

7. ANÁLISIS DEL CAUDAL DOMINANTE

En este apartado se presentan los análisis para proponer un valor del caudal dominante. Estos análisis son de tres tipos: hidrológicos, es decir basados en el régimen hidrológico normal y de avenidas del río Llobregat, hidráulicos, es decir basados en la sección del cauce principal del río para aplicar el concepto de cauce lleno y sedimentológicos. El uso de varios métodos basados en supuestos distintos, nos debe llevar a una conclusión más contrastada, de ahí que se haya hecho este análisis según tres métodos diferentes.

7.1 Método hidrológico

Los análisis hidrológicos basados en el régimen hidrológico de avenidas consisten simplemente en el criterio de atribuir al caudal dominante un periodo de retorno (T) comprendido entre 1.5 y 7 años para el caso de una hidrología irregular, como es el caso de la zona (a más irregularidad en la hidrología más alto es el periodo). El trabajo [4] puede considerarse el más completo y afinado en cuanto a las leyes de frecuencia de los caudales máximos del río Llobregat, ya que, además de usar una serie de 39 valores de caudales instantáneos máximos anuales (desde 1955-56 a 1993-94) en la estación de Martorell, incorpora al cálculo datos históricos. La conclusión, en lo que se refiere a los bajos periodos de retorno entre 1.5 y 7 años, es $Q_{T=2} = 329 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{T=5} = 685 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{T=10} = 1025 \text{ m}^3/\text{s}$.

Por otro lado, el análisis hidrológico basado en el régimen hidrológico normal consiste en el criterio de que el caudal dominante es aproximadamente el caudal con persistencia de 1 o 2 días en la curva de caudales clasificados (o de frecuencia de caudales) del río. Este criterio se ha desarrollado usando los datos de la estación de aforos de Martorell en un periodo de 52 años (desde 1945-46 hasta 1997-98 ambos inclusive, pero falta el año hidrológico 1970-71), facilitados por INCLAM. Se trata de datos de caudales medios diarios (un valor por día).

Aunque nuestro objetivo no es modificar las cifras del estudio [4] en cuanto al régimen hidrológico de crecidas, vale la pena señalar los resultados de aplicar algunas leyes de frecuencia sencillas a los datos máximos anuales de los caudales medios diarios de estos 52 años. Una distribución de Gauss no nos interesa en este estudio, dado que no es válida para datos extraordinarios. Si se usa el método de Weibull (con el que el periodo de retorno es simplemente $(n+1)/m$ siendo m la posición en la serie y $n = 52$ datos) resulta $Q_{T=2} = 185 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{T=5} = 320 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{T=7} = 350 \text{ m}^3/\text{s}$. Si se usa el método de Gumbel, resulta $Q_{T=2} = 197 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{T=5} = 361 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_{T=7} = 415 \text{ m}^3/\text{s}$, valores menores que los del estudio [4] consignados en el párrafo anterior, ya que allí se usan leyes probabilísticas mejores y datos históricos.

Por otro lado, en los datos de cada uno de estos 52 años se han seleccionado los 4 valores mayores: Q_1 , Q_2 , Q_3 , Q_4 , cuyo promedio en los 52 años resulta $Q_1 = 224 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2 = 172 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_3 = 143 \text{ m}^3/\text{s}$ y $Q_4 = 120 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta es una primera versión de la curva de caudales clasificados del río. Como complemento a estos resultados, en un estudio anterior [13] y [9] se obtuvo por el mismo método un caudal $Q_1 = 270 \text{ m}^3/\text{s}$ a partir de los datos de la estación

de aforos de Sant Joan Despí. El área de la cuenca contribuyente en la estación de Martorell es de 4561 km² y en Sant Joan Despí es de 4848 km².

Una segunda versión más detallada de la curva de caudales clasificados se construye seleccionando todos los caudales mayores que una cierta cifra (se elige 100 m³/s) en el conjunto de los 52 años, clasificándolos de mayor a menor sin atender a qué posición ocupan en su propio año. Así, en un año muy húmedo se habrán dado muchos caudales elevados, que sin embargo no habrán contribuido a los caudales promedio anteriores (Q_1, Q_2, \dots), porque quedan en la posición quinta, sexta o sucesivas de su año, pese a ser mayores que los primeros o segundos de un año seco. Esta nueva curva de caudales clasificados se representa en la Fig. 7.1. La abscisa es el ordinal del dato (el número de orden) dividido por 52, para hacer equivalente este método a días enteros en el método anterior. Los valores promedio de los primeros 52 días (nuevo significado de Q_1) y sucesivos (Q_2, Q_3, \dots) son $Q_1 = 359$ m³/s, $Q_2 = 196$ m³/s, $Q_3 = 159$ m³/s y $Q_4 = 134$ m³/s. Estos valores se señalan también en la Figura 7.1 con cuadrados verdes. Un histograma con altura de columnas igual a estos cuadrados verdes daría el mismo área total que la curva de caudales clasificados. Con rombos azules se señalan los promedios del método anterior.

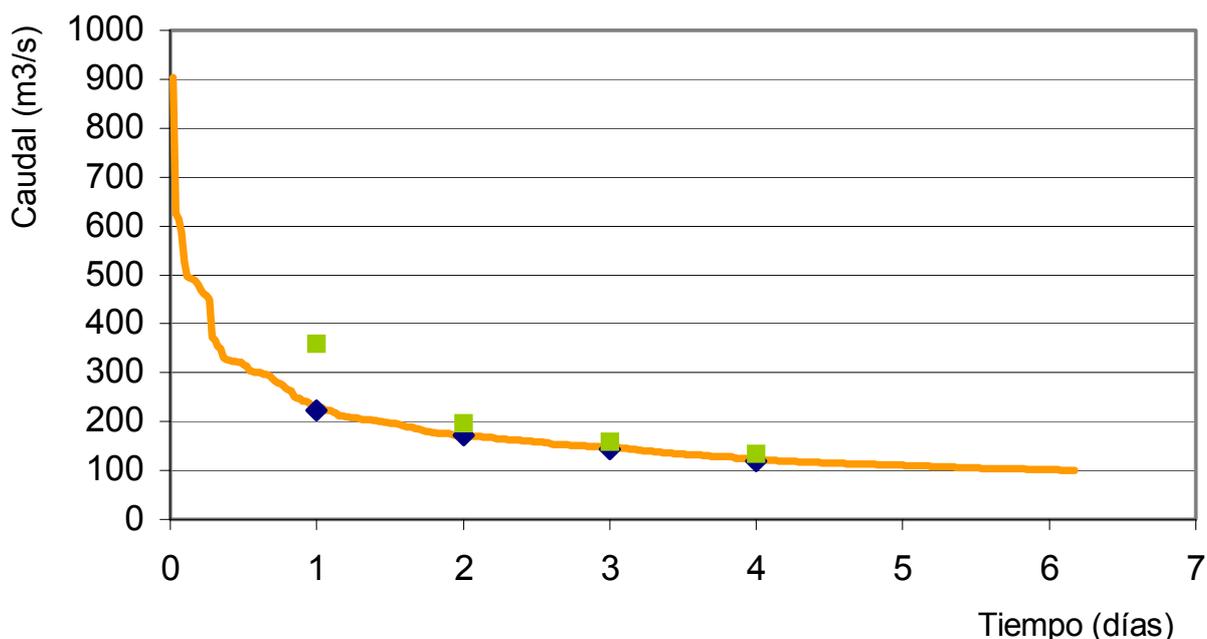


Fig. 7.1 Curva de caudales clasificados del río Llobregat en Martorell (azud de Sedó)

7.2 Método hidráulico

Para la aplicación del análisis hidráulico se toman algunas secciones características del río Llobregat, que provienen de un estudio anterior [14] en la curva del río Llobregat en Sant Boi. Este es un lugar en el que el río muestra todavía hoy una morfología natural, pues existe una gran barra de gravas y arenas en la parte interior de la curva y una zona profunda, cauce de las aguas permanentes, en la parte exterior. Las secciones en esta región, que

consideramos poco alterada, son preferibles a las secciones del río en otros lugares dentro del tramo de estudio, probablemente más alteradas.

En las secciones transversales se determina el nivel de cauce lleno (*Fig. 7.2*) estudiando dónde el cociente entre la anchura y la profundidad tiene un cambio fuerte de valor. El cauce determinado mediante esta operación geométrica se identifica con el cauce principal en sentido geomorfológico modelado por el caudal dominante. El valor de este caudal se obtiene utilizando la fórmula de Manning con un coeficiente de rugosidad de 0.030 (se justifica el uso de fórmulas de régimen uniforme en lugar de cálculos en régimen gradualmente variado dado el carácter aproximado de esta determinación). El valor medio de las tres secciones resulta [14]: 400 m³/s

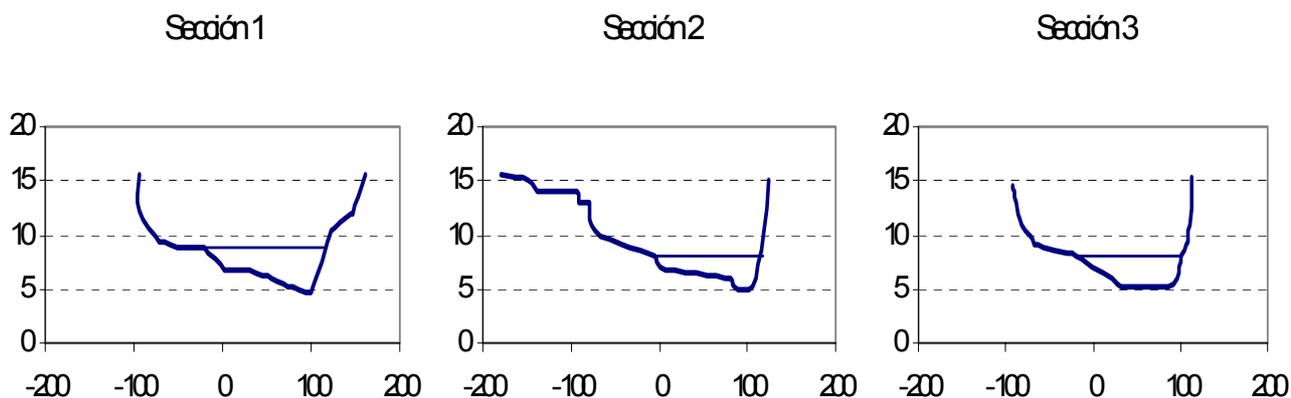


Fig. 7.2 Secciones naturales del río Llobregat en la curva de Sant Boi

7.3 Método del caudal sólido.

Este método busca sustituir la variabilidad del régimen anual de caudales por un caudal equivalente. Dado que el transporte sólido de fondo es el que realmente modela el cauce, podemos definir el caudal equivalente como aquél que manteniéndose constante durante todo el año transportaría la misma cantidad de volumen de material sólido que la que se transporta realmente. El volumen total transportado durante un año es la suma de, principalmente, dos efectos: los elevados caudales que se dan durante las avenidas a pesar de su poca duración, y los caudales medios que a pesar de no ser muy importantes tienen una larga duración.

El cálculo del caudal dominante por este método, lo haremos en el tramo 8 (ver apartado 9) dada su representatividad de la zona de estudio, antes de que hubiesen empezado las actuaciones de la autovía. Para obtener este caudal partimos de la curva de caudales (líquidos) clasificados, para los 365 días del año (*Figura 7.3*, que resulta de completar la *Figura 7.1*) (dibujada en el primer cuadrante de la *Figura 7.4*). A partir de ella calcularemos una curva de caudales sólidos clasificados, para ello utilizaremos la ecuación de transporte sólido de Meyer-Peter y Müller, de forma que obtendremos una función de los caudales sólidos unitarios y los días del año (dibujada en el segundo

cuadrante de la Figura 7.4). Para pasar del caudal unitario a caudal total necesitamos multiplicar por el ancho del cauce, la elección de este ancho debe plantearse teniendo en cuenta cuál es la zona del cauce en la que se va a producir transporte de material sólido. Teniendo en cuenta este criterio, se ha optado por tomar como

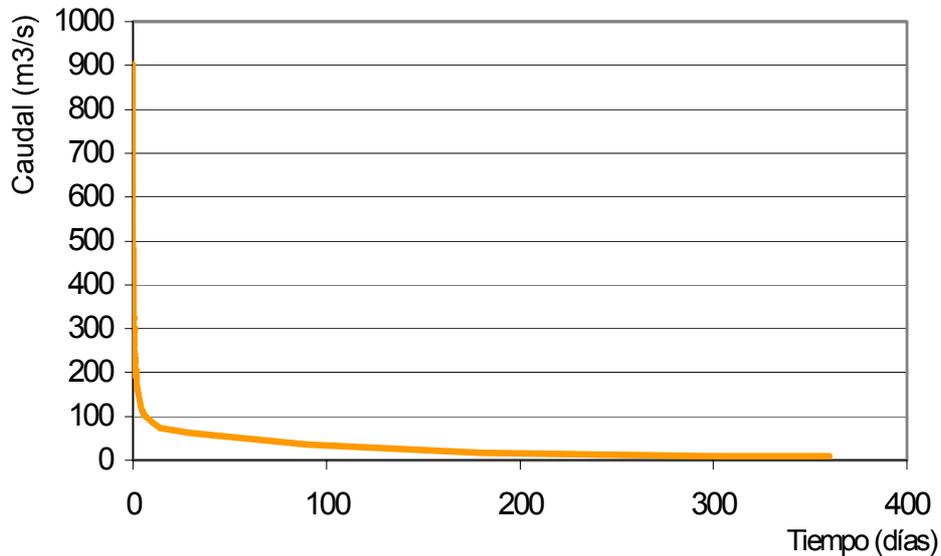


Fig. 7.3. Curva de caudales clasificados completa

ancho el correspondiente a la base del cauce, que es, aproximadamente, de 41 metros en el tramo que estamos tratando. Una vez se ha obtenido la curva de caudales sólidos clasificados, se trata de calcular cuál es el área encerrada por ésta, es decir, el volumen total de sedimento transportado (dibujada en el tercer cuadrante de la Figura 7.4)

A continuación se trata de buscar un rectángulo equivalente con la misma área calculada. Este rectángulo con ejes tiempo (días) y caudal sólido, nos dará cuál es el caudal sólido equivalente. Una vez obtenido éste, basta con hacer el proceso a la inversa: con el caudal sólido equivalente y utilizando la ecuación de Peter-Meyer y Müller obtendremos cuál es el radio hidráulico correspondiente, a partir del cual, conociendo la sección y aplicando la fórmula de Manning, podemos encontrar un caudal líquido que será el caudal dominante

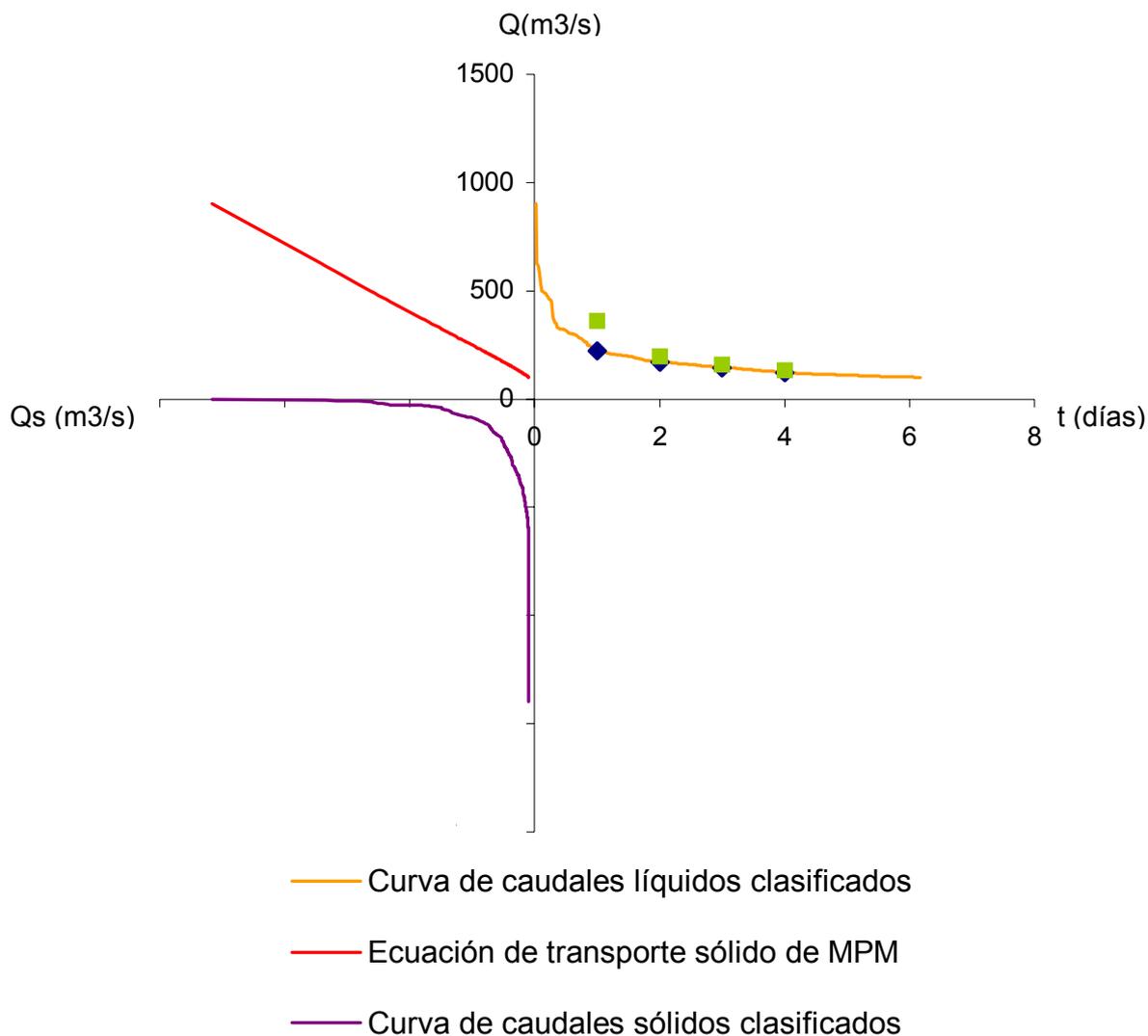


Fig 7.4 Obtención de la curva de caudales sólidos clasificados y del caudal equivalente

Tras efectuar estas operaciones obtenemos que el caudal dominante es de $101m^3/s$. Este valor es mucho más bajo que el calculado por los otros dos métodos. El resultado era esperable, ya que parece lógico pensar que este método al tener sólo en cuenta el transporte sólido, no considera el caudal líquido que se da en muchos de los días del año que no dan lugar a un transporte sólido. Así, este resultado podría parecer inútil, pero no es así, ya que el caudal dominante calculado por medio del equivalente es muy indicado para calcular el ritmo de la evolución temporal de un cambio morfológico [9].

Así, el valor de caudal dominante que adoptamos después de la aplicación de los diferentes métodos, juzgando de manera ingenieril todos los resultados de los apartados 7.1, 7.2 y 7.3, es **$360 m^3/s$** . Evidentemente, este resultado no tiene en cuenta el valor calculado mediante el método del caudal sólido equivalente, por los motivos que se han comentado anteriormente.