

Curvas de caudales clasificados

Concepto

La **Curva de Caudales Clasificados (CCC)** (en inglés *Flow Duration Curve, FDC*)¹ representa los 365 caudales del año ordenados de mayor a menor.

La curva puede representar los 365 caudales de un año hidrológico concreto, o haber sido elaborada con datos diarios de una larga serie de años.

Su utilidad es inmediata: si se está proyectando una obra que necesita un caudal mínimo, la curva indica cuántos días al año no se alcanzará ese caudal necesario.

En la figura 1 representamos los 365 caudales diarios del río Eresma en Olmedo², año 1996-97³ ordenados de mayor a menor (de 107,2 a 0,48 m³/s):

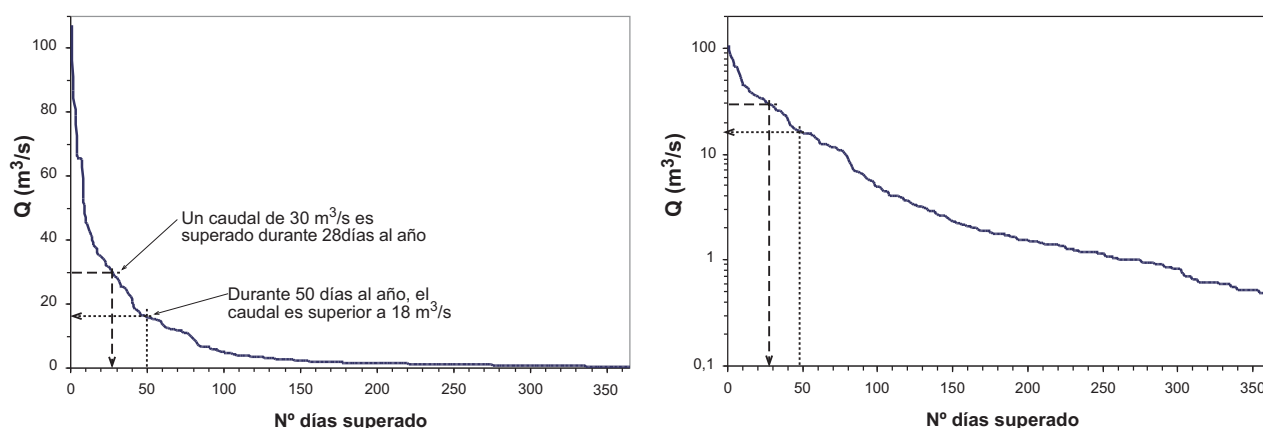


Figura 1.- Curva de Caudales Clasificados para el río Eresma en Olmedo, año 1996-97

A la izquierda ambos ejes son aritméticos, mientras que a la derecha los caudales están representados en escala logarítmica. En ambos se puede leer fácilmente qué caudal es superado durante 50 días al año (figura 1, líneas de puntos), o inversamente cuántos días al año se supera un caudal de 30 m³/s (figura 1, líneas de trazos). En el gráfico aritmético, a la izquierda, no se pueden hacer lecturas aceptables a partir de 150 días; en el gráfico semilogarítmico, a la derecha, este rango de lecturas es correcto.

Construcción de una curva de caudales clasificados para varios años

Los gráficos anteriores son representativos solamente para ese año concreto. Si pretendemos mostrar el comportamiento del río, debemos considerar los caudales diarios de varios años.

Para ello, hemos recogido caudales diarios del río Eresma en Olmedo (1978-79 a 2009-10)⁴. Sólo están completos 29 de esos 32 años, que son los que utilizaremos.

Para su realización es necesaria la Hoja de Cálculo (Figura 2). Situamos todos los datos diarios disponibles (de varios años) en una única columna, los ordenamos de mayor a menor. Añadimos una columna con el número de orden y en una tercera columna calculamos la probabilidad sobre el total de días (en nuestro ejemplo, con datos diarios de 29 años: 10591 días).

¹ Al realizar una traducción literal del inglés, también se utiliza la poco significativa denominación *Curva de duración de caudales* o la aún más abstrusa *Curva de permanencia de caudales*. En francés: *Courbe des débits classés*
² Superficie receptora: 2968 km². En cabecera existe un embalse de pequeña capacidad (6 Hm³, superficie receptora 195 km²) que no debe afectar significativamente al comportamiento natural de la cuenca

³ Se ha elegido ese año porque su caudal medio es el más próximo al caudal medio de una serie larga de años. Hemos respetado el actual criterio del Ministerio de Fomento de señalar el **año hidrológico de Octubre a Septiembre**, aunque lo lógico sería de Septiembre a Agosto, puesto que el mes más seco en España es Agosto.

⁴ <http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-datos.asp?indroca=2048>

Para calcular la probabilidad para el día n se utiliza la expresión: $(n - 0,5)/N$ [y multiplicado por 100 para expresarlo en %]. En este caso, $N=10591$.

En lugar de $(n-0,5)/N$ es frecuente la utilización de $n/(N+1)$, por ejemplo en Kannan (2011, p.22), con resultados similares.

Si utilizáramos la operación más simple: n / N , para el día más seco de los años disponibles obtendríamos una probabilidad del 100% (seguridad absoluta de que ese caudal será superado), y, en los casos en que no existan caudales nulos, es seguro que si dispusiéramos de datos de más años aparecería algún caudal diario inferior.

La representación de la curva CCC es similar a la de un año individual, exceptuando que en el eje de abcisas en lugar de figurar los 365 días del año se expresa la probabilidad⁵. El significado es el mismo: una probabilidad de 10% indica que ese caudal se superará 36 días al año. (Figura 3). Se utiliza la escala logarítmica en el eje vertical porque de otro modo la curva aparece aplastada contra ambos ejes.

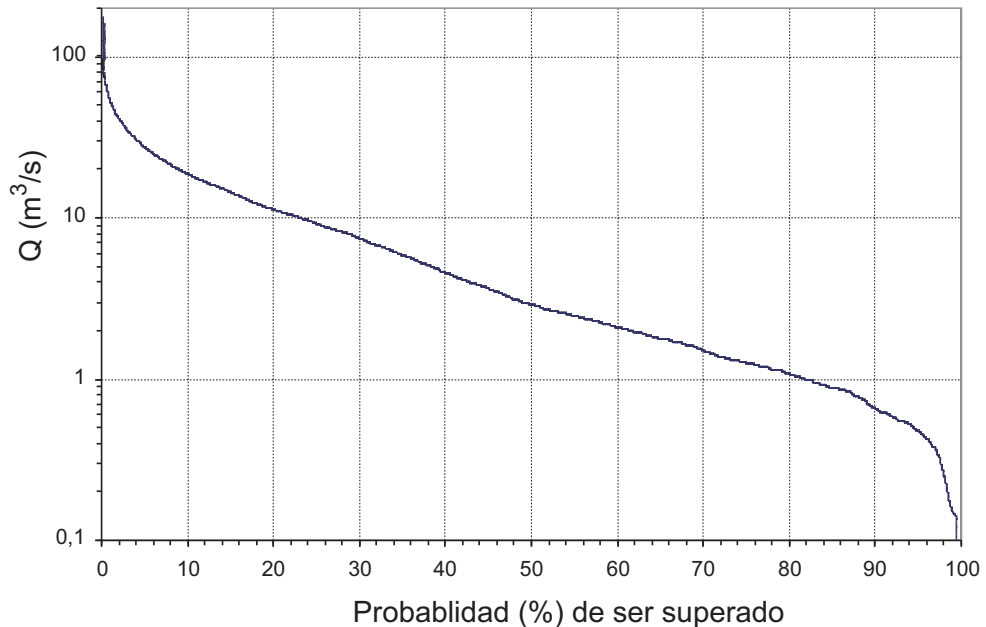
$= (2-0,5)/10591 \cdot 100$

	Q (m ³ /s)	nº orden	Prob (%) de superar
3			
4			
5	178.5	1	0.00472
6	123.9	2	0.01416
7	122.8	3	0.02360
8	114.3	4	0.03305
<hr/>			
10591	0.004	10587	99.95751
10592	0.003	10588	99.96695
10593	0.003	10589	99.97640
10594	0.001	10590	99.98584
10595	0.0010	10591	99.99528
10596			

Nº datos

Figura 2.- Datos en la Hoja de Cálculo para la realización del gráfico

Figura 3.- Curva de Caudales Clasificados para el río Eresma en Olmedo, con datos diarios de 29 años



El gráfico de la figura 3 está cortado por abajo; el eje vertical debería llegar hasta 0,001. Para simplificar ese eje se ha cortado en 0,1, quedan fuera del gráfico 50 puntos (caudales entre 0,1 y 0,001 m³/s), sólo el 0,47% de los días disponibles. En este caso no existen caudales nulos.

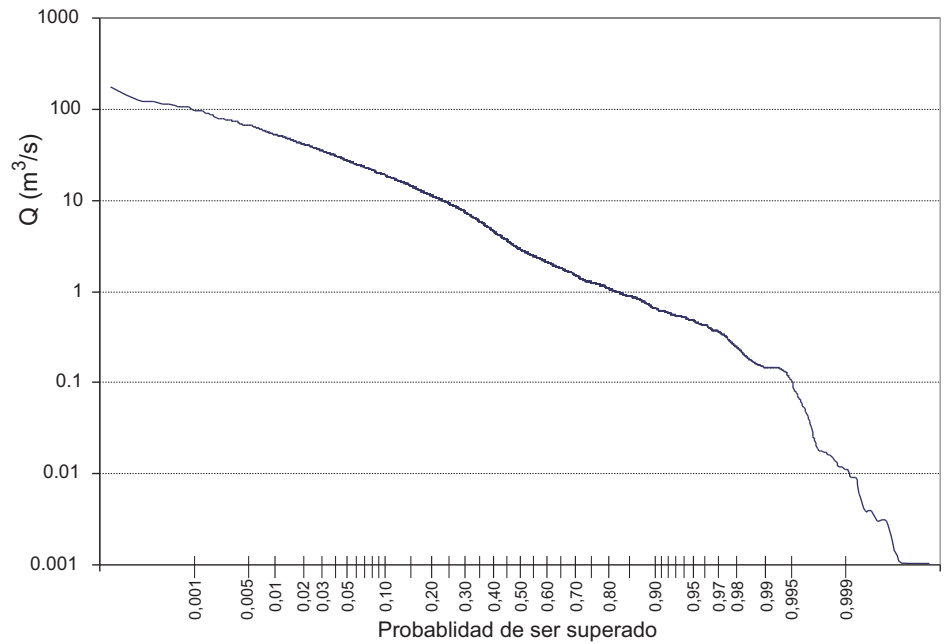
Cuando existen caudales nulos, no pueden ser representados en una escala logarítmica, no existe el logaritmo de 0. Es necesario asignarles un valor muy bajo, por ejemplo 0,0001. Posteriormente, al representar el gráfico, se corta el eje vertical para que esos datos ficticios queden fuera del gráfico.

A veces se introduce una última variación: las probabilidades del eje horizontal no se representan aritméticamente, sino mediante una escala de Gauss⁶ (ver figura 4).

⁵ Si se desea que la escala del eje horizontal sea de 0 a 365 días, el cálculo de la probabilidad será: $(n-0,5) / N \cdot 365$

⁶ Ver documento "Gráficos de probabilidad"

Figura 4.- Misma curva de la figura 3 con escala de Gauss en el eje de abcisas



Curvas de Caudales Clasificados en cuencas con datos escasos. Curvas adimensionales

En muchos casos necesitaremos una Curva de Caudales Clasificados en un punto de un cauce donde no existen suficientes medidas de caudal.

Existe una numerosa bibliografía al respecto. Por ejemplo, Mohamoud (2008) estudia la relación entre la CCC y diversos parámetros de la cuenca (geomorfológicos, uso del terreno, climáticos,...), lo que permitiría trazar la curva a partir de dichos parámetros sin disponer de datos de aforos.

Para dibujar una CCC de una cuenca sin datos de aforo a partir de otra próxima o similar en la que sí hemos podido elaborar la curva, resultan útiles las CCC adimensionales.

Para su realización, en el eje vertical no representamos los caudales sino la relación Q/Q_{medio}

En la figura 4 se presenta la misma curva de la figura 3, pero adimensional, y superpuestas las de otros dos cauces también de la cuenca del Duero⁷. Al representarlas de modo adimensional (Q/Q_{medio}) conseguimos que las curvas se puedan superponer y que podamos apreciar similitudes y diferencias.

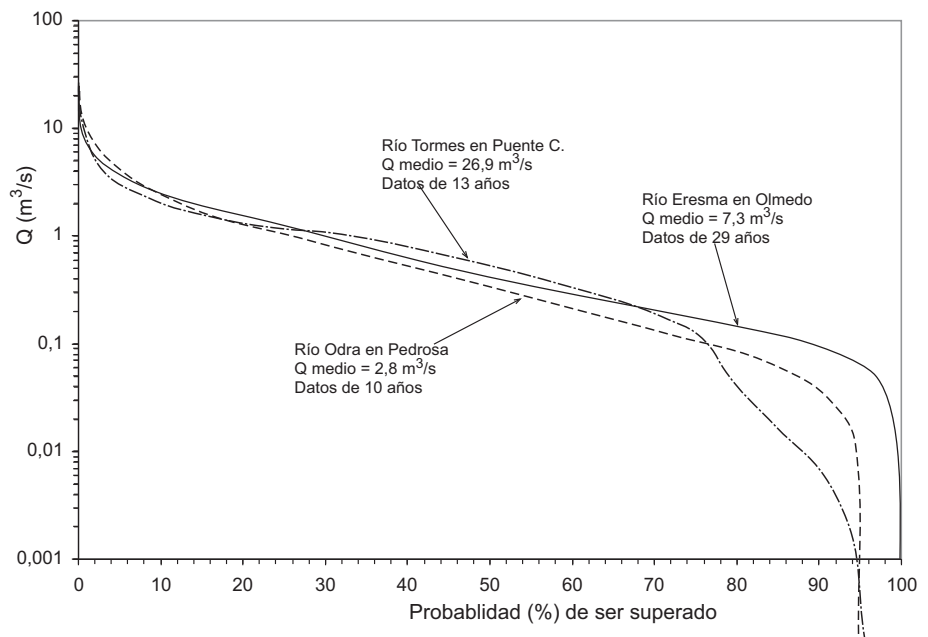


Figura 4.- Varias CCC adimensionales (una de ellas, la equivalente a la curva de la figura 3)

⁷ Las curvas que no alcanzan el 100% a la derecha del gráfico significa que hay caudales nulos

Para otra cuenca sin datos suficientes, pero que podamos suponer similar a una de éstas, podremos trazar la curva de caudales acumulados completa si disponemos al menos del caudal medio anual.

Gustard et al. (1992) a partir de numerosas cuencas del Reino Unido presentan un abanico de CCC adimensionales en función del terreno más o menos permeable (figura 5)⁸. La simple geometría de las curvas de Gustard se debe a que proceden de promediar un elevado número de curvas reales.

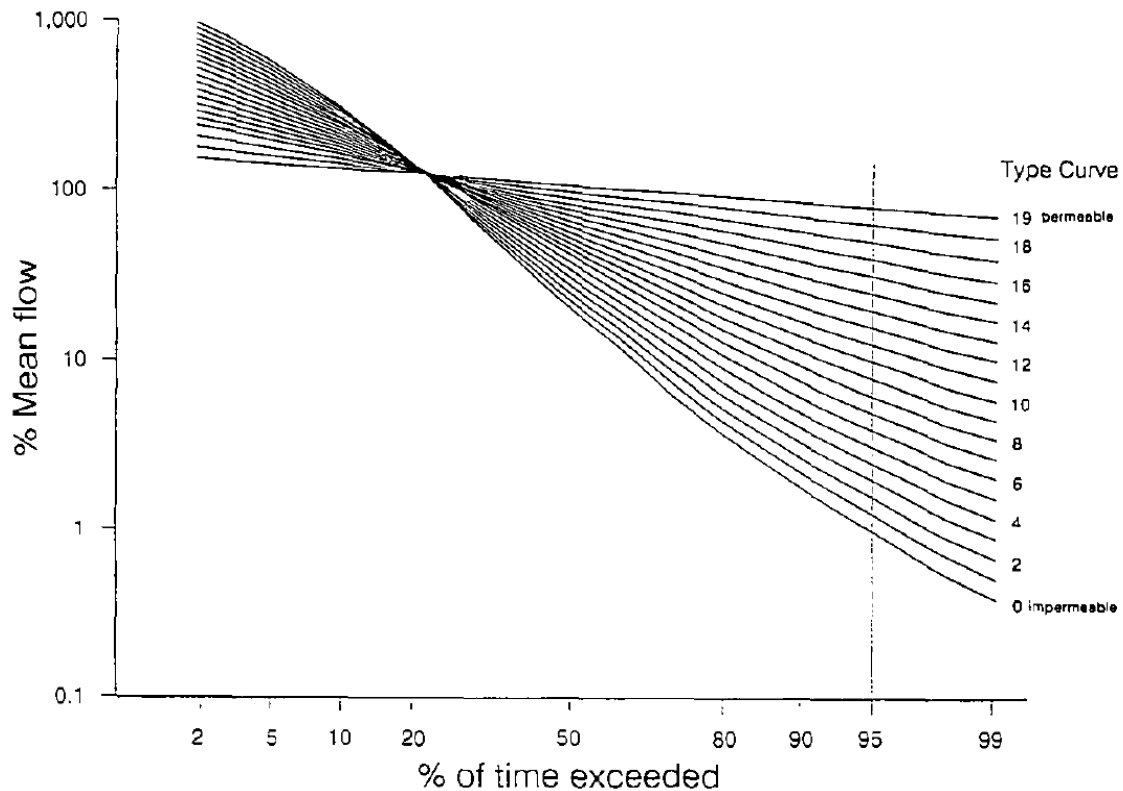


Figura 5.- Curvas de caudales clasificados adimensionales, elaboradas para el Reino Unido según la permeabilidad del terreno (Gustard, 1992, p. 61)

Bibliografía

Gustard, A.; A. Bullock y J. M. Dixon (1992).- *Low flow estimation in the United Kingdom* Institute of Hydrology, Report No. 108, 292 pp., Wallingford.

http://www.ceh.ac.uk/products/publications/documents/ih108_low_flow_estimation.pdf

Kannan, N y J. Jeong (2011).- *An Approach for Estimating Stream Health Using Flow Duration Curves and Indices of Hydrologic Alteration*. Environmental Protection Agency USA, 65 pp.

<http://www.epa.gov/region6/water/ecopro/watershd/nonpoint/flow-duration-curve-development.pdf>

Mohamoud, Y. M. (2008).- Prediction of daily flow duration curves and streamflow for ungauged catchments using regional flow duration curves. *Hydrological Sciences Journal*, **53**(4): 706-724.

⁸ Diferencias con respecto a nuestras curvas adimensionales de la figura 4: la fig. 5 presenta el eje de abscisas en escala de Gauss; y el eje de ordenadas está en %, es decir: $Q/Q_{medio} \cdot 100$ (el 100 de la fig. 5 corresponde al 1 de la fig. 4)