

SERIE TOUS

NUEVOS DATOS SOBRE LA CRECIDA DEL JUCAR DE OCTUBRE DE 1982

M. Arenillas Parra*, R. Martínez Costa*, R. Cortés Gimeno**
Dres. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

J. A. Ferri Aranda**

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

J. Botella Torres**

Ingeniero Técnico de Obras Públicas

1. Introducción

La avenida extraordinaria del Júcar de octubre de 1982, que motivó la rotura de la presa de Tous, se ha estudiado en diversas ocasiones y por distintos equipos a lo largo de los ya casi once años transcurridos desde entonces. El interés que ha suscitado este suceso ha sido muy variable en el tiempo. En un principio primaron los planteamientos científicos de investigación de un hecho excepcional; después, y sobre todo en relación con el juicio celebrado en la Audiencia de Valencia en 1989, surgieron nuevas interpretaciones, algunas claramente erróneas. Últimamente han vuelto a prevalecer los criterios científicos y técnicos en diversos artículos que se ocupan de diferentes aspectos de la avenida y que están sirviendo para contrastar y depurar el gran número de opiniones vertidas al respecto.

En esta línea, los datos que ahora se presentan son el resultado de una larga investigación sobre la crecida, que se inició desde la Cátedra de Geología Aplicada a las Obras Públicas de la ETSICCP de Valencia el día 21 de octubre de 1982 con un amplio reconocimiento de todo el territorio afectado,

tanto, tanto aguas arriba como aguas abajo de la presa, cuando todavía entraban al embalse importantes caudales de avenida con el cuerpo principal de la estructura ya desmoronado. En esas fechas se empezó a reunir todo tipo de información sobre los niveles alcanzados por las aguas, la evolución del proceso y otros datos de interés que permitiesen dar una explicación razonable de todo lo sucedido en un territorio tan extenso.

Los resultados derivados de estos primeros trabajos dieron lugar a una publicación (Arenillas et al, 1985) en la que se trataban de establecer los valores mínimos razonables de los caudales y volúmenes que definían el hidrograma de entrada en Tous, con objeto de analizar el comportamiento de la presa durante la avenida. Dicho análisis permitió alcanzar dos conclusiones de interés, que contrastaban claramente con la mayor parte de las opiniones manifestadas hasta entonces; fueron las siguientes:

1. La punta máxima de la avenida se presentó después de la rotura de la presa, como consecuencia de la importancia de las escorrentías que llegaron desde la zona de la cuenca más lejana a Tous. (Con ello se corregían los resultados de otros informes, que se habían limitado a estudiar la avenida hasta el momento de la rotura de la presa).

2. La avenida real fue muy superior a la prevista en el proyecto, en el que se había fijado —de

* E. T. S. de Ingenieros de Caminos. Madrid.

** E. T. S. de Ingenieros de Caminos. Valencia.

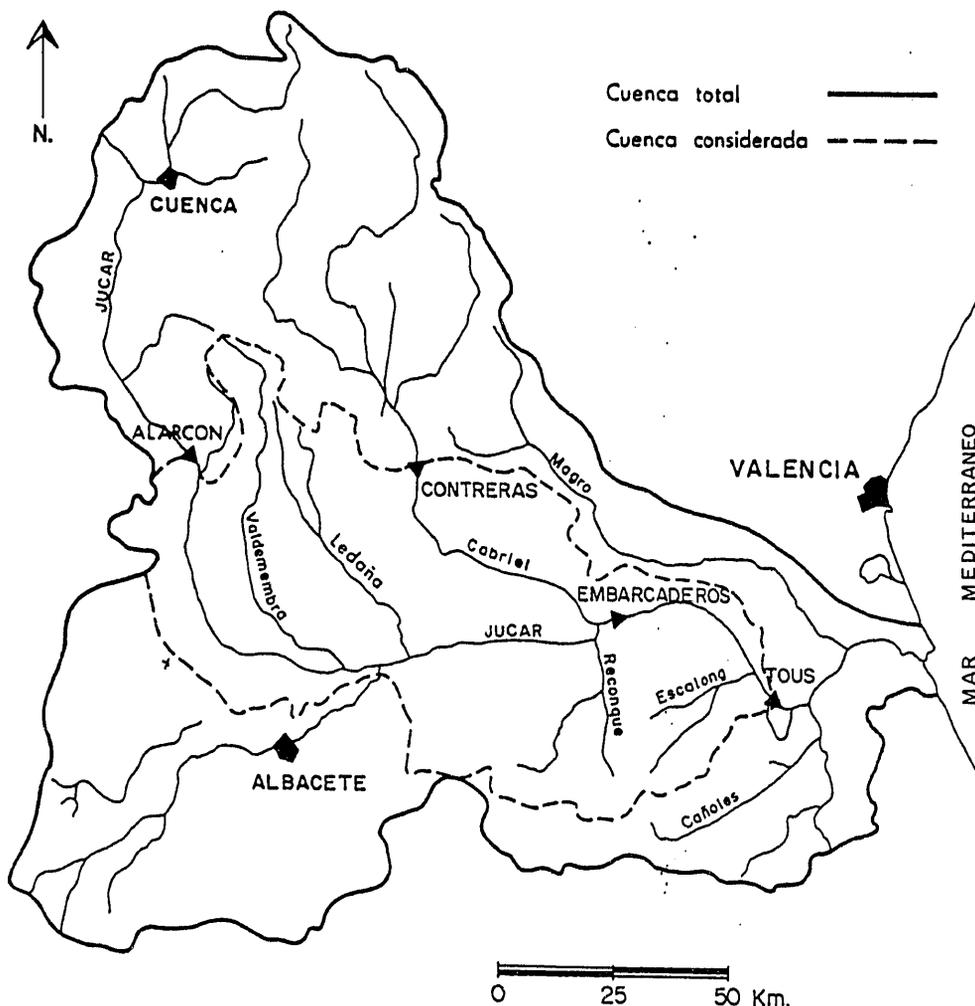


Figura 1. Cuenca del Júcar.

acuerdo con la normativa vigente— un caudal punta —muy conservador, según la información entonces disponible— de 7.000 m³/s para la avenida de 500 años de período de retorno. (De acuerdo con este nuevo dato, todos los aspectos relacionados con la posibilidad de abrir o no las compuertas perdían en la práctica su importancia, ya que, en cualquier caso, la presa hubiera vertido por coronación el tiempo y los caudales suficientes como para sufrir la rotura, de modo similar a lo sucedido en realidad).

Con posterioridad a aquella fecha, el primero de los firmantes de este artículo tuvo que actuar durante el juicio promovido a causa de la rotura de la presa como perito del fiscal. Por ese motivo consideramos de interés ampliar el estudio con objeto de establecer un hidrograma de entrada en Tous que se ajustase lo más posible a la realidad. Por circunstancias que ahora no vienen al caso, no hubo ocasión de presentar este estudio durante el juicio antes mencionado, si bien muchas de sus conclusiones se utilizaron en aquella ocasión. No obstante, el desarrollo y los resultados de la investigación dieron lugar a una comunicación enviada al VI Congreso de la Asociación Internacional de Geología del Ingeniero, celebrado en Amsterdam en agosto de 1990 (Arenillas et al, 1990);

el presente artículo es una reelaboración de aquella comunicación. Los resultados entonces obtenidos permitieron mejorar, corregir o rechazar algunas hipótesis simplificadoras sobre la avenida, así como las conclusiones erróneas de ellas derivadas; tanto por lo que se refiere a nuestros trabajos iniciales, como a los realizados por otros autores.

2. Marco hidrográfico

Aunque los datos que siguen se han citado en numerosas ocasiones, el carácter de síntesis de este artículo nos ha movido a repetirlos con objeto de centrar el marco de la avenida que estudiamos.

La cuenca del Júcar está situada en la zona oriental de la Península, entre la cordillera Ibérica y el Mediterráneo (figura 1). Ocupa una superficie de 21.542 km², que se extiende, en su mayor parte, por terrenos mesozoicos y terciarios. En los primeros predominan materiales carbonatados y en los segundos arcillosos. El último sector de la cuenca es una extensa plana costera de tipo detrítico.

Tanto el Júcar como los restantes ríos de su red tienen carácter torrencial, con regímenes similares a los de la mayor parte de los ríos mediterráneos españoles. Ello conduce a variaciones muy importantes de los caudales que transportan, tanto anualmente como interanualmente. Como media, la cuenca del Júcar vierte al mar unos 2.100 hm³/año, siendo las precipitaciones medias que recibe del orden de 520 mm/año; por tanto, el coeficiente de escorrentía, también medio, resulta ser algo inferior a 0,20.

A partir de la mitad de su recorrido, el Júcar desciende desde la Meseta hacia el Mediterráneo a través de un cauce con una pendiente muy acusada, que forma numerosos cañones. Esta topografía favorable ha determinado la construcción de distintas presas en el cauce principal y en sus afluentes. El agua de los correspondientes embalses se aplica, básicamente, al abastecimiento, a la producción de energía eléctrica y al regadío de zonas de alta rentabilidad agrícola situadas en la plana costera. En el último tramo de este sector se construyó la presa de Tous destruida en 1982. Esta presa correspondía a la primera fase de un proyecto definitivo que tendría mayor altura. La estructura estaba formada por dos estribos de hormigón y una parte central de materiales sueltos con núcleo vertical de arcilla. La coronación de la presa se situaba a la cota 98,50, es decir, 41,50 m sobre el cauce. El embalse tenía un volumen total de 51,5 hm³ hasta la cota de explotación normal (84,00 m). En la actualidad está en fase de terminación en el mismo emplazamiento una nueva presa con la que se alcanza la altura definitiva, inicialmente prevista.

3. Características y consecuencias generales de la avenida

Como es bien sabido, la cuenca del Júcar y, en general, todas las cuencas mediterráneas españolas están sometidas a procesos tormentosos que pueden llegar a ser muy importantes, sobre todo desde finales del verano a principios del invierno. Ello da lugar a lluvias muy intensas y a las consiguientes crecidas fluviales.

De hecho, en la cuenca del Júcar hay referencias históricas de más de 50 grandes avenidas ocurridas entre 1328 (primer documento escrito sobre el tema) y la actualidad. Aunque tales documentos, en particular los más antiguos, no permiten cuantificaciones muy precisas respecto de caudales y volúmenes, la información disponible indica que la avenida más importante del Júcar, anterior a la de 1982, fue la del 4 de noviembre de 1864.

Los estudios realizados el siglo pasado a raíz de esa crecida permitieron establecer entonces, en las proximidades del lugar donde posteriormente se construyó la presa de Tous, una punta máxima del orden de 6.000 m³/s, mientras que en la desembocadura del Júcar, unos 60 km aguas abajo, se habrían alcanzado unos 12.000 m³/s. (Precisamente esa avenida fue una de las referencias empleadas para el dimensionamiento del aliviadero de la presa). Estudios de mayor detalle

realizados recientemente han permitido fijar en el emplazamiento de la destruida presa de Tous un valor de la punta máxima de aquella avenida de 5.500 m³/s.

Pues bien, la crecida del Júcar de 20 de octubre de 1982 superó notablemente la cifra anterior. En esas fechas el territorio español venía sufriendo una importante sequía que duraba ya varios años y que se prolongó todavía durante 1983, a pesar de la aparición de fenómenos tormentosos muy intensos, pero muy localizados, como el que ahora nos ocupa.

El día 19 de octubre de 1982 en la presa de Tous no se recibió ningún aviso sobre la posibilidad de lluvias importantes al día siguiente, ya que la información meteorológica disponible no permitía prever un suceso tan repentino e intenso como el que se produjo. Sin embargo, a las 8 de la mañana del día 20 el embalse de Tous había ya recibido 19 hm³ de agua, que, sumados a los que retenía la noche anterior, determinaron que el nivel de las aguas sobrepasase en más de un metro la cota superior de las compuertas del aliviadero. Estas no se pudieron abrir, ya que las lluvias muy intensas que habían comenzado a caer en la cuenca del Júcar hacia la media noche produjeron el corte casi inmediato de los suministros eléctrico y telefónico y la práctica interrupción del tránsito por todas las carreteras que accedían a Tous.

Los primeros caudales de la avenida que llegaron al embalse los produjo el río Escalona, que confluye con el Júcar en las inmediaciones de la presa. A continuación fueron llegando nuevos caudales transportados por el propio Júcar. De este modo, la lámina de agua sobrepasó la coronación de la presa poco después de las 4 de la tarde del indicado día 20 de octubre, iniciándose con ello una degradación lenta de la estructura, que se aceleró a partir de las 7 de la tarde y determinó la destrucción prácticamente total del sector central (materiales sueltos) de la presa de Tous.

El proceso tormentoso que dió lugar a esta situación catastrófica es, con toda probabilidad, el más importante de los sufridos por esta comarca en tiempos históricos; al menos esto es lo que se desprende de la documentación escrita disponible. Las lluvias intensas se extendieron desde el mar hasta los relieves montañosos de la Meseta, con una profundidad de unos 170 km, muy superior, por ejemplo, a la que se alcanzó durante la inundación del 4 de noviembre de 1864.

No obstante, sólo una parte del agua caída en la cuenca tuvo incidencia en la formación de la avenida. Hay que tener en cuenta, por un lado, que aguas arriba de Tous hay dos grandes presas, una sobre el propio Júcar (Alarcón) y otra sobre su afluente el Cabriel (Contreras), que retuvieron todas las escorrentías que llegaron a sus respectivos embalses, sin verter hacia aguas abajo. Por otra parte, una extensa zona de la cuenca, situada en el sector medio de la margen derecha, es endorreica o semiendorreica y, aunque en parte desaguó volúmenes importantes hacia el Júcar durante la avenida, la realidad es que tales volúmenes alcanzaron el embalse de Tous muy tarde y, en consecuencia, su influencia sobre la parte principal del hidrograma de entrada en éste es

En la cuenca del Júcar hay referencias históricas de más de 50 grandes avenidas ocurridas entre 1328 (primer documento escrito sobre el tema) y la actualidad. La información disponible indica que la avenida más importante del Júcar, anterior a la de 1982, fue la del 4 de noviembre de 1864.

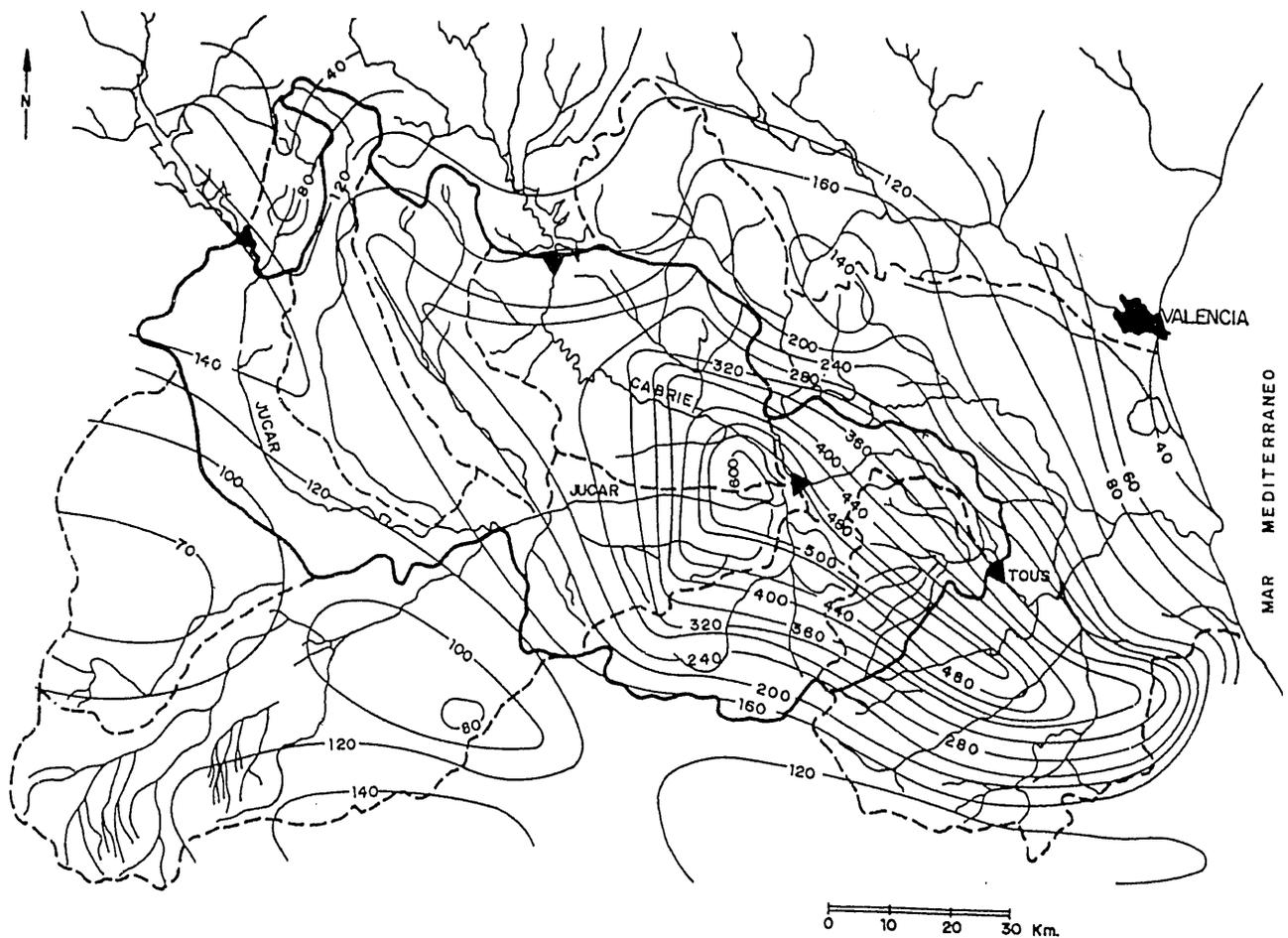


Figura 2. Mapa de Isoyetas.

bastante reducida; por ello no hemos considerado sus efectos en nuestro estudio.

Sin embargo, a diferencia de otros autores, sí que hemos comprobado la importancia que tienen las aportaciones de la parte alta de la cuenca considerada (río Valdemembra y el propio Júcar entre el embalse de Alarcón y el pueblo de Jorquera, aguas arriba del río Ledaña), pues aumentan la punta del hidrograma de entrada en Tous y sobre todo el volumen de la avenida, incrementándolo en unos 130 hm^3 ; volumen que, en cualquier caso, contribuyó a mantener durante varias horas los niveles de inundación en la Ribera, incluso después de la rotura de la presa.

Con las reducciones más arriba indicadas, la parte de la cuenca del Júcar situada aguas arriba de Tous que ha entrado en nuestros cálculos tiene una superficie de 6.780 km^2 . Sobre esta superficie, las isoyetas elaboradas por el INM con motivo de la avenida (figura 2) han permitido deducir una precipitación total de 1.880 hm^3 , que corresponde a una lluvia media de 277 mm .

Aguas abajo de Tous, el área afectada tiene una extensión de 4.310 km^2 , suma de los 3.692 km^2 de la cuenca propia del Júcar más la superficie correspondiente a dos cauces laterales que desaguan en el mar (la Rambla del Poyo por el norte, con 460 km^2 , y el río Jaraco por el sur, con otros

158 km^2); en conjunto esta zona recibió una precipitación total de 976 hm^3 , equivalente a 226 mm de lluvia media.

Según los datos del pluviógrafo de la Central Nuclear de Cofrentes, situada a unos 35 km de Tous y que coincide prácticamente con el núcleo más importante de la precipitación, el 80% de las lluvias totales se concentraron en 9 horas (entre las 7 de la mañana y las 4 de la tarde del día 20 de octubre), con varias horas en las que la intensidad superó los 100 mm (entre las 7^{h} y 8^{h} y desde las 9^{h} hasta las 12^{h}). En este núcleo máximo se superaron los 500 mm de lluvia en las 24 horas del día 20 de octubre, que resultaba ser la mayor intensidad diaria controlada en España hasta esas fechas.

4. Cuantificación del hidrograma de entrada en Tous

Para el estudio de la avenida y la definición del hidrograma en Tous se han aplicado los criterios que se explican a continuación:

1. Análisis detallado del comportamiento hidráulico de 28 diferentes secciones repartidas por toda la cuenca generadora de la crecida de Tous y situadas sobre los principales cauces (fi-

gura 3). En cada uno de estos puntos el análisis se ha centrado en los siguientes aspectos:

- Determinación de la geometría de la máxima sección mojada durante la crecida, así como de las correspondientes a otras situaciones sobre las que se dispone de información suficiente.

- Definición de los parámetros hidráulicos que determinan el movimiento del agua en el tramo de cauce asociado a la sección.

- Cronología de la avenida, relacionando niveles alcanzados y horarios en que tuvieron lugar.

- Cálculo de los caudales de avenida mediante la utilización de la fórmula de Manning para los diferentes calados conocidos. En general, y dada la gran extensión lateral que alcanzan las secciones de inundación, se han compartimentado éstas según dos o más subsecciones en las que se han aplicado coeficientes de rugosidad diferentes (Tabla 1).

El desarrollo de esta metodología ha requerido un importante trabajo de campo dirigido a la comprobación in situ de referencias y huellas inequívocas de la avenida que permitiesen corroborar la información obtenida en las entrevistas con los testigos del fenómeno estudiado. Afortunadamente, en el año 1989, que es cuando se realizó esta segunda fase del estudio, todavía se conservaban numerosísimas huellas de la riada; lo cual no hace sino confirmar su importancia. Con posterioridad a estos reconocimientos se ha efectuado una campaña de medición taquimétrica de las principales magnitudes geométricas en cada una de las secciones de calibrado establecidas.

Todas las entrevistas con los testigos presenciales de la avenida fueron grabadas y filmadas con el fin de permitir su posible revisión posterior en gabinete y con la intención de que quedara ga-

rantizada la procedencia de las informaciones obtenidas. Este material sirvió de base para la preparación de un vídeo resumen que fue aportado como prueba pericial durante la vista oral celebrada en 1989*.

2. Modelo de simulación de la generación de la avenida, basado en el método del *hidrograma unitario*, con el fin de ajustar los hidrogramas en las secciones de control. Para ello se ha partido de la información pluviométrica relativa a la distribución de los volúmenes totales precipitados en cada punto y de la secuencia temporal deducida de los pluviogramas disponibles, especialmente el registrado en la C.N. de Cofrentes. Para la determinación de la lluvia eficaz se ha recurrido a una formulación sencilla, estableciendo un criterio de simple proporcionalidad respecto de la lluvia precipitada. En cualquier caso, lo extraordinariamente elevado de los volúmenes de lluvia que se manejan resta incidencia al efecto de no considerar umbrales de precipitación neta.

Todo este proceso se ha desarrollado en las 23 subcuencas en las que se ha compartimentado la cuenca general considerada. En cada una de ellas se han tenido en cuenta sus características geológicas, edafológicas, topográficas, etc., para definir los correspondientes parámetros hidrológicos. El calibrado de estos parámetros se ha realizado en primer lugar a partir de la información disponible en las pertinentes secciones de control —de las 28 antes mencionadas—, que definen una serie de puntos (tiempo-caudal) de obligado paso para los hidrogramas correspondientes. Una vez realizada esta primera comprobación, los distintos hidrogramas de avenida —cal-

* El vídeo fue presentado, con sus propias conclusiones, por el Ingeniero de Caminos Juan José Fernández López-Bustamante, que había colaborado con los firmantes de este artículo en la realización de esta fase del estudio.

Figura 3. Puntos de control de la avenida.

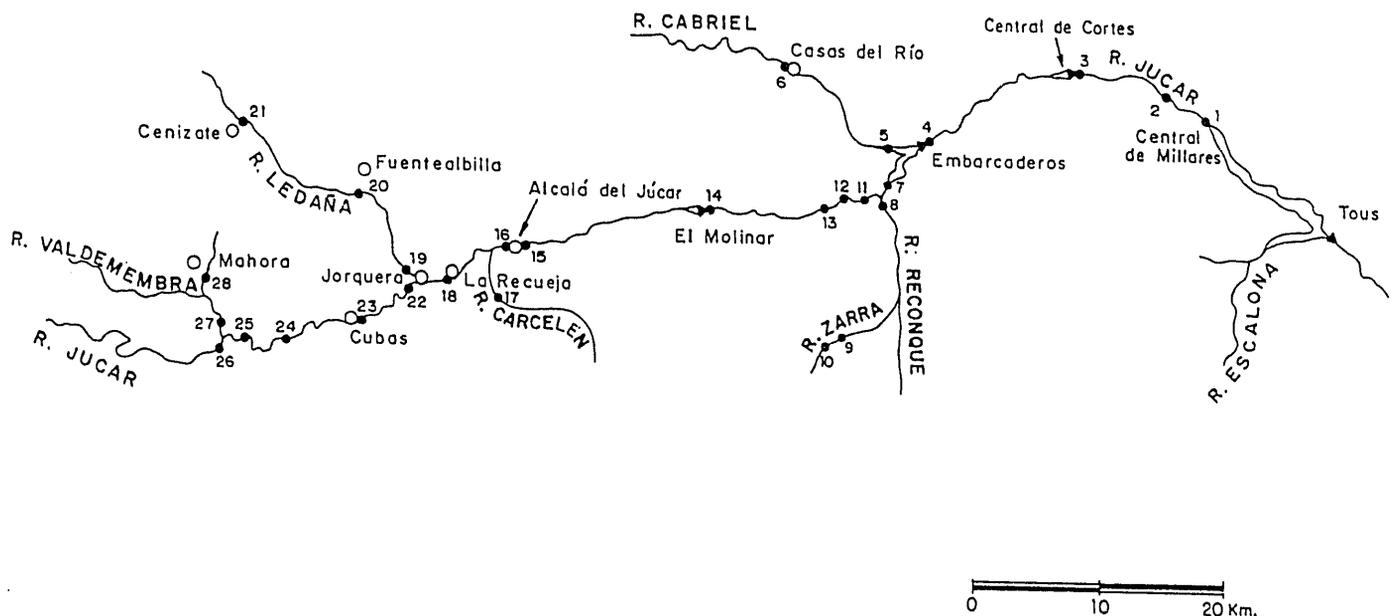


TABLA 1						
N.º	Nombre: río/punto	Area (m ²)	Radios hidráulicos (m)	Coeficiente rugosidad		caudal (m ³ /s)
				cauce	resto	
1	Júcar/C. H. Millares	1.208	12,01	0,050		8.600
2	Júcar/C.ª Millares Dos Aguas	1.209	11,14	0,045		8.400
3	Júcar/C. H. Cortes I	988	10,40	0,040		8.100
4	Júcar/Presa de Embarcaderos	(1)				(1)
5	Cabriel/Puente de Hierro	990	11,30	0,045		3.500
6	Cabriel/Casas del Río	723	6,18 - 1,95	0,035	0,060	2.800
7	Júcar/Pte. Ac. C. N. Cofrantes	1.050	6,30 - 1,18	0,040	0,060	4.900
8	Reconque/Pte. Tran. Especiales	545	5,50 - 3,10 - 2,20	0,035	0,050	3.000
9	Zarra/Zarra	360	4,90	0,045		1.550
10	Zarra/Alpera	165	3,50 - 1,90	0,035	0,080	600
11	Júcar/Casa E. Piera	2.003	7,26 - 5,23 - 2,66	0,040	0,070	4.800
12	Júcar/Pte. C.ª. Jalance-Cofrentes	1.025	6,83	0,050		4.800
13	Agua/Confluencia Júcar	(1)				(1)
14	Júcar/Embalse El Molinar	(2)				3.500
15	Júcar/Puente Nuevo Alcalá	685	6,40 - 2,90	0,030	0,050	3.400
16	Júcar/Puente Viejo Alcalá	(1)				(1)
17	Carcelén/Puente Villavaliante	(3)				590
18	Júcar/La Recueja	896	4,80 - 4,95 - 2,50	0,030	0,050	3.200
19	Ledaña/Molino Jorquera	653	5,35 - 2,10	0,035	0,080	2.000
20	Ledaña/Galayar (4)	744	3,50	0,040		1.800
21	Ledaña/Cenizate	445	2,48	0,030		1.450
22	Júcar/Pte. Jorquera	450	9,45 - 7,10 - 3,10	0,030	0,050	2.050
23	Júcar/Pte. Cubas	335	5,78	0,030		1.800
24	Júcar/Pte. Torres	486	6,40 - 4,00 - 3,35	0,030	0,050	1.750
25	Júcar/Pte. Valdeganga	300	6,00 - 2,50	0,030		1.600
26	Júcar/Pte. C.ª. Albacete-Casas Ibáñez	(3)				900
27	Valdemembra/Motilleja	1.585	2,10	0,090	0,090	900
28	Mahora/Pte. Mahora	248	4,20	0,040		750

- (1) Sin sección de Cálculo de Caudal; sólo horario de paso
(2) Calculado según secciones vertido de presa
(3) Calculado según secciones de vertido
(4) Existen otras dos secciones de contraste

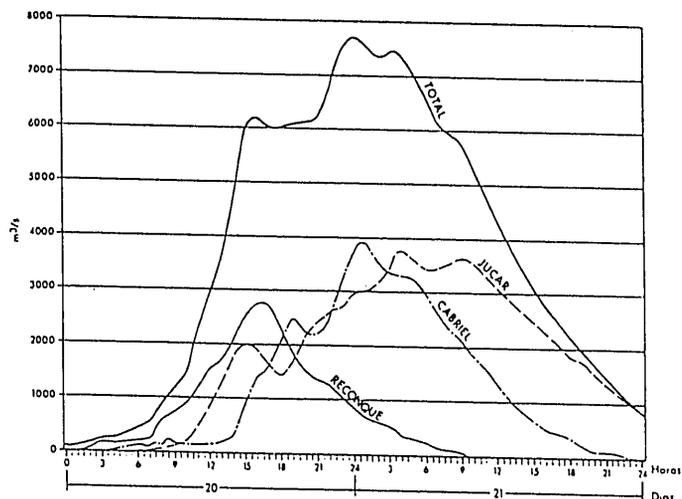
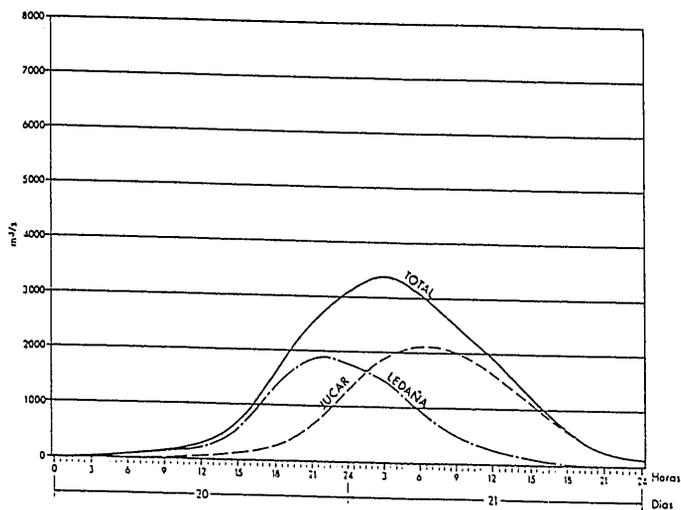


Figura 4. Concentración en la confluencia Júcar-Ledaña. A la derecha, figura 5. Concentración en Embarcaderos.

culados en cada una de las 23 subcuencas— se concentran en los diferentes puntos de confluencia y se transportan hacia aguas abajo según determina la red de drenaje general. Estos hidrogramas sucesivamente concentrados se calibran en las restantes secciones de control y, por último, en Tous. En este punto se conoce con bastante exactitud la variación de niveles y caudales de salida hasta por lo menos el momento de la rotura de la presa. Igual ocurre con lo acontecido al día siguiente, en el que las infraestructuras que resultaron menos dañadas, como la ataguía de aguas arriba —parcialmente derruida— posibilitan la cuantificación de los caudales de paso correspondientes a la rama descendente del hidrograma. Estos últimos procesos de calibrado permiten ajustar los hidrogramas parciales y concentrados y, a partir de ellos, obtener el definitivo hidrograma de entrada en Tous.

En las figuras 4 y 5 se representan, respectivamente, los hidrogramas concentrados en la confluencia del Júcar con el Ledaña y en el embalse de Embarcaderos; la figura 6 corresponde al hidrograma de entrada en Tous, donde se concentran los caudales del Júcar y los del Escalona (Tabla 2). De este último hidrograma se pueden deducir las características principales de la avenida de octubre de 1982; son las siguientes:

- Duración de la fase principal de la crecida: 36 horas.
- Caudal máximo de entrada en Tous: 10.400 m³/s.
- Volumen total recibido por el embalse: 864 hm³ (es decir, unas 17 veces su capacidad a cota de explotación normal y casi la mitad de la aportación anual media de toda la cuenca del Júcar).

5. Comportamiento de la presa durante la avenida.

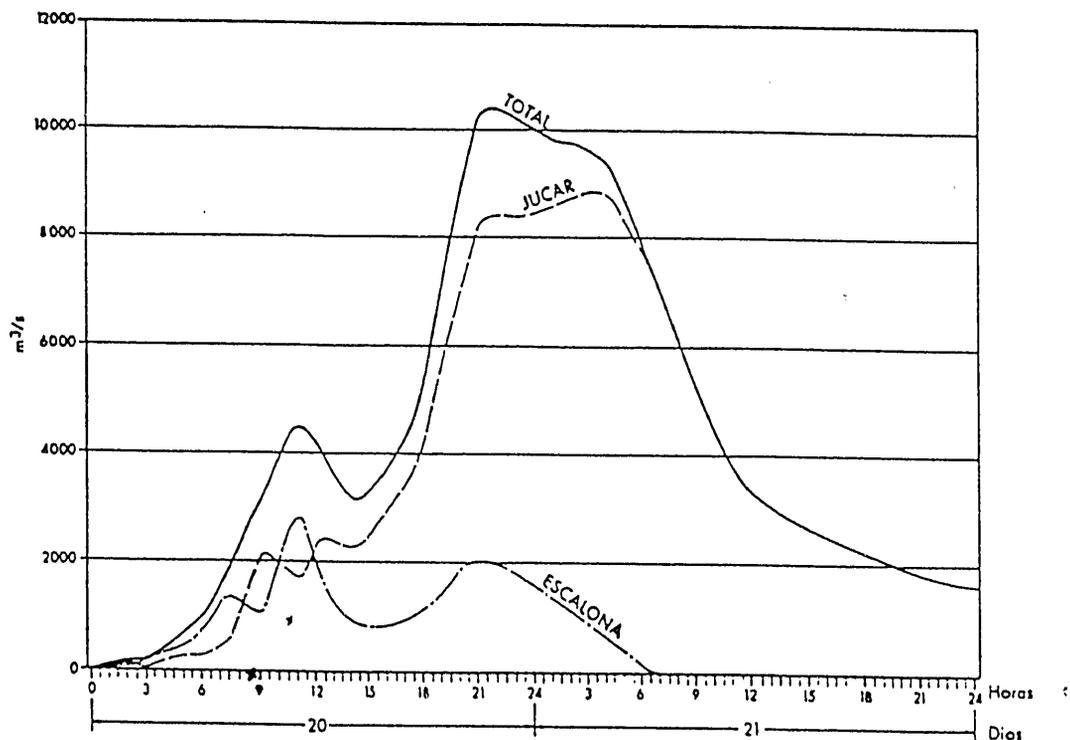
Una vez definido el hidrograma de entrada, se ha estudiado el comportamiento de la presa du-

rante la avenida. Para ello se ha calculado en primer lugar el hidrograma de salida, en el cual se refleja el efecto laminador del embalse hasta el momento de la rotura definitiva de la presa. Según hemos dicho anteriormente, las compuertas del aliviadero de la presa de Tous no pudieron abrirse, produciéndose vertidos por encima de éstas y sobre la coronación de la presa, según fue creciendo la altura del agua retenida por el embalse. Por aplicación de las correspondientes fórmulas de desagüe, ajustadas en función de las alturas de agua realmente observadas, se ha definido el hidrograma de salida hasta las 7^h 15^m de la tarde del día 20 de octubre. A partir de ese momento se produjo la degradación definitiva de la estructura, lo que motivó un importante aumento del caudal desaguado. Esta parte del hidrograma ha sido estudiada por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) del MOPT (CEH, 1983), de donde se han tomado los datos para completar el hidrograma de salida que aparece en la figura 7.

Una vez establecida esta situación real, hemos completado el estudio investigando el comportamiento de la presa en el caso de que las compuertas hubiesen podido ser accionadas. Para ello se ha analizado una primera hipótesis extrema (que no ha sido preciso ampliar con otras, según se verá a continuación), consistente en suponer que cuando se inició la riada el embalse estaba totalmente vacío y las compuertas completamente abiertas. Con estos criterios y por aplicación de las oportunas leyes de vertido (en función de la altura del agua en el embalse, deducida del hidrograma de entrada), se ha obtenido un nuevo hidrograma de salida (figura 7).

Según se comprueba en la figura, en esta hipótesis extrema el agua habría alcanzado la coronación de la presa a las 23 h del día 20 de octubre. Sí, además, la estructura no se hubiese destruido antes, el vertido sobre coronación se habría prolongado durante ocho horas, alcanzándose alturas de lámina de agua superiores a 2,10 m. Dado

Figura 6. Hidrograma de entrada en Tous.



que en la realidad la presa se destruyó aproximadamente tres horas después de comenzar a verter sobre coronación, con una lámina de agua similar a la indicada, resulta evidente que esta hipó-

tesis extrema habría conducido asimismo a la rotura de la presa. (El ensayo en modelo reducido, realizado por el CEH para estudiar la destrucción de la presa, demuestra que ésta se produce con

TABLA 2

N.º	Nombre	Area (km ²)	Precipitación		Aportación (hm ³)	Escorrentía
			(hm ³)	(mm)		
1	Júcar (Embarcaderos y Tous)	391	127	326	64	0,50
2	Escalona	540	242	447	121	0,50
Suma 1 + 2		931	369	397	185	0,50
3	Cabriel (Contreras-Embarcaderos)	1.364	499	366	225	0,45
4	Júcar (Jorquera-Embarcaderos)	809	236	292	106	0,45
5	Reconque	824	281	340	115	0,41
Suma 3 + 4 + 5		2.997	1.016	339	446	0,44
6	Ledaña	894	219	245	105	0,48
7	Valdemembra	949	150	158	72	0,48
8	Júcar (Alarcón-Jorquera)	1.009	126	125	56	0,45
Suma 6 + 7 + 8		2.852	495	173	233	0,47
Total		6.780	1.880	277	864	0,46

láminas de vertido por coronación superiores a 1,50 m). De acuerdo con nuestros cálculos, en la hipótesis extrema que hemos descrito, la fase final de destrucción de la presa se habría iniciado hacia las 2 h del día 21 de octubre. Para este supuesto, el CEH ha deducido una punta de avenida de 18.000 m³/s, (CEH, 1989), es decir, superior a la real (15.000 m³/s), en razón de los caudales que entraban en ese momento en el embalse. En definitiva, y como consecuencia del análisis anterior, resulta evidente que cualquier situación entre la real (compuertas cerradas y embalse a cota de aliviadero) y la extrema considerada (compuertas abiertas y embalse vacío) habría conducido también a la destrucción de la estructura.

6. Conclusiones

El estudio que presentamos al Congreso de la AIGI en 1990 nos permitió establecer una serie de conclusiones, algunas de las cuales no eran sino reiteración de lo que habíamos publicado en 1985; las repetimos nuevamente:

■ La punta de la avenida en el embalse de Tous alcanzó un valor de 10.400 m³/s y se produjo entre las 22 y 23 h del día 20 de octubre, es decir unas tres horas después de la rotura de la presa, momento en el cual el caudal de entrada era de unos 7.300 m³/s.

■ La presa de Tous se habría destruido en cualquier caso durante la avenida, con independencia de la situación del embalse y de las manio-

bras de compuertas que se hubieran podido realizar. Como máximo (compuertas abiertas y embalse vacío) esta rotura se habría producido a las 2 h del día 21, dando lugar a un caudal punta de salida de 18.000 m³/s.

■ La capacidad del aliviadero de la presa de Tous estaba correctamente definida de acuerdo con la información disponible en aquel momento (1973). Los criterios empleados para ello pueden considerarse, incluso, conservadores.

■ A pesar de todo, la realidad es que la presa de Tous se destruyó el 20 de octubre de 1982. Esto se explica por el carácter extremo y fuera de toda previsión razonable del fenómeno meteorológico que tuvo lugar en aquella fecha. Lo corrobora, además de las razones ya expuestas, el hecho de que ciertas presas (y otras instalaciones proyectadas con criterios muy estrictos) próximas a Tous hayan visto desbordadas sus previsiones iniciales, obligando a la redefinición de los proyectos originales.

En el momento actual podemos aportar nuevas conclusiones que se derivan de la comparación de nuestros resultados con los obtenidos por otros grupos de trabajo. Tiene especial interés en este sentido todo lo relativo a la definición del hidrograma de entradas al embalse durante toda la avenida, que es el aspecto crucial del problema planteado.

En este sentido, pueden servir de referente fundamental los resultados obtenidos por el Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX) en los diferen-

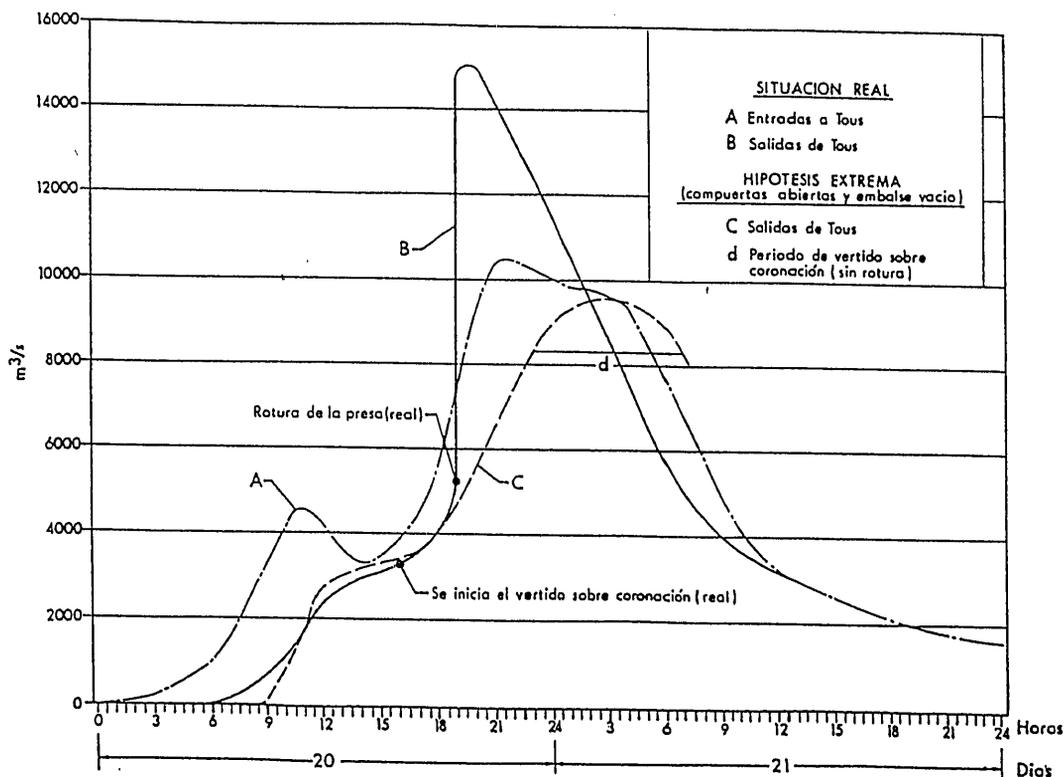


Figura 7. Hidrogramas de entrada y salida en Tous (casos real y extremo).

Ha quedado demostrado que la avenida del 20 de octubre de 1982, que determinó la rotura de la presa de Tous, produjo una punta de unos 10.000 m³/s y corresponde a un período de retorno del orden de 1.000 años.

tes informes presentados desde 1983, que han sido especialmente ampliados y mejorados en una publicación reciente (Témez, J.R. y Mateos, C., 1993).

Si se compara nuestro hidrograma de entrada en Tous con el incluido en esta última publicación, destaca la coincidencia casi total a lo largo de la primera parte del hidrograma. No puede ser de otro modo, puesto que para el contraste real de este período se dispone de los datos de niveles leídos en el embalse por el Sr. González Marín, que permiten calcular las entradas con buena precisión hasta, por lo menos, las 19.00 horas del día 20 de octubre.

Existe, no obstante, una cierta discrepancia en cuanto al valor del máximo caudal de avenida, que el CEDEX estima en 9.900 m³/s, es decir, 500 m³/s menos que nosotros. Esta diferencia, ciertamente de orden menor en el conjunto general, puede resultar perfectamente explicable por las distintas características de los dos métodos empleados en el cálculo de la avenida. En relación con esta diferencia de caudales punta resultan dos ramas de descenso distintas, que son muy parecidas en cuanto a su forma pero ligeramente desplazadas entre sí. Todo ello se traduce en una nueva discrepancia en el último punto de contraste en las inmediaciones de la presa, como es el que corresponde a la ataguía utilizada durante la construcción; esta obra, una vez al descubierto en la última fase de vaciado del embalse, permite cuantificar los caudales circulantes en la mañana siguiente a la rotura de la presa, en función de la información gráfica disponible y del momento en el que se realizaron las correspondientes fotografías. También en este caso, la diferencia entre ambos hidrogramas sigue siendo de orden menor.

A pesar de estas ligeras faltas de concordancia entre ambos estudios, por nuestra parte —lógicamente— seguimos considerando más ajustado el hidrograma que aquí se presenta, basándonos para ello en dos razones principales. Por un lado, estimamos que el método que hemos seguido, con profusión de puntos de contraste, supone un análisis de carácter más amplio y la necesaria implicación de toda la cuenca en la formación del hidrograma. En nuestra opinión este método permite compensar mejor —y, en consecuencia, reducir— determinados errores, inevitables en cualquier cálculo hidrológico, frente a procedimientos basados en cálculos hidráulicos muy sofisticados y complejos como los aplicados por el CEDEX a una sección tan irregular como la existente a la altura de la central de Millares (Juan de Urrutia). Por otra parte, nos parece que el volumen total del hidrograma calculado por el CEDEX conduce a un coeficiente de escorrentía medio excesivamente reducido para todo el episodio (del orden de 0,37). Nuestro hidrograma determina un valor superior, de 0,46, que incluso seguimos considerando bajo, dadas las características propias de la cuenca y del episodio estudiado.

En cualquier caso, todas estas comparaciones o contrastes entre el último hidrograma del CEDEX y el equivalente nuestro —además de ser de segundo orden— no tienen sino un interés meramente académico, pues en lo esencial estamos completamente de acuerdo. Así, está claro que, tanto por una vía como por otra, ha quedado de-

mostrado que la avenida del 20 de octubre de 1982, que determinó la rotura de la presa de Tous, produjo una punta de unos 10.000 m³/s y corresponde a un período de retorno del orden de 1.000 años; cifras éstas que necesariamente deberán considerarse en el futuro —pero que no podrían, evidentemente, preverse en el pasado— en los análisis de situaciones extremas en la cuenca del Júcar.

Por lo que se refiere a otras propuestas —en particular algunas de las presentadas durante el juicio por la rotura de la presa de Tous— que contrastan claramente con nuestros resultados, es de señalar que ninguna de ellas soporta el menor análisis crítico. Así ocurre, por ejemplo, con el informe presentado por Hidroeléctrica Española sobre el hidrograma de avenida deducido en el embalse de Embarcaderos y su traslado a Tous. Témez y Mateos, en el artículo antes citado, han demostrado con toda claridad la imposibilidad de que este suceso ocurriera tal y como se explica en dicho informe, pues se contradice tanto con las velocidades del agua posibles en el río, como con el momento de presentación del máximo caudal. Lógicamente, los planteamientos que se basan en este hidrograma erróneo, como son los presentados durante el juicio oral por Delft Hydraulics y MacDonalds and Partners —y con independencia de su falta de rigor científico—, no pueden sino conducir a resultados totalmente absurdos.

Bibliografía

- Arenillas, M. et al (1985): «La Avenida Extraordinaria del Júcar de 20 de Octubre de 1982». *Catástrofes Naturales*, pp. 17-49. Publicaciones de la Cátedra de Geología aplicada a las obras públicas. ETSICCP. Universidad Politécnica de Valencia.
 - Arenillas, M. et al (1990): «The Júcar river flood of October 20th 1982». VI Int. Congress I.A.E.G.
 - Centro de Estudios Hidrográficos (1983): *Avance del estudio hidrológico de la crecida del Júcar*. CEDEX-M.O.P.U. (Sin publicar).
 - Centro de Estudios Hidrográficos (1984): *Estudio hidrológico de la crecida ocurrida en los días 20 y 21 de octubre de 1982 en la cuenca del Júcar*. CEDEX-M.O.P.U. (Sin publicar).
 - Centro de Estudios Hidrográficos (1989): *Revisión del estudio hidrológico de la crecida ocurrida en los días 20 y 21 de octubre de 1982 en la Cuenca del Júcar*. CEDEX-M.O.P.U. (Sin publicar).
 - Díez, J. (1992): «El fenómeno meteorológico de Santa Irena de 1982». *Revista de Obras Públicas*, noviembre 1992. pp. 77-81.
 - Reija Garrido, A. (1992): «Características meteorológicas del temporal de octubre de 1982». *Revista de Obras Públicas*, agosto-septiembre 1992. pp. 61-66.
 - Témez, J.R. y Mateos, C. (1993): «Hidrogramas de entrada a Tous. Datos para un juicio crítico». *Revista de Obras Públicas*, marzo 1993, pp. 67-79.
- (Se han consultado además los distintos informes presentados al juicio por la rotura de la presa de Tous; Valencia, 1989).