

## 6. EMPLEO DE LOS METODOS HIDROMETEOROLOGICOS EN LA OBTENCION DE LA CRECIDA DE DISEÑO

### 6.1. Introducción

El empleo de los métodos hidrometeorológicos de simulación hidrológica expuestos en los capítulos 3, 4 y 5 requiere dos fases claramente diferenciadas: la estimación de los parámetros hidrológicos y la simulación con unas determinadas lluvias para la obtención de las avenidas de diseño. En este capítulo se indicarán algunas particularidades de ambas fases desglosando a su vez la segunda en dos tipos básicos de avenida de diseño: con un determinado período de retorno y la avenida máxima probable (PMF).

### 6.2. Estimación de parámetros

La aplicación de las anteriores metodologías requiere estimar el valor de los parámetros que intervienen en la formulación correspondiente. En primer lugar conviene resaltar la existencia de dos tipos de parámetros: aque-

llos que se admiten sensiblemente constantes en las distintas crecidas y los que por contra sufren importantes variaciones de unas a otras. Estos últimos son principalmente los relacionados con el cálculo de la lluvia neta en los que la humedad previa del complejo suelo-vegetación juega un papel básico.

El resto de parámetros, si bien pueden sufrir variaciones en las distintas avenidas, sobre todo los relacionados con el cálculo de la propagación de hidrogramas en cauce, se mantienen sensiblemente constantes.

En la Tabla 6.1 se resumen los parámetros de cálculo de lluvia neta en los métodos expuestos, indicando los que pueden considerarse fijos y los que dependen de la humedad previa.

Si bien los parámetros denominados fijos pueden obtenerse por calibración en el caso de disponer de datos de volúmenes de lluvia y de escorrentía en distintas crecidas, el resto sólo podrán obtenerse asociados a una determinada humedad condicionada por las lluvias precedentes. En ausencia de datos, la estimación debe realizarse mediante la extrapolación de resultados obtenidos en cuencas análogas o

Tabla 6.1.  
*Parámetros lluvia neta: dependencia de la humedad*

Método	Parámetros fijos	Parámetros dependientes de la humedad
HORTON	$f_0 f_c$	K
HOLTAN	$K_a A b$	$V_p$
S.C.S.	—	$P_0$

mediante relaciones empíricas como las mostradas en las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3.

El resto de parámetros están relacionados con la definición del hidrograma unitario o con el cálculo de la propagación de hidrogramas en la red fluvial.

El hidrograma unitario puede obtenerse directamente, apartado 3.3.4.,

pero la ausencia de datos conduce habitualmente al empleo de hidrogramas sintéticos de pocos parámetros que pueden ser calibrados con datos de dos o tres crecidas o bien estimados a partir de fórmulas empíricas. En la Tabla 6.2 se resumen los parámetros que permiten definir estos hidrogramas y las fórmulas recomendadas para su estimación en el caso de no poderse calibrar con avenidas reales.

Tabla 6.2.  
Parámetros hidrogramas unitarios sintéticos:

Método	Parámetro	Fórmulas
S.C.S.	$T_{dp}$	(3.29), (3.37)
Triangular Témez	$T_c$	(3.37)
Clark	$T_v$	(3.51), (3.50), (3.37)
	$k$	

La estimación de los parámetros que describen la propagación de los hidrogramas en la red puede llevarse a cabo con los métodos indicados en el capítulo 5, a partir de datos sobre la geometría del cauce o datos de hidrogramas observados. En la práctica totalidad de los casos, es preciso estimar el tiempo de viaje del hidrograma de crecida a partir de la celeridad de onda.

Esta celeridad de onda, en ausencia de datos, suele asumirse constante y estimarse con dos tipos de técnicas simplificadas:

- aplicación de la fórmula de Manning con una sección, pendiente y rugosidad aproximadas y empleo de la expresión (5.19)
- aplicación de fórmulas empíricas del tiempo de concentración, como la expresión (3.37), y obtención del tiempo de viaje en el tramo por resta de los valores obtenidos en los extremos de dicho tramo, aplicando previamente la relación (3.51) que relaciona  $T_c$  y  $T_v$ .

Estos métodos simplificados sólo deben emplearse cuando la incidencia de la propagación de los hidrogramas en el cauce no sea sustancial en el resultado final y en cualquier caso, resulta conveniente un análisis adicional de sensibilidad de los resultados ante estos parámetros.

### 6.3. Obtención de crecidas con determinado período de retorno

La obtención por métodos estadísticos de leyes de frecuencia de los diversos parámetros que definen una crecida: caudal máximo, volumen total, tiempo de base, etc... requieren la existencia del orden de 20 - 25 años de registros foronómicos referidos a la variable en estudio. En España, la relativa escasez de estaciones con registros continuos y series largas, dificulta el análisis de los hidrogramas de avenidas y por otra parte la escasa accesibilidad de los limnigramas hace casi imposible un estudio sistemático de parámetros distintos al caudal punta.

Esta estimación deja en un segundo plano las dificultades metodológicas que conlleva el análisis de unos parámetros que de hecho no son independientes entre sí, y que no van a ser tratadas en este trabajo.

Por todo ello, son más empleados los métodos hidrometeorológicos que pueden aplicarse en cuencas sin datos foronómicos o que permiten aprovechar más eficientemente series cortas de registros.

Los dos enfoques más habituales, aquellos que utilizan datos de tormentas históricas y los que trabajan con tormentas sintéticas, van a desarrollarse brevemente a continuación.

### 6.3.1. Empleo de tormentas históricas

La existencia de un modelo hidrometeorológico con parámetros calibrados a partir de los datos existentes, o estimados a partir de las características de la cuenca, permite simular la respuesta de dicha cuenca ante las tormentas históricas registradas. Esto posibilita la reproducción de las crecidas principales de la cuenca que pueden ser utilizadas para su posterior análisis estadístico.

Este mismo método puede emplearse para simular una crecida extraordinaria, de la que sólo se dispone de datos pluviométricos, e incorporar estos resultados de forma complementaria a un análisis estadístico convencional de los caudales registrados en una determinada estación foronómica.

En el caso de realizar un análisis estadístico con series de máximos anuales, sólo sería necesario obtener la mayor crecida anual. No obstante, si no se dispone de referencias de caudales, deberán analizarse las dos o tres mayores tormentas anuales pues no se conoce a priori que combinación de estado de humedad, cantidad total de lluvia y distribución temporal de la

misma fue pésima de cara a la escorrentía.

Este proceso requiere la descripción de numerosas tormentas históricas, en cuanto a su distribución espacial y temporal y por tanto está condicionado a la existencia de un importante volumen de datos pluviográficos raramente existentes, lo que limita en la práctica su aplicabilidad.

Otra dificultad adicional es la necesidad de estimar las condiciones previas de humedad en el complejo suelo-vegetación antes de cada una de las tormentas estudiadas y su influencia en los parámetros utilizados en la obtención de la lluvia neta. Para ello, deben analizarse las lluvias registradas en los días anteriores a la tormenta. Este factor debe ser tenido en cuenta a la hora de elegir uno u otro método de cálculo de la lluvia neta. Por ejemplo, el método del S.C.S. (apartado 3.2.4) proporciona unos criterios aproximados para transformar los parámetros en función de las lluvias precedentes (Tablas 3.2 y 3.3), en cambio el modelo de Horton (apartado 3.2.1) requiere datos para obtener las relaciones entre el parámetro  $K$  y la humedad del suelo que deberá asimismo ser estimada. En el caso del método de Holtan (apartado 3.2.2.) puesto que maneja parámetros independiente de la humedad, sólo se requiere simular la evolución del volumen de poros los días anteriores a la tormenta a estudiar. Esta simulación, no obstante, no es sencilla puesto que precisa un valor inicial y unos datos de lluvia previa con una adecuada escala temporal de discretización.

### 6.3.2. Empleo de tormentas sintéticas

El elevado volumen de datos requeridos por el método anterior hace que sea más habitual el empleo de tormentas sintéticas a las que se asigna un determinado período de retorno según

se desarrolló en el capítulo 2. En estos métodos es habitual asumir que el período de retorno del hidrograma generado por el modelo precipitación-escurrimiento es el mismo que el de la tormenta sintética utilizada como acción sobre la cuenca. En ausencia de otros datos, esta puede ser la única alternativa posible, pero conviene comprobar que las condiciones antecedentes de humedad supuestas y el conjunto de hipótesis admitidas para la obtención de las tormentas sintéticas conduce a resultados adecuados.

En el proceso seguido para la determinación de las tormentas sintéticas y la generación de sus correspondientes hidrogramas se pueden considerar cuatro variables principales, que en cierta medida son los parámetros que definen el funcionamiento de la ley de transferencia de la tormenta de período de retorno T1 al hidrograma de período de retorno T2:

- cantidad de lluvia
- duración de la tormenta

- distribución temporal de la tormenta
- humedad del suelo

En el trabajo de NERC (1975) se realiza un análisis de sensibilidad de la influencia de las cuatro variables y se comprueba que la cantidad de lluvia y la humedad del suelo con su incidencia directa en los parámetros de pérdidas son los factores predominantes y que cualquiera de las dos puede fijarse utilizando la otra como variable a calibrar. Este hecho marca las dos posibilidades habituales para conseguir que la ley de frecuencia (normalmente de los caudales máximos) observada, se ajuste a la calculada:

- modificar la frecuencia asociada a cada una de las tormentas sintéticas
- modificar los parámetros de pérdidas y en definitiva la humedad asociada a cada frecuencia.

El primer método es el utilizado en NERC (1975) en el que fijando los parámetros de pérdidas de una forma específica se modifican los períodos de retorno a utilizar según la Figura 6.1.

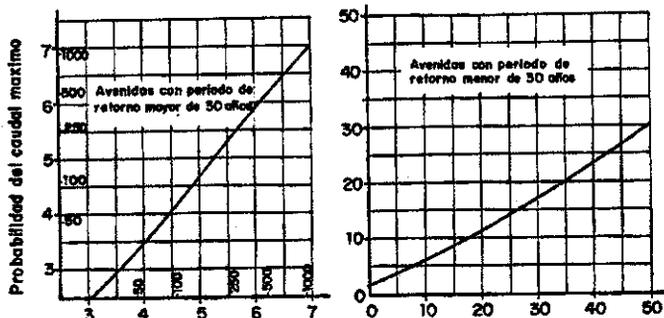


Fig. 6.1.—Ajuste de la frecuencia asociada a las lluvias. Nerc (1975)

La segunda posibilidad es la seleccionada por Témez (1990), que aplicando el método racional expuesto en el capítulo 4 a diversas estaciones foronómicas españolas obtiene el valor del parámetro de lluvia neta  $P_0$  que conduce a un buen acuerdo entre las

leyes de frecuencia de caudales máximos observada y calculada por métodos hidrometeorológicos (Figura 6.2). En este trabajo se indica un adecuado ajuste en los resultados si el valor de  $P_0$  propuesto por el S.C.S. para condiciones medias de humedad es modifi-

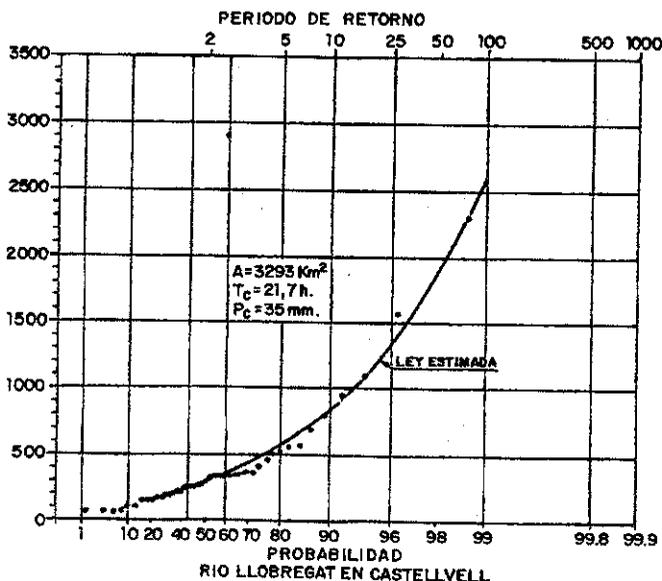


Fig. 6.2.—Ajuste de los parámetros de pérdidas. Temez (1991)

cado para tener en cuenta la humedad inicial esperable en la zona en la época en que habitualmente se presentan las crecidas. En este sentido, la modificación asumida, consistente en un factor multiplicativo del parámetro  $P_0$  (que varía entre 1 en el área húmeda del Norte de España y del orden de 2 en la zona del Centro y del Mediterráneo Septentrional) es coherente con la definición y relaciones existentes entre las condiciones de humedad del S.C.S.: I y II definidas en el apartado 3.2.4.

#### 6.4. Obtención de la avenida máxima probable (PMF)

La aplicación de la simulación hidrológica para la obtención de la avenida máxima probable es metodológicamente más simple que la evaluación de la crecida de un determinado período de retorno puesto que no hay que

llevar a cabo ningún contraste adicional con registros foronómicos.

El proceso de cálculo consiste simplemente en obtener el hidrograma de la cuenca ante la acción de la tormenta máxima probable tal y como se definió en el apartado 2.3. La única particularidad es que los parámetros hidrológicos empleados en la simulación deben responder a valores pésimos y no a valores medios. Esto es especialmente importante en los parámetros de cálculo de lluvia neta, en los que debe asumirse un elevado grado de humedad previo para conseguir resultados adecuadamente conservadores. De forma similar, en el resto de parámetros deben buscarse, con adecuado sentido hidrológico, unos valores razonablemente del lado de la seguridad especialmente en cuanto a la definición de los tiempos característicos del hidrograma unitario y de la celeridad de onda en la propagación en la red fluvial.