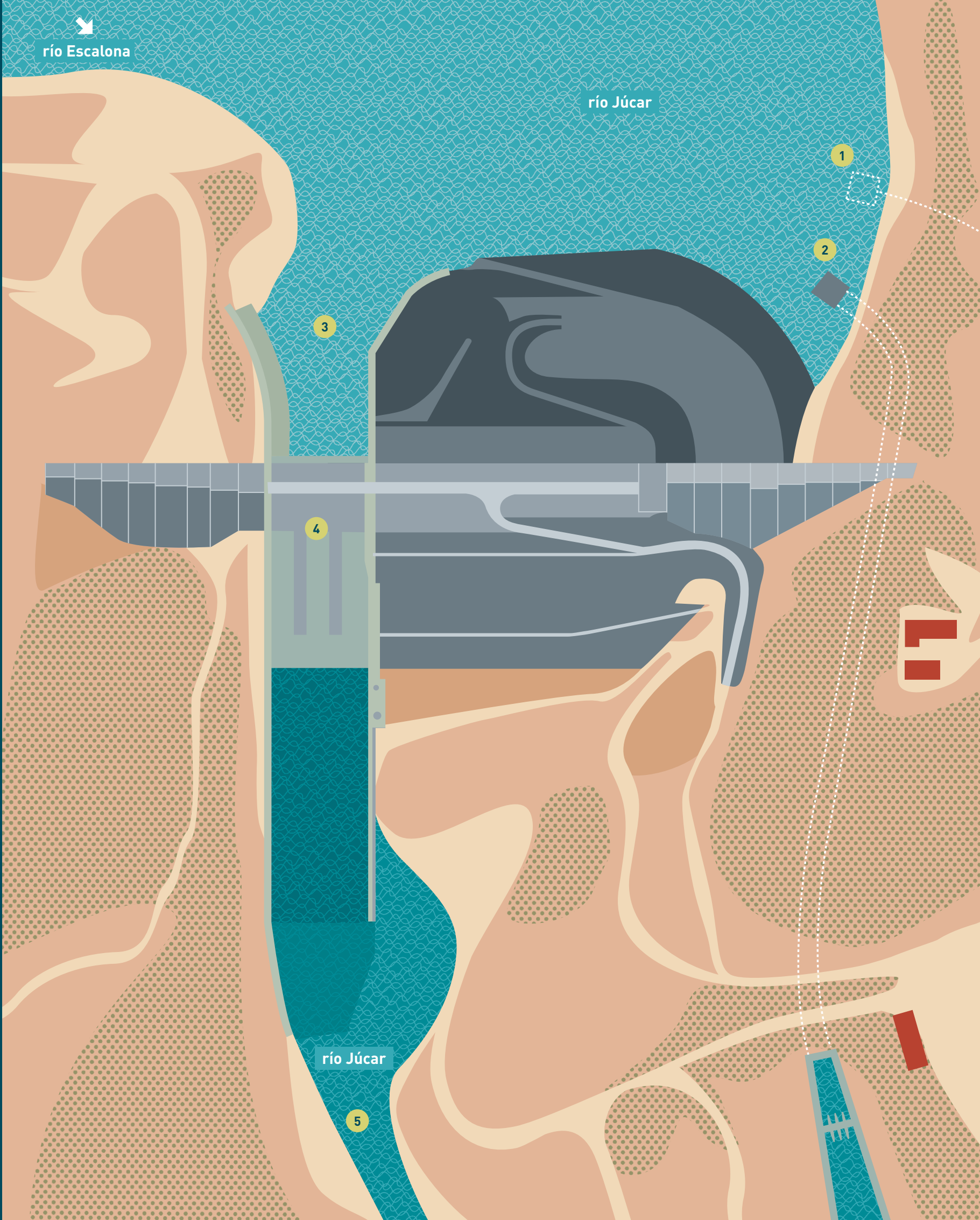
2

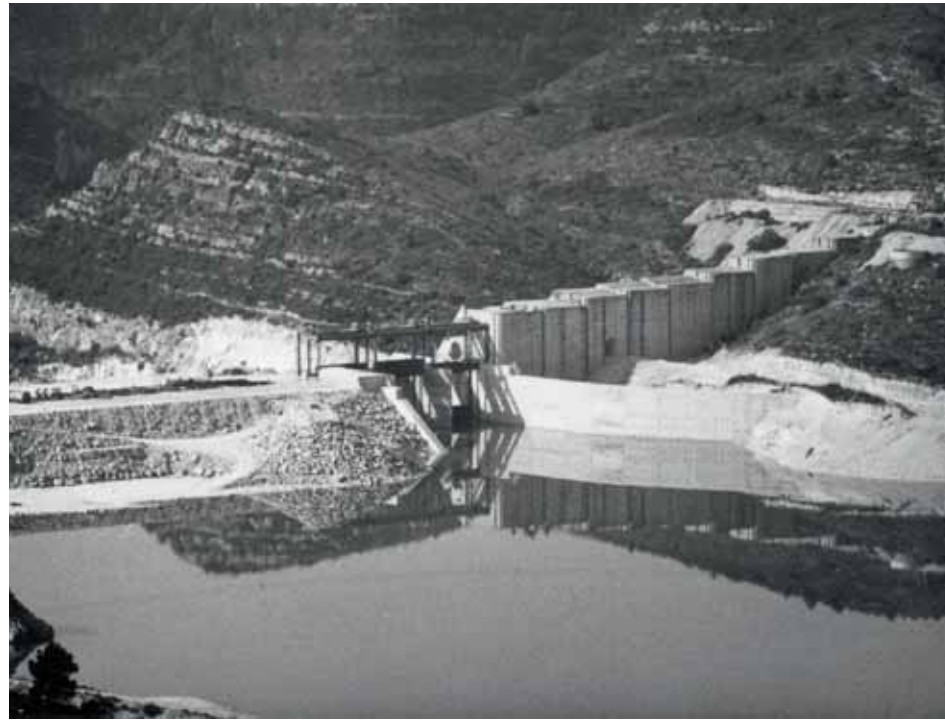
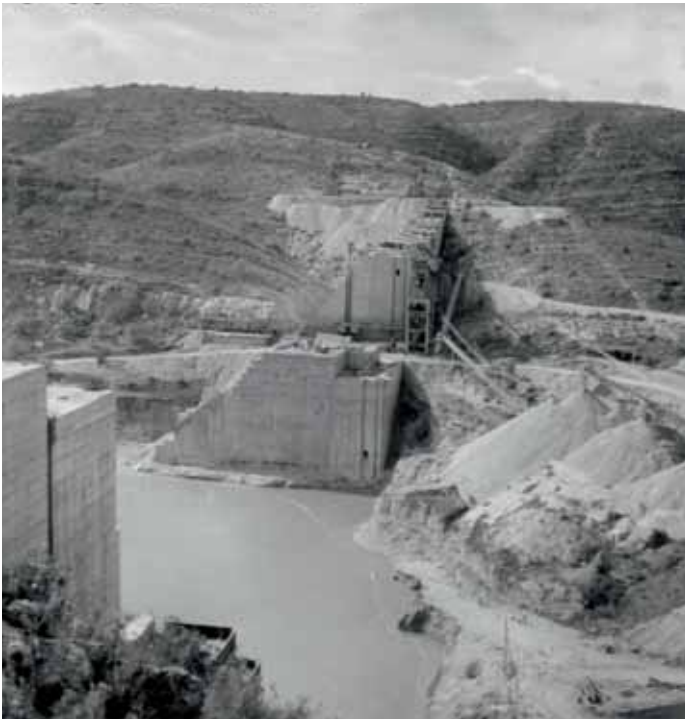
3

4

río Júcar

5





Construcción de la antigua presa de Tous

Una primera presa en Tous

Esta presa fue concebida para la laminación de avenidas además de la regulación de las aportaciones del río Júcar. Los primeros trabajos para construirla se iniciaron en octubre de 1958, con una solución de presa de hormigón de alrededor de 80 m de altura sobre el cauce. Durante la construcción, las condiciones geotécnicas del terreno de cimentación, situado entre las dos fallas que delimitan el cauce, obligaron a paralizar las obras en diciembre de 1964. Solo se reanudarían cuando, diez años después, el 18 de abril de 1974, se aprobó el *Proyecto Reformado del Replanteo del embalse de Tous en el río Júcar (Valencia). Solución presa de escollera. Primera fase hasta cota 84 de embalse*. En este nuevo proyecto se incorporaron varios e importantes cambios: por un lado la parte central de la presa, inicialmente de hormigón, fue sustituida por un dique de materiales sueltos con núcleo de arcilla y espaldones de escollera; además se desplazó el aliviadero a la margen derecha, sobre los primeros cinco bloques construidos con altura reducida; por último se decidió construir la presa en dos fases. Para la primera fase se fijó la coronación a la cota 98,50 y el máximo nivel normal del embalse en la cota 84,00. Su nivel de coronación definitivo, a alcanzar en una segunda fase, fue fijado a la cota 142 mientras que su máximo nivel

normal lo fue a la cota 133. La primera fase debía permitir, por una parte, la consolidación de los terrenos de cimentación de la presa en su parte central, y por otra, la observación del comportamiento de la presa para alturas menores que la definitiva y, por tanto, bajo riesgos menores.

La construcción de las obras de la primera fase estuvo prácticamente finalizada en marzo de 1978, mes en el que se inició su puesta en carga, alcanzándose el máximo nivel normal de embalse en noviembre de 1979. Durante el tiempo en el que la presa de Tous estuvo en servicio, su comportamiento fue correcto y algunos problemas surgidos en este tiempo, de filtraciones en su mayoría, fueron corregidos satisfactoriamente.

Hasta octubre de 1982. En aquella fecha, la aparición de la llamada gota fría, un fenómeno meteorológico capaz de provocar precipitaciones de una intensidad y duración excepcionales, produjo una avenida extraordinaria, cuyo hidrograma podría asimilarse a la calculada para un período de retorno de 500 años. La avenida sobrepasó la coronación de la presa y, con ello, produjo la erosión y destrucción de gran parte de la zona central, de materiales sueltos.

Una mirada de conjunto frente al Júcar

Las actuaciones necesarias para solventar, de manera global y progresiva, avenidas catastróficas como la acaecida en octubre de 1982, así como los problemas de inundación en las cuencas media y baja del Júcar, fueron recogidas en el *Plan General de Defensa contra avenidas del Júcar*, de junio de 1985. En dicho plan se contemplan distintas actuaciones para la laminación de avenidas, una de las cuales consiste en disminuir los caudales punta circulantes. Para ello se han construido tres presas:

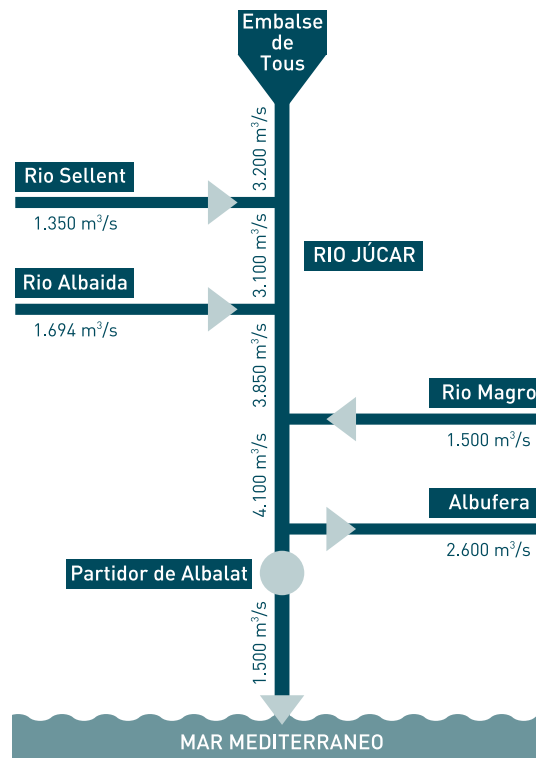
La primera, denominada Escalona, se sitúa sobre el río del mismo nombre, afluente del Júcar por la margen derecha, aguas arriba de Tous. Tiene una capacidad de embalse de unos 100 Hm³. La segunda, denominada Bellús, está sobre el río Albaida, afluente del Júcar por su margen derecha, aguas abajo de Tous y cuenta con una capacidad de embalse de 70 Hm³. Y por último, la considerada como pieza básica en el citado *Plan de Defensa*, la presa de Tous, en el emplazamiento de la presa anterior y con una capacidad a su máximo nivel normal de 378 Hm³. Las tres presas, muy próximas, tienen todas como objetivo principal el de laminar avenidas limitando los caudales circulantes.

Esquema de caudales punta correspondientes a la avenida de 500 años en el Júcar, laminada por las presas de Tous, Bellús y Escalona

En la hipótesis de avenidas con periodo de retorno de 500 años, los caudales estimados, tanto en el Júcar como en sus afluentes, fueron indicados en el *Plan de Defensa*. (figura 1.3.) Para el cumplimiento de estos objetivos, y además de las tres presas citadas, el plan incluyó también la realización de un partidior en Albalat capaz de derivar 2.600 m³/s a la Albufera, limitando el caudal de paso por Cullera a 1.500 m³/s.

El mismo plan se completaba con la prescripción de construir o recrecer una línea de motas, separada del cauce de aguas bajas, que diera protección efectiva a las poblaciones. La zona comprendida entre motas estaría sujeta a inundación, pero solo en el caso de avenidas extraordinarias. Con el conjunto de obras contempladas en el *Plan de Defensa*, la zona inundable, aguas abajo de Tous, se reduciría enormemente (Fig. 1.4) en el caso de producirse una avenida de similares características a la del año 82.

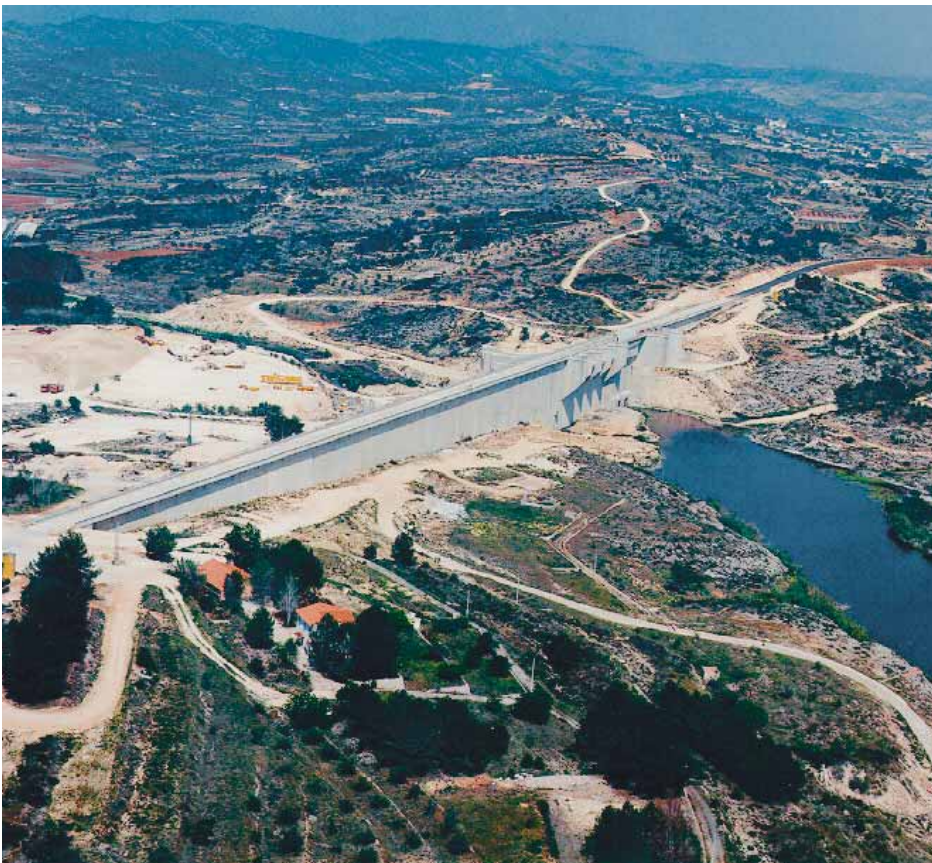
El cauce actual del río Júcar tiene una capacidad máxima del orden de 500 m³/s, considerado como límite para el "cauce de aguas bajas". Caudales superiores podrían provocar inundaciones, pero casi exclusivamente en zonas agrícolas.





Presa de Escalona

Panóramica y detalle de la Presa de Bellús



En base a estas premisas, la misión principal asignada a la Presa de Tous dentro del *Plan de Defensa* fue la de limitar el caudal punta circulante por el Júcar, a dicha altura, a $2.500 \text{ m}^3/\text{s}$ (para un periodo de retorno de 500 años) y conseguir que, sumados a los afluentes aguas abajo, no se superen los $500 \text{ m}^3/\text{s}$ para avenidas menores.

Además de lograr su objetivo primordial de laminar avenidas, la presa de Tous tiene otras importantes funciones:

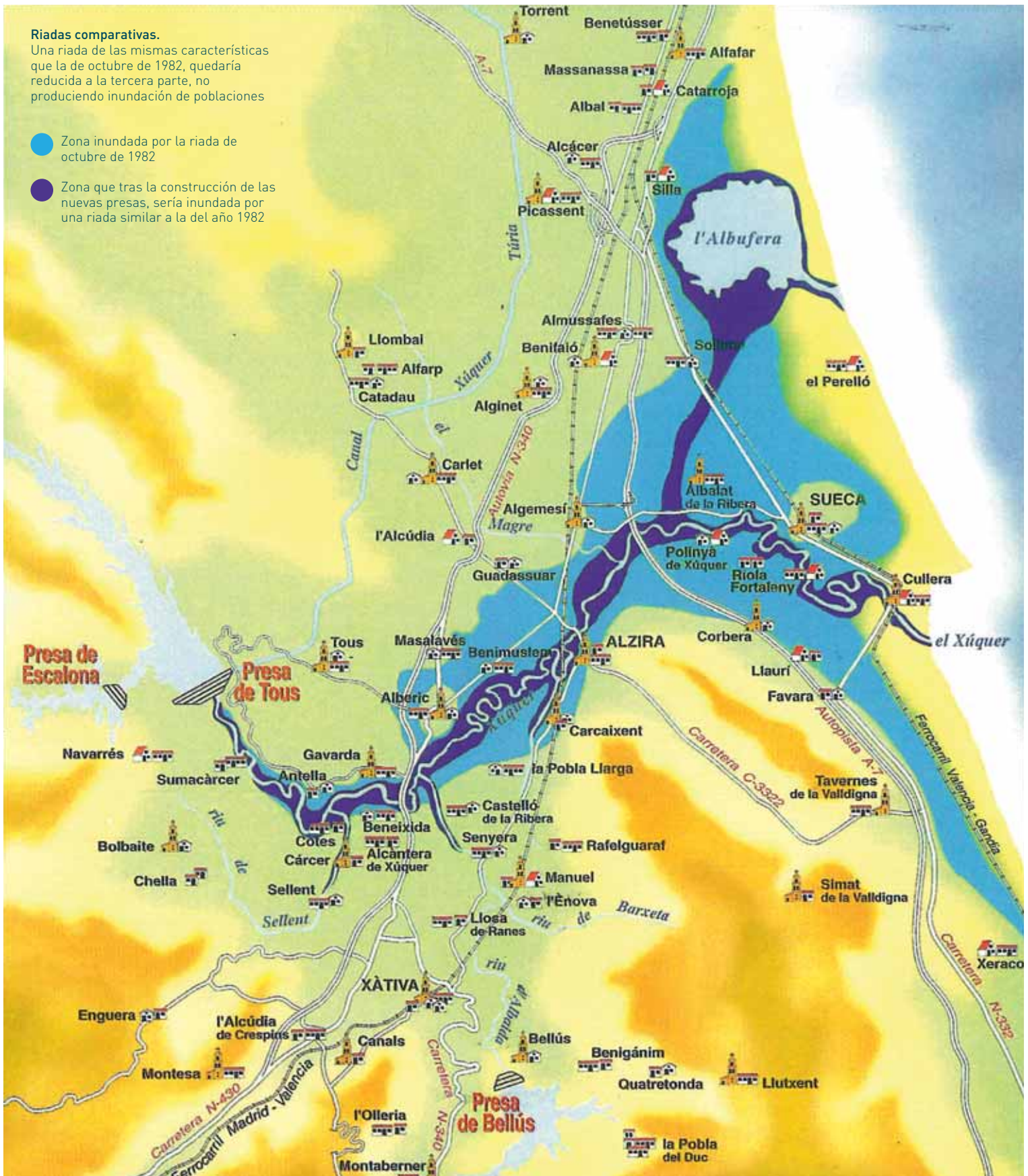
- Garantizar el suministro de agua de calidad al millón y medio de habitantes de Valencia, su área metropolitana y Sagunto.
- Hacer posible los riegos de la comarca de la Ribera y del Canal Júcar-Turia.
- Regular los caudales.
- Permitir la producción de energía eléctrica mediante dos centrales hidroeléctricas (aún sin construir) ubicadas a pie de presa.



Riadas comparativas.

Una riada de las mismas características que la de octubre de 1982, quedaría reducida a la tercera parte, no produciendo inundación de poblaciones

- Zona inundada por la riada de octubre de 1982
- Zona que tras la construcción de las nuevas presas, sería inundada por una riada similar a la del año 1982



Valores de precipitación en las proximidades de Tous			
PERÍODO T (años)	DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN		
	6 Horas (mm)	12 Horas (mm)	24 Horas (mm)
25	105	140	190
100	155	210	290
500	225	305	445

Rango de valores de precipitación máxima en 24 horas para distintos períodos de retorno	
PERÍODO T (años)	RANGO DE PRECIPITACIÓN (mm)
25	45 - 185
50	50 - 215
100	60 - 265
500	70 - 410
1.000	75 - 490
PMP	210 - 1.060

Distribución de precipitación y aportación por cuencas (lluvias año 82)		
CUENCA	LLUVIA (mm)	APORTACIÓN (Hm ³)
Ledaña	160	155
Reconque	365	180
Cabriel	225	305
Júcar	385	155
Escalona	470	240
Sellent	430	105

Características de las principales avenidas			
AVENIDA	DURACIÓN (H)	CAUDAL PUNTA (m ³ /s)	VOLUMEN DEL HIDROGRAMA (Hm ³)
T = 25 años	72	2.500	-
T = 50 años	72	3.000	250
T = 100 años	72	4.200	350
T = 500 años (Q máx.)	50	9.281	460
T = 500 años (V máx.)	76	6.051	688
T = 1.000 años (Q máx.)	50	12.715	635
T = 1.000 años (V máx.)	76	7.557	874
PMA* (Q máx.)	50	25.979	1.321
PMA* (V máx.)	76	14.614	1.776

Estudios sobre la hidrología

La hidrología, especialmente en todo lo relativo a estudios de avenidas, fue objeto de un minucioso análisis, teniendo en cuenta su decisiva importancia en el correcto dimensionamiento del embalse y en la seguridad de la presa.

La cuenca del Júcar que afecta al embalse de Tous es la denominada alta-media y se encuentra marcada por otras importantes obras de control en cabecera: el embalse de Alarcón, con una capacidad de 1.112 Hm³, situado en la parte alta del Júcar, y el de Contreras, con una capacidad de 852 Hm³, ubicado en el río Cabriel.

Entre el embalse de Alarcón (de carácter hiperanual, es decir, que tiene un tiempo de vaciado superior a un año) y el de Embarcaderos, el río Júcar tiene una pendiente del 0,40%, con diversas cuencas afluentes de corta longitud pero de pendiente importante, que producen caudales punta notables debido al corto tiempo de concentración. La más importante de todas es la cuenca del Cabriel (de 1.731 km²) que tiene una longitud de 266 km y una pendiente del 0,51%.

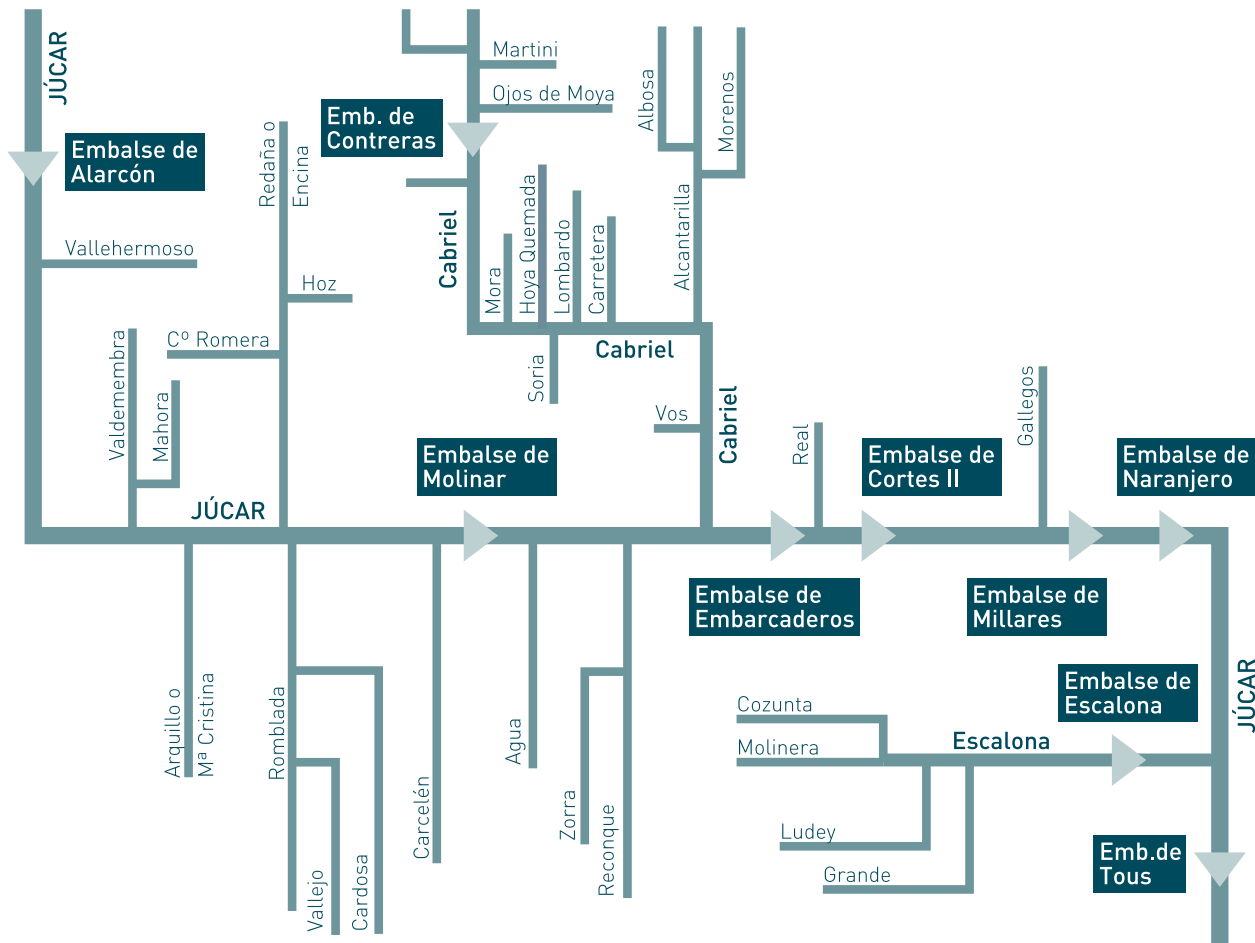
Aguas abajo, entre Embarcaderos y las proximidades de Tous, el río Júcar se encaja profundamente, alcanzando una pendiente del 0,55%. E inmediatamente antes del emplazamiento de la presa de Tous, desagua el río Escalona con una cuenca de 500 km² que, por su morfología y pluviometría, constituye un potente sistema generador de avenidas, habiéndose construido para su control la presa del mismo nombre.

A ese panorama hay que añadir otro aspecto esencial: la localización de la cuenca baja del Júcar junto al Mediterráneo constituye una ubicación idónea para ser afectada por el sector de Alborán, cuyo flujo nororiental (el más activo normalmente) produce un notable riesgo de lluvias de carácter torrencial.

Adicionalmente hay que tomar en consideración la orografía de las proximidades, que amplifica los efectos de estas situaciones, puesto que en esta zona se produce la unión de las alineaciones del Sistema Ibérico (NW-SE) y las Béticas (SW-NE). En esta encrucijada se forma un embudo concentrador de los vientos procedentes del E y NE, que contribuye a agravar los fenómenos citados.

Con respecto a **la pluviometría**, se analizaron las series históricas existentes en las proximidades de Tous. Se comprobó que las isolíneas de lluvia máxima diaria presentan una zona de máximos valores que comprende la Muela de Cortes de Pallás, la Muela de Jalance y el macizo de Caroig,

División en subcuencas



Estación de aforos

afectando a la margen derecha del río Reconque y a la cuenca alta del Escalona. También se estudiaron las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes períodos de retorno.

Se realizó asimismo un nuevo **estudio de avenidas**, recogido en las *Normas de Explotación de la presa*, con las características se muestran en el cuadro adjunto.

Para realizar el estudio de **aportaciones** se partió de las series históricas mensuales en estaciones de aforo y de los datos de explotación de los embalses existentes. Estas series se restituyeron al régimen natural teniendo en cuenta los embalses, las derivaciones por canales y los usos consuntivos.

Con las series brutas se realizó un análisis estadístico de las mismas, con objeto de homogeneizarlas y completarlas.



Estudios sobre la geología

La forma y la tipología de la presa de Tous, igual que la morfología y el diseño de su cimentación vienen determinadas directamente por el tipo de materiales geológicos que conforman la cerrada y por su disposición estructural. Especial importancia tiene la presencia de diversas fallas: dos se encuentran delimitando ambas orillas del río —en la margen izquierda la llamada falla de Tous y en la derecha la de Sumacàrcer— y dentro de su cauce, situadas de izquierda a derecha, las



Macizo rocoso en el vaso del embalse. Vista de la Torre Vigía

denominadas del Collado, del Túnel de desvío y de los Charcos.

En líneas generales y en una primera aproximación hemos de indicar que la cerrada de la presa de Tous se sitúa en la parte oriental de la Rama Sur de la Cordillera Ibérica. Los materiales que afloran aquí son, en su mayor parte, sedimentos mesozoicos con ocasionales depósitos terciarios (originados por la tectónica del lugar), a lo que se deben sumar algunos afloramientos triásicos.

Entrando de lleno en la **litología** del lugar y revisando los materiales de izquierda a derecha encontramos:

En la ladera izquierda, al Este de la falla de Tous, aparecen terrenos correspondientes al nivel IV, una serie dolomítica inferior con baja permeabilidad que se presenta en bancos subhorizontales con pequeños buzamientos hacia el río. Inmediatamente después aparece la falla de Tous, que está caracterizada por un relleno brechoidal con bastante cemento calcáreo que en ocasiones pasa a ser arcilloso. La falla de Tous tiene un salto fundamentalmente vertical de más de 200 m. El espesor de la brecha de falla es relativamente reducido (inferior a 5 m) con una zona de influencia de escasa potencia.

La siguiente falla, la del Collado, presenta una morfología similar a la anterior pero con un salto menor. De hecho, se considera asociada a la propia falla de Tous. Aunque el material es similar, su espesor aquí no supera los 2 m.

En el tramo siguiente, hasta la falla del Túnel de desvío, el terreno está formado, sucesivamente, por calizas brechoides, calizas claras y calizas margosas con algún banco de margas. Más allá, encontramos la secuencia dolomítica de permeabilidad alta. Esta falla del túnel de desvío tiene un buzamiento de unos 70-75° hacia el W, con un espesor del orden de 5-7 m.

Entre la falla del Túnel de desvío y la de los Charcos, un nuevo cambio: ahora aparecen arcillas rojas, conglomerados y areniscas en discordancia sobre calizas claras y dolomías.

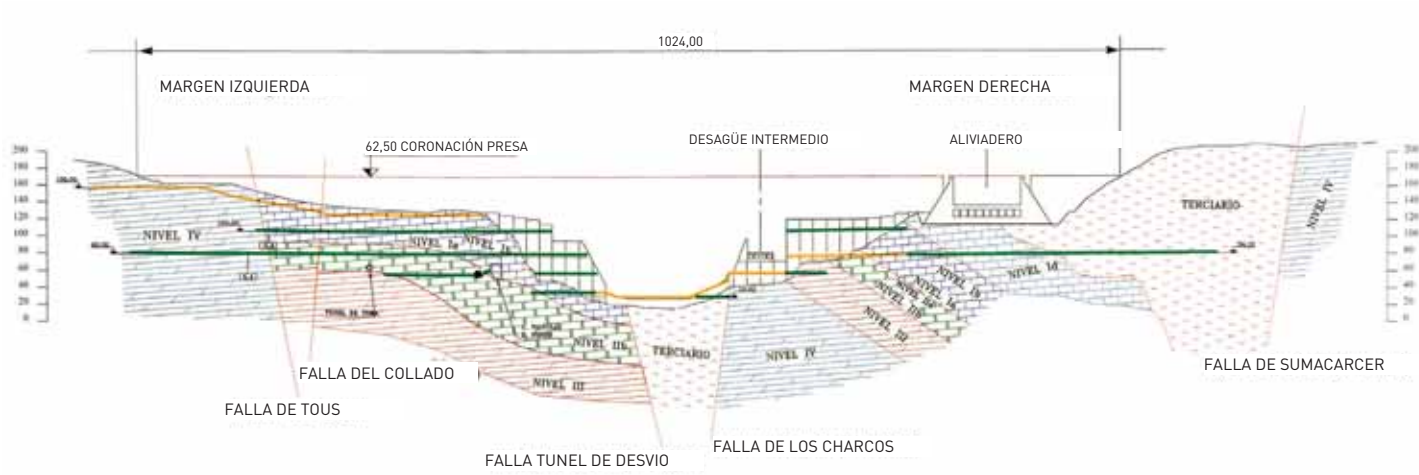
La falla de los Charcos, con un de 150 m, presenta una orientación paralela al valle, con un buzamiento hacia el E de 60° y un espesor de 6 o 7 m. El cuerpo central corresponde a una arcilla roja limosa con clastos.

Pasada la falla de los Charcos y hasta la de Sumacàrcer se dispone la mayor parte de la serie estratigráfica que forma la cerrada.

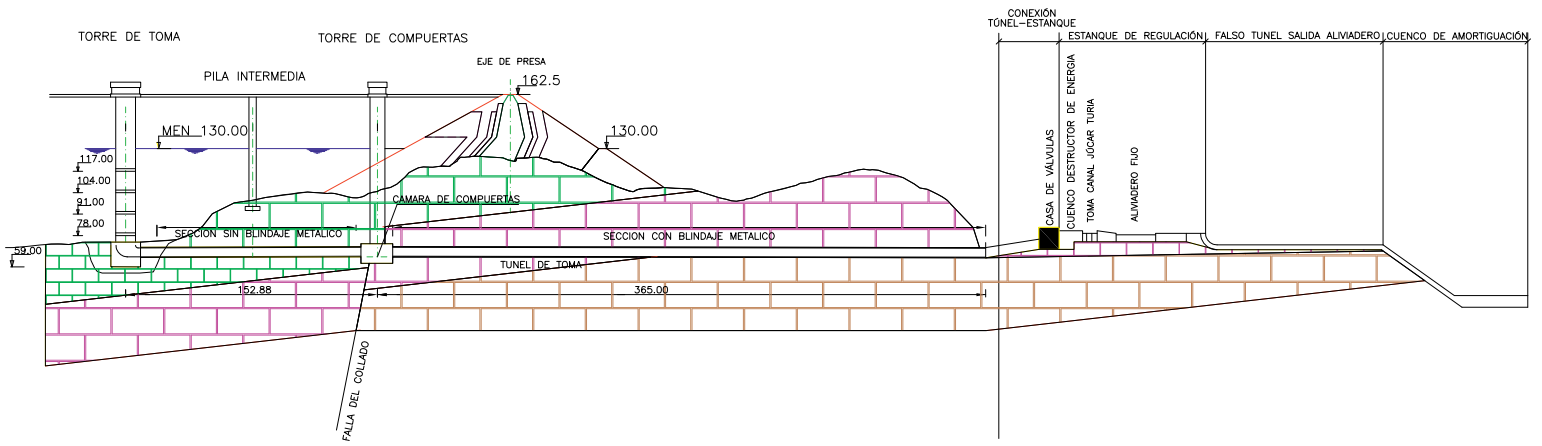
En el final del cauce aparece la falla de Sumacàrcer con un salto de unos 100 m. Presenta rumbo N-S, inclinación subvertical y relleno margoso con zonas milonitizadas llegando a tener un espesor de hasta 10 m. Como ya se detectó durante la explotación del anterior embalse, se trata de un área con valores altos de permeabilidad.

Por último, al otro lado de la falla de Sumacàrcer, encontramos el bloque levantado donde afloran las dolomías del nivel IV que, en esta zona, se presentan heterogéneas y con una alta permeabilidad asociada a dicha falla.

Corte geológico por la cerrada



Corte geológico por eje tunnel de toma



Terciario	PLIOCENO		CONGLOMERADOS, ARENISCAS, LIMOS Y MARGAS	TERCIARIO
	MIOCENO			
Cretácico superior	SUPERIOR			
		SANTONIENSE	SERIE DE CALIZAS Y CALIZAS BRECHOIDES	Nivel Ia Nivel Ib Nivel Ic
	INFERIOR	CONIACIENSE	SERIE CALIZA Y ALTERNANCIA DE MARGAS Y CALIZAS	Nivel Ila Nivel Ilb
		TURONIENSE	DOLOMIAS CRISTALINAS	Nivel III
	CEROMANIENSE	SERIE DOLOMITICA INFERIOR	Nivel IV	

Un nuevo proyecto: repensar la presa desde cero

El *Proyecto de la Nueva Presa de Tous* fue redactado por la Confederación Hidrográfica del Júcar siguiendo las directrices que nacían del *Plan de Defensa contra Avenidas del Júcar* y buscando los objetivos marcados en dicho plan. José Antonio Sánchez fue su director, actuando Ángel Gamo como consultor.

La redacción se inició sin ningún condicionante previo en cuanto a emplazamiento, tipo de presa, dimensiones del embalse, disposición y dimensiones de las estructuras hidráulicas, etc., fuera de las indicaciones impuestas en el *Plan de Defensa* y de los datos derivados de los estudios de regulación. Toda la información acumulada en las décadas precedentes y derivada del proyecto, la construcción y la explotación de la presa antigua, fue incorporada al estudio y utilizada como un simple antecedente más.

Una vez fijados los objetivos que se debían conseguir, se buscaron soluciones alternativas, para lo cual se dedicó un esfuerzo importante en definir la cerrada más adecuada. Con este propósito se efectuaron una serie de prospecciones geológicas, ayudadas con un buen número de sondeos, que permitieron estudiarlas simultáneamente. Para determinar la ubicación de la presa se estudiaron tres soluciones: la primera de ellas utilizando la implantación de la presa primitiva y las dos restantes dentro de un tramo de alrededor de 800 m de longitud, aguas abajo del primero.

Se estudió con especial atención un nuevo emplazamiento por dos razones. La primera es que en el antiguo lugar de la presa permanecía intacta gran parte de la obra de hormigón y su presencia podía significar una compleja problemática que no podría ser resuelta mediante la demolición de estas estructuras, dada su entidad (del orden de 340.000 m³). La otra razón para el cambio de emplazamiento era la de evitar la inquietud que podría despertar en la población de aguas abajo una solución en el mismo sitio y, en cierto modo, del mismo tipo que la destruida.

En cuanto al tipo de presa, se dedicó una atención especial a buscar una solución de presa de hormigón, atendiendo a un estado de la opinión pública, bastante generalizado, según el cual con una solución de este tipo no se habría pro-

ducido la rotura de la presa por la avenida de octubre de 1982.

Los estudios realizados demostraron que una ubicación distinta a la de la presa primitiva introducía una serie de incertidumbres que ponían en entredicho su factibilidad técnica, especialmente en lo relativo a conseguir una adecuada estanqueidad del vaso, por lo que se seleccionó, finalmente, un emplazamiento coincidente con el de la anterior. Esta solución permitía la utilización, directamente o con pequeñas obras de adaptación, de parte de las obras de la antigua presa que se consideraron no afectadas por la rotura, tales como la ataguía, contraataguía, túnel de desvío, desagüe de fondo, y, muy especialmente, las galerías de control y el sistema de impermeabilización y drenaje. Así mismo, se comprobó que una parte del núcleo, en la zona baja del mismo, no fue afectada por la rotura y que podía ser utilizada para el núcleo de la nueva presa. También se conseguía mantener en servicio, con unas interferencias mínimas, la elevación para abastecimiento de agua a Valencia y el sistema de trasvase Júcar-Turia.

En el proyecto de la nueva presa se prestó una atención especial a los problemas derivados de los contactos entre el núcleo y los bloques de hormigón existentes. Las soluciones adoptadas fueron sometidas al dictamen del consultor americano James L. Sherard, ya fallecido, considerado entonces como la máxima autoridad mundial en presas de materiales sueltos. Las soluciones, sancionadas como adecuadas y suficientes por el profesor Sherard, estaban basadas en la suavización y regularización de los contactos, en unas mayores exigencias en cuanto a espesores y granulometrías de los filtros, en el refuerzo de los espesores del núcleo en las zonas de contacto núcleo-hormigón y en la utilización de arcillas con una plasticidad más elevada en estas zonas.

El estudio comparativo de las distintas soluciones posibles condujo, inequívocamente, a concluir que la solución más adecuada, tanto desde el punto de vista técnico como económico, era construir una presa de la misma tipología y en la misma cerrada de la antigua presa.





Necesidades, ideas y soluciones para la nueva presa

Aliviadero

La solución finalmente adoptada significó que la presa fue fuertemente zonificada a fin de lograr una utilización óptima de los materiales de relleno, y en particular, de los materiales procedentes de las excavaciones del aliviadero y del despeje del cauce a la salida del mismo, así como de la toma de agua, sin disminuir las condiciones de resistencia y de deformabilidad exigidas para el cuerpo de la presa. Por otra parte, las nuevas exigencias, deducidas del estudio integral del *Plan de Defensa*, hacían conveniente el diseño de una presa de mayor altura que la proyectada para la anterior.

El aliviadero fue diseñado, por una parte, para permitir el desagüe de la avenida máxima probable y, por otra, para asegurar el cumplimiento de

las limitaciones ya mencionadas impuestas por el referido *Plan de Defensa*. Estas condiciones, junto con la de la optimización de los costes de las obras, llevaron a un diseño no convencional del vertedero. Las formas definitivas de este aliviadero son las obtenidas en las conclusiones del ensayo en modelo reducido llevado a cabo en el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

El desagüe intermedio aprovecha, en una parte importante, la estructura del aliviadero de la anterior presa. Su existencia, junto con las posibilidades que ofrecía para su utilización en el control efectivo de los niveles del embalse, permitió el proyecto de este tipo de desagüe sin precedentes en una presa de materiales sueltos.

El *Pliego de Bases* licitado para la adjudicación del proyecto y la ejecución de la obra dejaba abierta la posibilidad de que los proponentes introdujesen modificaciones al *Proyecto Base*, ajustándose a la normativa. La propuesta estaba dirigida, básicamente, a conseguir una mayor seguridad en todos los aspectos relacionados con la construcción y el funcionamiento general de las obras.

Como resultado del concurso fue seleccionada la variante número 11 presentada por las empresas constructoras Agromán Empresa Constructora SA y Dragados y Construcciones SA, en forma de unión temporal de empresas, adjudicándose definitivamente las obras en diciembre de 1989. Las modificaciones propuestas y otras especificadas en las *Prescripciones Técnicas Complementarias* conformaron finalmente el *Proyecto de Construcción*, fechado en septiembre de 1989.

Los trabajos se iniciaron condicionados a los resultados de los ensayos en modelo reducido y a un mejor conocimiento de la cimentación de la presa antigua. Las conclusiones obtenidas y la experiencia adquirida en el desarrollo de la obra aconsejaron adecuar el *Proyecto de Construcción* introduciendo modificaciones que mejoraban el aprovechamiento de materiales y su puesta en obra, así como otros aspectos entre los que destacaron:

- Recreer el cajero derecho del aliviadero para garantizar su capacidad en avenidas extremas, según ensayos del CEDEX.
- Ampliar la cámara de compuertas existente en el antiguo desagüe de fondo para incorporar dos nuevas compuertas y sustituir las dos ya instaladas por otras dos nuevas.
- Modificar la implantación y tipología de la torre de acceso a la cámara de compuertas del desagüe intermedio.
- Adaptar el estanque de regulación al terreno existente para minimizar excavaciones y construir dos bifurcaciones para la futura central a pie de presa.
- Reforzar las inyecciones de impermeabilización y consolidación.
- Adecuar las excavaciones de cimentación al saneo necesario de los restos de la antigua presa.
- Mejorar la auscultación.

Estas consideraciones dieron origen al *Proyecto de Modificado nº 1* que fue aprobado en noviembre de 1992. Fueron sus autores Luis del Cañizo y Fernando del Campo y actuó como Director de las Obras José Luís Utrillas Serrano.



Ensayo en modelo reducido del aliviadero y las válvulas del estanque de regulación



Otros estudios para el proyecto

La capacidad necesaria del embalse se estudió considerando la presa integrada en el sistema que incluye las aportaciones y demandas en las cuencas interrelacionadas. Los resultados del estudio de regulación mostraron un comportamiento satisfactorio del sistema, con un volumen a máximo nivel normal de 378 Hm³ y a nivel de avenida extrema de 800 Hm³ y con un volumen de regulación en Tous de 320 Hm³. Así se consigue, para la demanda de agua futura:

- Una garantía de servicio de las demandas superior al 97%, medida en porcentaje de meses sin fallo.
- Mantener una reserva para laminación de avenidas en Tous equivalente al 65, 80 y 80% del volumen de embalse máximo normal durante los meses de septiembre, octubre y noviembre, respectivamente.
- Se garantiza el abastecimiento de agua a Valencia.

En base a lo expuesto en el apartado anterior, el máximo nivel de explotación fue fijado a la cota 130,00. A partir de aquí se desarrolló un estudio de laminación de avenidas con la finalidad de definir el nivel máximo extraordinario del embalse y la cota de coronación de la presa. Los estudios de laminación se realizaron bajo las siguientes hipótesis de partida:

- El aliviadero y los órganos de desagüe se dimensionan con la condición de que, al contar con la presa del río Escalona, el caudal máximo evacuado a través de todos los órganos de desagüe de la presa de Tous no supere los 2.500 m³/s, para la avenida de 500 años.

■ Se supone que, cuando se produce la avenida mencionada en el punto anterior, el embalse se encuentra al 20% de su capacidad útil. Es decir, se admite que la explotación de la presa se hará de manera que durante los meses de máximo riesgo en los que se producen avenidas extraordinarias (entre octubre y noviembre), el nivel del embalse se encuentre a la cota 90,00 aproximadamente.

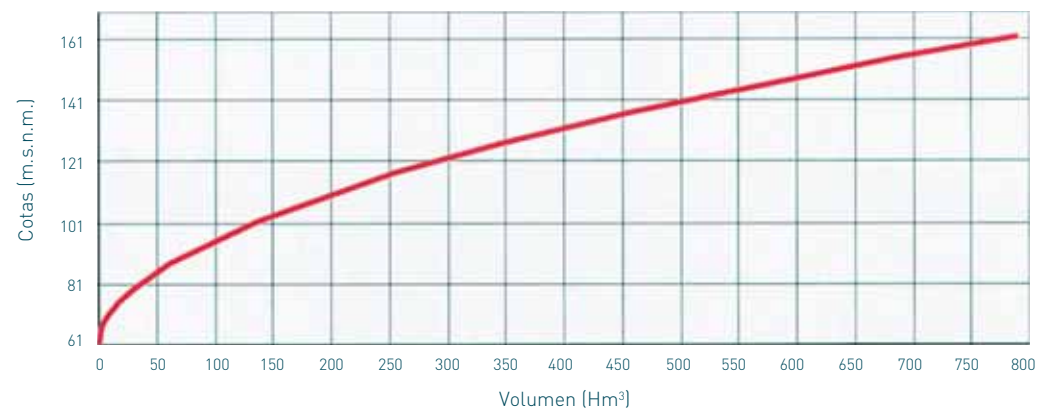
■ La manipulación de los órganos de desagüe, en caso que se presente una avenida, deberá hacerse de manera que no se produzcan caudales, aguas abajo de la presa, superiores a los que produce la propia avenida.

■ Los órganos de desagüe de la presa, bajo control de compuertas y válvulas, se dimensionan de manera que con el embalse a la cota de máximo nivel normal, una apertura total de todas ellas no produzca un caudal superior al caudal punta de la avenida de 25 años de período de retorno (2.500 m³/s).

En las *Normas de Explotación de la Presa de Tous* se llevó a cabo un estudio de avenidas para diferentes periodos de retorno y considerando caudales o volúmenes máximos y, con ello, se determinaron los caudales circulantes a evacuar por el aliviadero. Este aliviadero se diseñó para la máxima avenida probable (período de retorno de 10.000 años) con una capacidad de 19.700 m³/s. (Los resultados obtenidos se acompañan en el cuadro 4.1.)

La obra hidromecánica fue adjudicada en noviembre de 1992 a la unión temporal de empresas formada por las Dragados y Construcciones SA y Mediterránea de Industrias del Ferrocarril SA.

Embalse curva volumen-cota





Exterior e interior de la Subestación transformadora

Dada la especial responsabilidad de las compuertas del desagüe intermedio, se contó con la colaboración de la empresa italiana Acciaieria e Tubificio di Brescia (ATB) para que realizase una supervisión del diseño y cálculo de las citadas compuertas.

Al igual que en la obra civil, los resultados obtenidos de los ensayos hidráulicos realizados en modelos a escala reducida llevaron a introducir modificaciones con el objeto de mejorar las condiciones de funcionamiento, explotación y mantenimiento de las instalaciones procediéndose con tal fin a la redacción de la *Modificación nº 1* del proyecto correspondiente en diciembre de 1993 bajo la dirección de José LuíS Utrillas Serrano.

La obra eléctrica también precisó de un estudio específico. La necesidad de este proyecto fue debida a que las obras de la presa de Tous, por su extensión, dejaban dentro de su zona de influencia una serie de instalaciones eléctricas existentes (entre ellas una línea de 132 KV y la subestación transformadora) que era preciso cambiar de emplazamiento sin interrupción práctica del servicio que prestaban, ya que de su funcionamiento dependían, entre otros, el abastecimiento de agua a

Valencia y las obras de construcción de la presa de Escalona. Además, la demanda de energía eléctrica para los equipos de construcción de la presa de Tous se estimaba en una potencia de 6.000 KVA, por lo que se hacía necesario ampliar la potencia disponible.

Como resultado del concurso, fue seleccionada la *Solución Variante del Proyecto* presentada por la empresa Abengoa SA, adjudicándose definitivamente las obras en julio de 1990.

El aprovechamiento hidroeléctrico a pie de presa fue también objeto de estudio puesto que, con la construcción de la presa, se genera un importante salto que puede dar origen a un aprovechamiento hidroeléctrico de elevada rentabilidad económica. Por ello, y dado que después de concluida la presa sería prácticamente imposible construir los desagües requeridos, se incluyó un estudio preliminar en el proyecto de construcción de la obra civil, en el que se definen tanto el predimensionamiento de la obra civil y el caudal de equipamiento más conveniente como las características de la conducción y del equipo electromecánico principal.



