

# ALERTA SOBRE LOS HIDROGRAMAS DE PROYECTO

## THE QUESTIONABILITY OF DESIGN HYDROGRAPHS

JOSE RAMÓN TÉMEZ PELÁEZ. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX

**RESUMEN:** Se presenta una selección de hidrogramas registrados en España durante el paso de crecidas extraordinarias, cuyas duraciones y volúmenes invitan a reflexionar sobre la idoneidad de los métodos utilizados en el cálculo de las crecidas de proyecto y del efecto laminador de los embalses.

**PALABRAS CLAVE:** HIDROGRAMA, CRECIDA, DURACIÓN, LAMINACIÓN, EMBALSE.

**ABSTRACT:** The article questions the suitability of the estimation methods of flood hydrographs. These questions arise from the study of the duration and volumes taken from a selection of extraordinary Spanish flood hydrographs.

**KEYWORDS:** HYDROGRAPH, FLOOD, DURATION, ROUTING, RESERVOIR.

### MOTIVACIÓN

En general, los esfuerzos investigadores sobre las crecidas de proyecto se han centrado en la estimación de los caudales punta, con escasa atención a otros aspectos de su evolución temporal como duración, volumen etc., que si bien son irrelevantes en muchos fenómenos, en otros, como por ejemplo la laminación en los embalses, pueden resultar decisivos.

Por otra parte, una insuficiente difusión de los hidrogramas significativos registrados en las estaciones de aforo ha propiciado unos hábitos en el diseño de las crecidas de cálculo poco rigurosos y carentes del deseable contraste empírico, que suelen infravalorar la duración y el volumen de las crecidas, y en el caso de los embalses llevan a sobreestimar la capacidad laminadora de los mismos.

Los técnicos de los Servicios de Aforo de las distintas Comisaría de Agua de España han atendido la petición reciente del CEDEX para recopilar y seleccionar los hidrogramas de crecidas relevantes registradas a lo largo de la vida de las estaciones de aforo, que se piensan incorporar a la base de datos Hidro, donde ya figuran los caudales diarios.

Una primera contemplación de esa información revela la existencia de muchas crecidas extraordinarias con una duración que cabría calificar de sorprendente para el común de los hidrólogos, pues su gran magnitud excede significativamente a las que habitualmente se utilizan en los hidrogramas de cálculo de cuencas de semejante tamaño.

Las consideraciones de los párrafos precedentes han aconsejado la redacción de este artículo, cuyo principal objetivo es presentar y difundir entre los técnicos una muestra de la documenta-

ción disponible sobre hidrogramas, para que a su luz reflexionen sobre la idoneidad de ciertos códigos vigentes en el diseño de las crecidas de cálculo.

### LOS DATOS

Los datos que se ofrecen a la consideración de los técnicos, y en los cuales se van a apoyar los comentarios de este artículo, son los 15 hidrogramas definidos con trazo negro en las figuras 1 a 4, donde se cita el río, el lugar de registro y la fecha correspondiente. El relativo a las entradas en el embalse de La Baells ha sido tomado de la comunicación al Congreso de Grandes Presas referenciada en la Bibliografía, y los 14 restantes se seleccionaron entre los enviados al CEDEX por las Comisaría de Aguas con los siguientes criterios:

- Los caudales punta son los máximos de la serie de registros en el lugar (80% de los hidrogramas) o al menos están entre los tres mayores.
- No están alterados significativamente por la presencia de embalses aguas arriba.
- La duración de la crecida es de gran magnitud habida cuenta del tamaño de la cuenca.

### SÍNTESIS DE LOS HIDROGRAMAS

En las figuras 1 a 4, junto a la definición de cada uno de los hidrogramas seleccionados, se dibuja con trazo rojo un triángulo que pretende representar esquemáticamente la onda principal del mismo, y que por razones de simplificación prescinde de aquellos

Figura 1.  
Hidrogramas  
seleccionados  
(I).

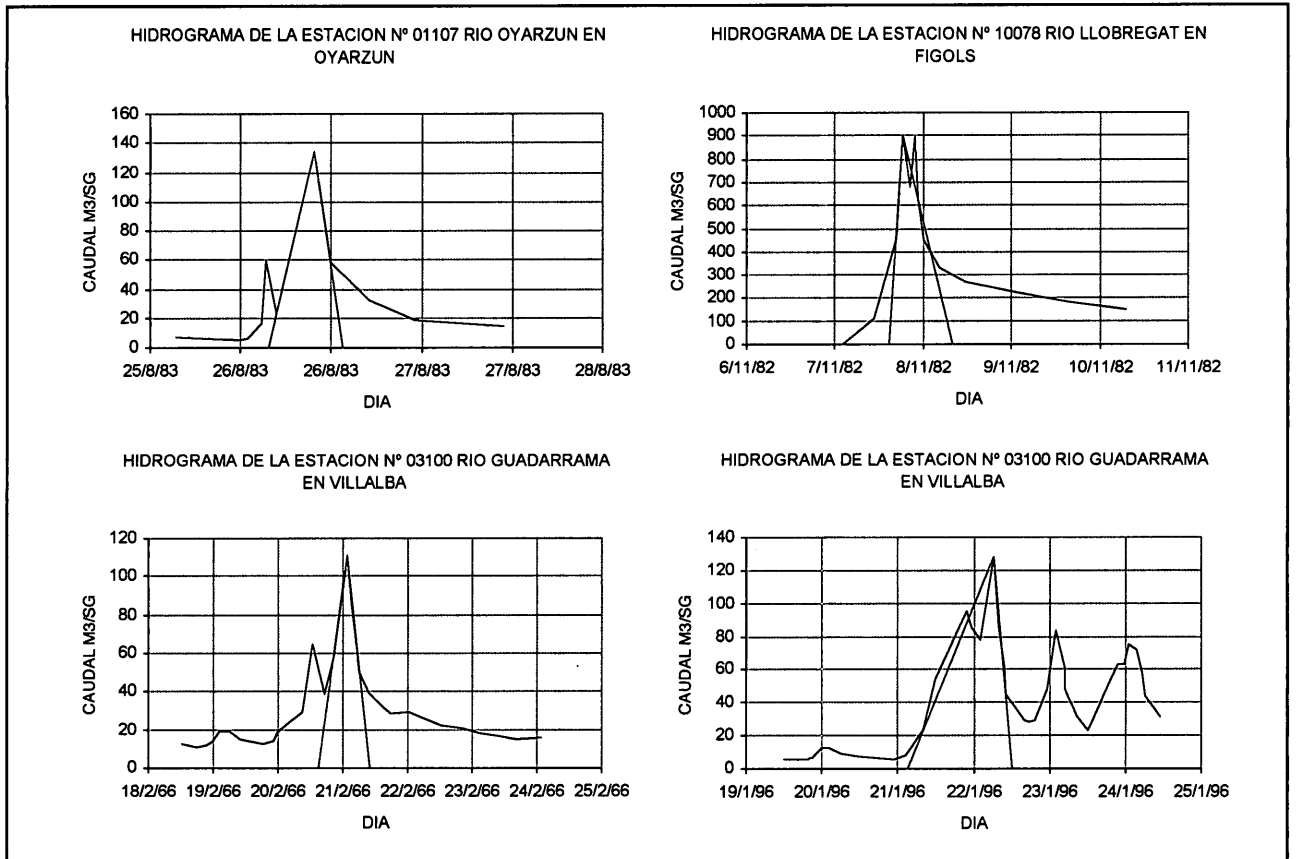
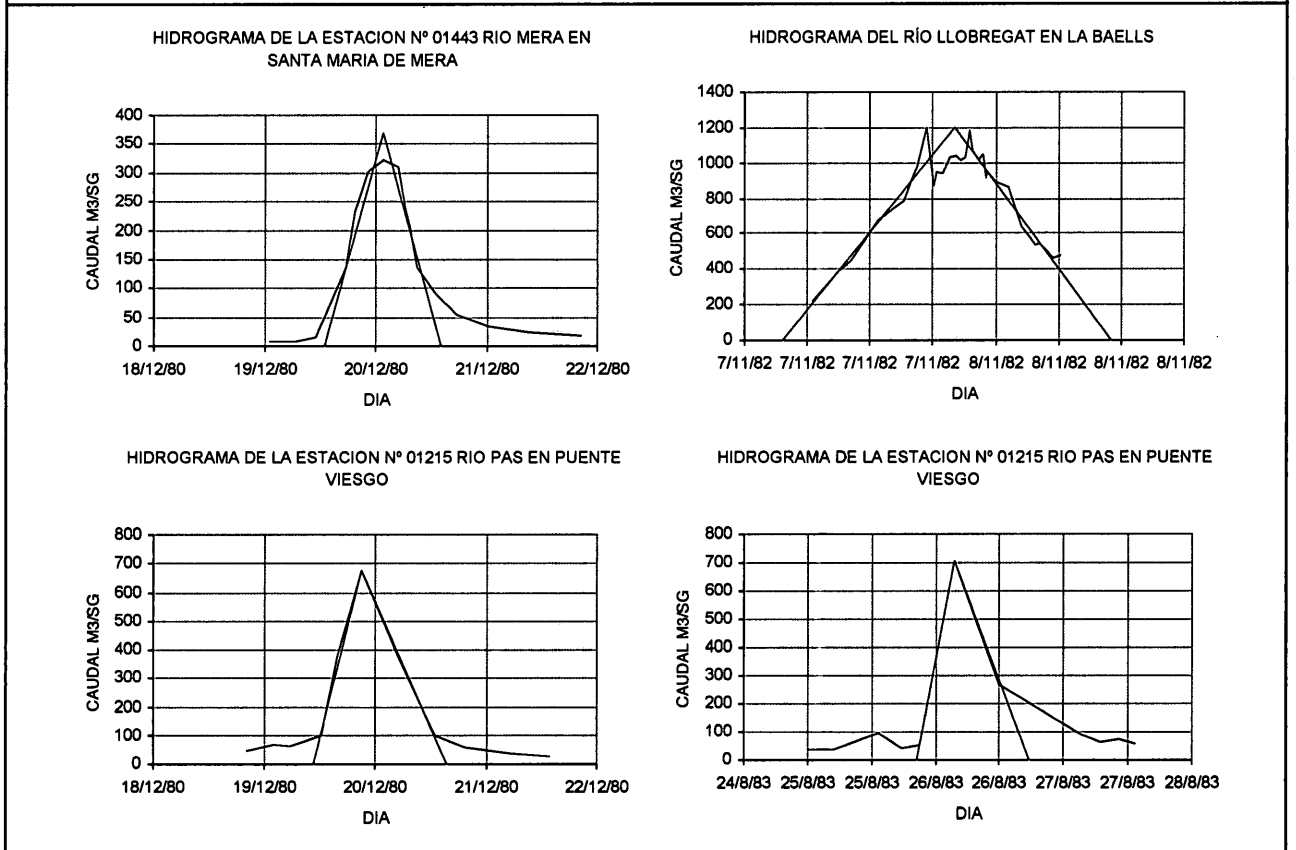


Figura 2.  
Hidrogramas  
seleccionados  
(II).



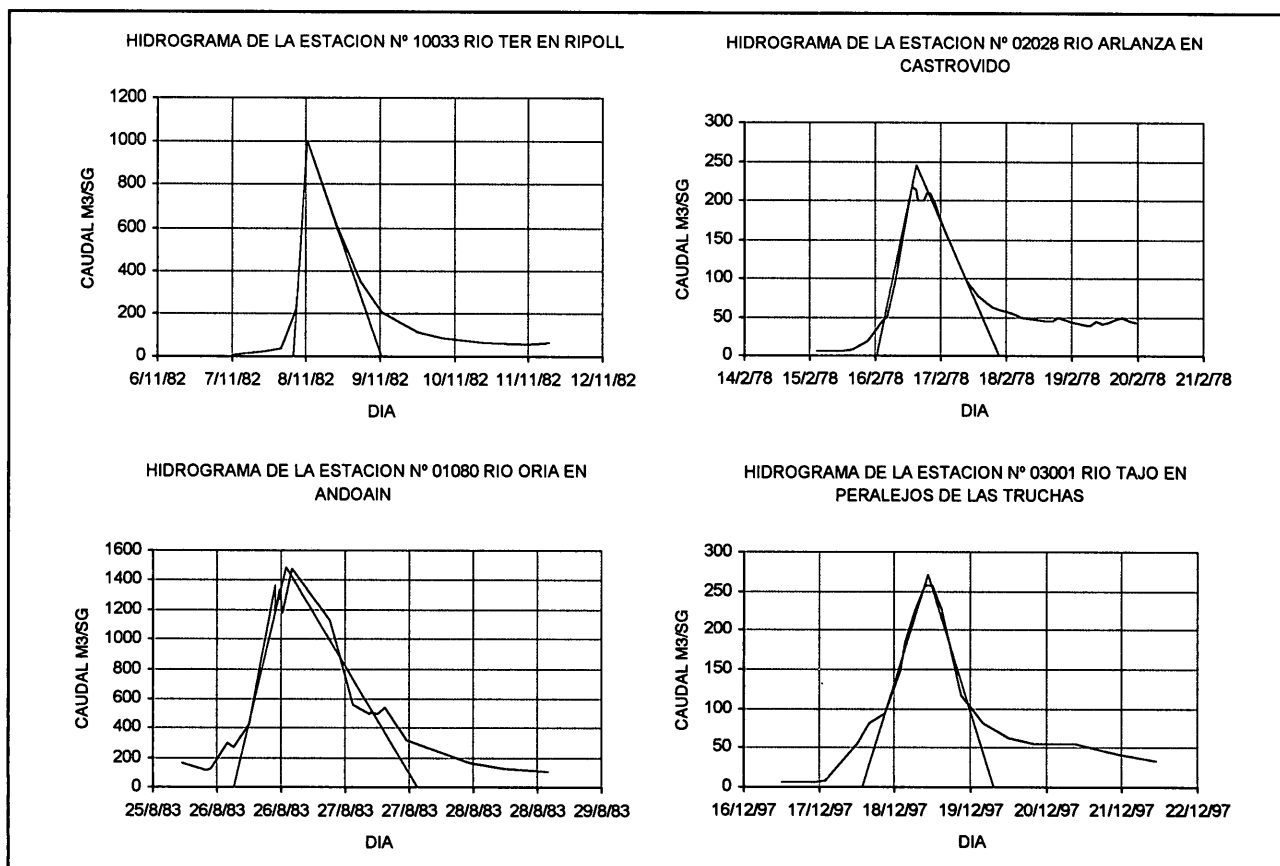


Figura 3.  
Hidrogramas  
seleccionados  
(III).

otros caudales secundarios que la acompañan, sobre todo en las fases inicial y final de la crecida, sin que su presencia resulte decisiva en los procesos de laminación. En la tabla 1 se incluyen los tiempos de base o duraciones de esos hidrogramas triangulares que pueden sustituir a los realmente registrados en una primera aproximación, a los efectos de estudios de laminación.

Se observa que esas duraciones crecen con el tamaño de la cuenca, y más precisamente con el tiempo de concentración de la misma, tal como era de esperar puesto que ese parámetro, dentro del contexto climático regional, condiciona la escala temporal de los tipos de aguacero decisivos, y además determina si las distintas fases consecutivas de un aguacero, o una sucesión de los mismos, están suficientemente próximas en el tiempo para que las aguas generadas por ellas se integren en una misma onda del hidrograma merced a la inercia de la cuenca, o bien dichas aguas se repartan en un tren de ondas con escaso solape entre ellas.

En la figura 5 se representan las duraciones  $T_b$  o tiempos de base de la onda principal de los hidrogramas seleccionados frente a los valores  $T_c$  del tiempo de concentración de la cuenca correspondiente (véase tabla 1) estimado por la fórmula de la Instrucción de Carreteras 5.2-IC "Drenaje Superficial".

$$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{j^{1/4}} \right)^{0,76}$$

siendo:

$$\begin{aligned} T_c \text{ (h)} &= \text{tiempo de concentración} \\ L \text{ (km)} &= \text{longitud del curso principal} \\ J &= \text{pendiente del curso principal} \end{aligned}$$

Se puede observar que los puntos, numerados en orden creciente con el tiempo de concentración, tal como aparecen en gráficos y tablas, se distribuyen razonablemente en torno a la ley

$$\frac{T_b}{T_c} = 3$$

Tal como se puede comprobar en el mapa de la figura 6, las cuencas correspondientes a los hidrogramas presentados se encuentran todas ellas en la mitad Nor-Occidental de la España Peninsular. En la otra mitad Sur-Oriental se ha constatado que las duraciones de los hidrogramas son menores y obedecen a otra ley más acorde con las características climáticas de esa región, que no se ha analizado en este estudio.

La síntesis de este apartado esboza una nueva línea metodológica para abordar el diseño de los hidrogramas de cálculo mediante leyes regionales que definen su duración en función del tiempo de concentración de la cuenca.

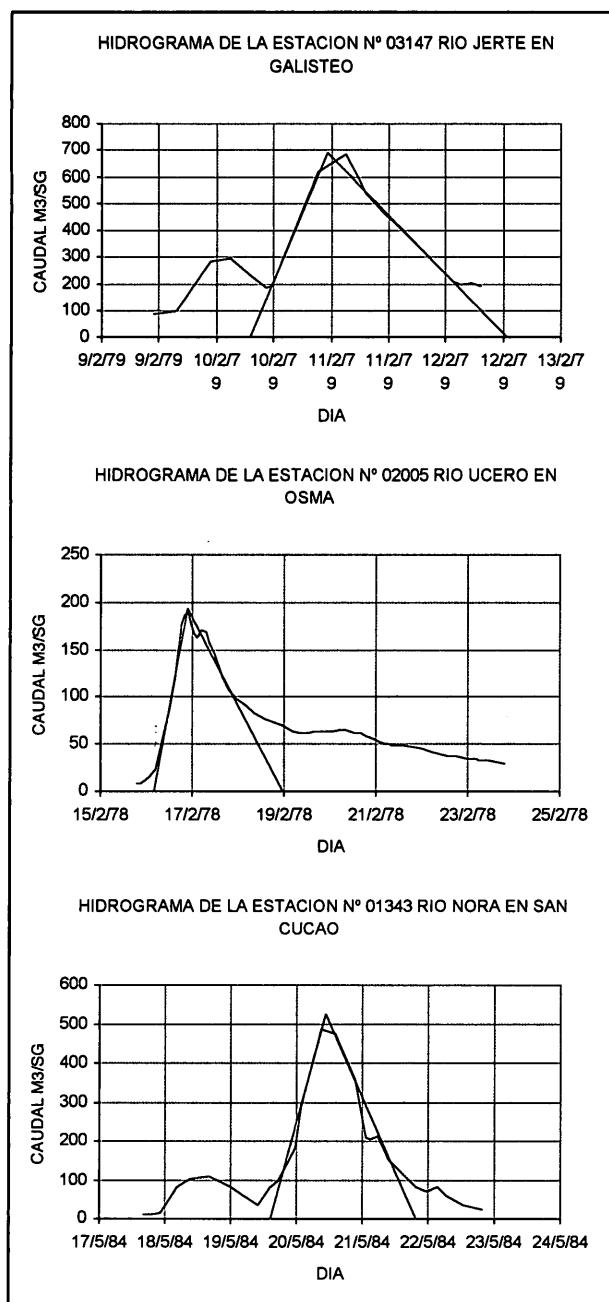
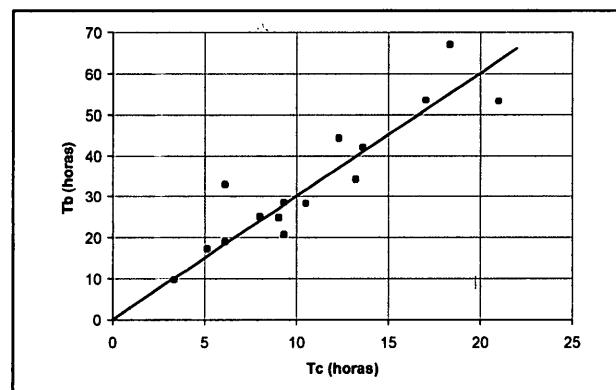


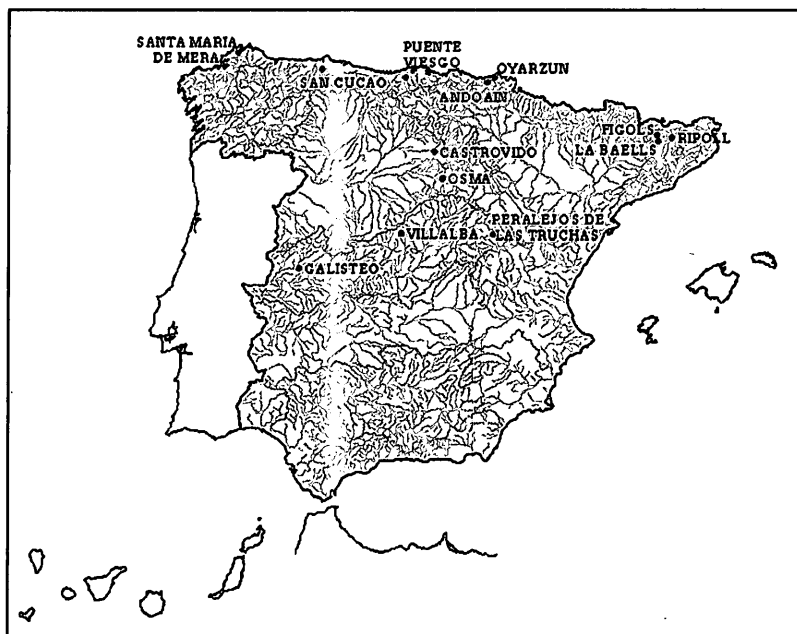
Figura 4. Hidrogramas seleccionados (IV). A la derecha, figura 5. Relación entre tiempo de concentración (Tc) y duración (Tb).



resultan de difícil aplicación con la información actual al alcance de la mayoría de los técnicos. A modo de ejemplo puede citarse la publicación del Natural Environment Research Council (1999) y el artículo de Levy y otros (1999) referenciados en la bibliografía del presente texto.

El análisis de idoneidad se va a limitar en el presente artículo a una de las prácticas de mas extendido uso en la actualidad, cual es aquella que deduce simultáneamente el caudal punta y el hidrograma de un determinado período de retorno mediante el método del Hidrograma Unitario aplicado a un pluviograma de diseño de duración 24 horas, donde un porcentaje muy alto de lluvia total se concentra en las horas centrales del intervalo y evoluciona hacia los extremos del mismo conforme aconsejan las leyes de Intensidad-Duración-Frecuencia de la cuenca. A partir de ese pluviograma se deduce previamente su componente de escorrentía o pluviograma neto, de acuerdo con una ley de infiltración como por ejemplo puede ser la de Numero de Curva del Soil Conservation Service.

Figura 6. Situación de los puntos de registro.



**ALERTA SOBRE CIERTOS HABITOS DE CALCULO**

Al disponer ahora de una cierta información sobre registros de hidrogramas de la que antes se carecía, cabe preguntarse si esos datos empíricos validan las prácticas habituales en el diseño de las crecidas de cálculo, o por el contrario las contradicen y aconsejan su revisión.

Lo primero que conviene aclarar es que en estas materias no existe un cuerpo serio de doctrina con aceptación general, y muchas de las recomendaciones al respecto que se encuentran en la literatura internacional especializada adolecen de imprecisión y

TABLA 1. DATOS RELATIVOS A LOS HIDROGRAMAS PRESENTADOS

Nº	Río y lugar del registro	Cuenca		Hidrograma		
		Area A (Km <sup>2</sup> )	Tiempo Concentración T <sub>c</sub> (h)	Fecha	Duración onda T <sub>b</sub> (h)	Caudal punta ¿Máximos registros?
1	Oyarzun en Oyarzun	38	3,3	Agosto 1983	9,7	Si
2	Llobregat en Figols	333	5,1	Noviembre 1982	17,5	Si
3	Guadarrama en Villalba	234	6,1	Febrero 1966	19,0	Si - 2º
4	Guadarrama en Villalba	234	6,1	Enero 1996	33,0	Si - 1º
5	Mera en Santa María	102	8,0	Diciembre 1980	25,2	Si
6	Llobregat en La Baells	505	9,0	Noviembre 1982	25,0	Si
7	Pas en Puente Viesgo	357	9,3	Diciembre 1980	28,6	Si - 2º
8	Pas en Puente Viesgo	357	9,3	Diciembre 1983	20,9	Si - 1º
9	Ter en Ripoll	738	10,5	Noviembre 1982	28,5	Si
10	Arlanza en Castrovido	349	12,3	Febrero 1978	44,3	No
11	Oria en Andoain	755	13,2	Agosto 1983	34,3	Si
12	Tajo en Peralejos	410	13,6	Diciembre 1997	42,0	No
13	Jerte en Galisteo	631	17,0	Febrero 1979	53,7	Si
14	Ucero en Osma	900	18,3	Febrero 1978	67,1	Si
15	Nora en S. Cucao	314	21,0	Mayo 1984	53,3	No

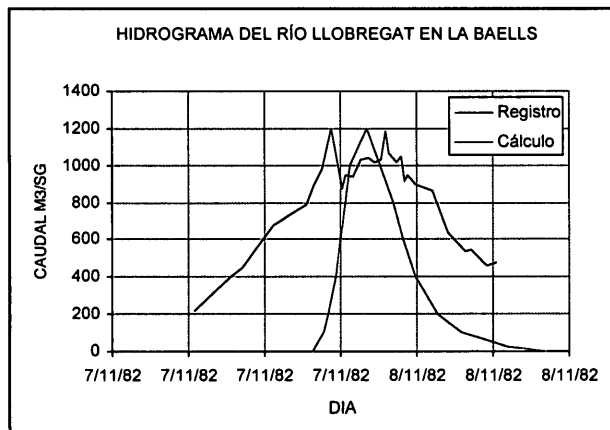


Figura 7. Contraste entre hidrogramas de registro y cálculo.

análogos a los de cálculo pero con mayor volumen y duración. La infravaloración de los cálculos es tanto más acusada cuanto mayor es el tiempo de concentración de la cuenca.

Como ejemplo se presenta en la figura 6 el contraste entre el hidrograma registrado en la Baells (año 1982) y el correspondiente a los resultados del cálculo estadístico para el mismo caudal punta.

## RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente artículo se presenta una selección de hidrogramas registrados durante el paso de crecidas que pueden calificarse de extraordinarias tanto por su caudal punta como por su volumen. Corresponden a cuencas de distintos tamaños situadas en la mitad NorOccidental de la España Peninsular

En ellas se pueden observar unas duraciones y volúmenes de crecida sorprendentes por ser significativamente superiores a los habituales en los hidrogramas de proyecto correspondientes a cuencas de análogo tamaño.

Por ello, a la vez que se facilita dicha información, se invita a los técnicos a reflexionar sobre la idoneidad de los métodos utilizados en el diseño de hidrogramas, y a revisar en su caso los efectos laminadores de los embalses estimados de acuerdo con ellos.

Se esboza una nueva línea metodológica para abordar el diseño de los hidrogramas de cálculo mediante leyes regionales que definen su duración en función del tiempo de concentración de la cuenca. ■

No se cuestiona la validez del método del Hidrograma Unitario ni de las leyes de escorrentía como las del Soil Conservation Service, sino su aplicación concreta a los fines de deducir un hidrograma de cálculo con un tipo de pluviograma y un calibrado de los parámetros de escorrentía concebidos únicamente para la obtención de la correspondiente punta de caudal, sin buscar la representatividad de los volúmenes y duraciones de crecida resultantes. No debe extrañar que, tal como muestra el contraste de los registros, esa práctica de diseño en cuencas de una cierta entidad (tiempo de concentración superior a 2 h.) subestime la envergadura de los hidrogramas y consecuentemente sobreestime el efecto laminador de los embalses calculado con ellos, pues en la realidad muchas de las crecidas asociadas a los valores extremos de caudal son generadas por sucesos compuestos por una sucesión de aguaceros con mayor duración y lluvia total que la diaria y tienen lugar en condiciones más desfavorables de humedad inicial del suelo que las hipotéticas de cálculo, aunque sus intensidades de corta duración sean menos severas y concentradas. En esas condiciones se generan unas crecidas con caudales punta

## BIBLIOGRAFÍA

- Levy B. and Mc. Cuen R. (1999) - Journal of Hydrologic Engineering July 1999.
- Llacer J (1988) - Seizième Congrès de Grandes Barrages Q.63R.66.
- Natural Environment Research Council (1999) - "Flood Estimation Handbook".