

# UNA FORMULA MAS PARA LA ESTIMACION DE RIADAS

Por FRANCISCO ZAPATA TEJEDOR, Ingeniero de Caminos.

*Da a conocer el autor la fórmula para previsión de riadas, que él determinó en su día y que ha sido aplicada posteriormente a otros ríos españoles. Por ello, sería de interés que su aplicación y comprobación se extendiese más para conocer los límites en que puede ser aplicable.*

Durante la ejecución del proyecto para un grupo de Aprovechamientos Hidroeléctricos en el Noroeste de España, tuvimos ocasión de determinar una fórmula para la estimación de máximas riadas, que, aplicada a otros ríos españoles de características análogas con resultados contrastados por su historial, nos permite ampliar su zona de aplicación y aconsejar su utilización en aquellos ríos enclavados en la vertiente Cantábrica y en el NO. de España, es decir, en las pluviométricamente denominadas "Regiones abundantes (tipo Cantábrico)", según clasificación del Ingeniero Profesor Sr. Becerril.

Diferentes compañeros que han utilizado dicha fórmula en la previsión de riadas de diversos proyectos, me han animado a que publique estas notas y vencer la inercia que se opone a tratar todo tema que, por su empirismo, carece del testimonio de la especulación matemática.

\* \* \*

La fijación del caudal de máxima riada es de los problemas más inciertos que se le plantean al Ingeniero cuando proyecta la capacidad de desagüe de un aliviadero o los alzados de una central hidroeléctrica. El único procedimiento racional para fijar la máxima riada es el directo: el conocimiento del historial del río en un lapso de tiempo mínimo de cincuenta años. Desgraciadamente, de la historia del río no quedan más que datos de niveles, muchos de ellos imprecisos, por ser proporcionados o señalados por los vecinos de las zonas afectadas por la crecida.

Aun cuando los datos de niveles fueran de garantía, la estimación del caudal de riada sigue siendo imprecisa. La aplicación de las fórmulas de Manning, Darcy, Ganguillet y Kutter, Forchheimer, etc., considerando el coeficiente de rugosidad, o las de Siedek, Christen, Hermanek, etc., independientes de aquél, tropiezan con las dificultades de la determinación de la pendiente y la fijación del coeficiente de rugosidad.

Siendo el perfil longitudinal de la superficie libre del agua una línea curva, se pueden deducir muy distintos valores de la pendiente, según que para su determinación se parta de puntos más o menos alejados entre sí. Dibujando a escala conveniente el perfil de la línea de agua y tomando para pendientes el coeficiente angular de la tangente a la curva en la sección considerada, la indeterminación se evita; la dificultad

estriba en que, por lo general, los datos históricos de niveles en crecidas extraordinarias — cuando las hay en un tramo de río — corresponden a secciones transversales muy distanciadas, como consecuencia de proceder de señales o testigos en poblados afectados por las avenidas.

La rugosidad de los cauces naturales es difícil de evaluar. Hemos podido apreciar en varias secciones de ríos, aforadas directamente por molinete, valores del coeficiente de la fórmula de Manning, variando de 24 a 33, tanto en una misma sección para diferentes niveles como en secciones relativamente próximas para calados de agua casi iguales. Por tanto, estas variaciones de la rugosidad, tanto en un mismo lugar del río como en todo su curso, sin poderlas expresar en una ley para ser deducida en cada caso, hace que la fijación de este coeficiente sea difícil e inseguro.

En consecuencia, aun siendo exactos los datos históricos, la fijación del caudal de riadas es siempre incierto y su estimación será consecuencia del criterio más o menos prudente del proyectista y de las características especiales que concurren en la obra.

En el proyecto de una serie de aprovechamientos hidroeléctricos en el río Sil se nos planteó el problema de evaluar, para las diversas cuencas, los caudales de avenidas extraordinarias, y recurrimos a los procedimientos clásicos de estudio: la comparación con cuencas análogas; la deducción por indicios de riadas históricas y, finalmente, por la aplicación de las fórmulas empíricas más adaptables a las características del río. En cualquiera de los tres procedimientos, el proyectista, en España, hasta que empieza a familiarizarse con el río, encuentra dificultades por la carencia casi total de datos hidrológicos. Es un hecho palmario que los Servicios de Aforos del Estado tienen una organización muy precaria y su aportación de datos es nula en muchos ríos e incompleta en aquellos en que las instalaciones de aforos y toma de datos han sido montados. Así puede observarse, incluso dentro de cuencas semejantes hidrológicamente, los diferentes coeficientes de rugosidad que se manejan, la diversidad de fórmulas empíricas para crecidas que se utilizan, la incertidumbre en la elección por cuencas del coeficiente de escorrentía medio anual, etc., todo ello dependiendo del criterio que adopte el proyectista.

La comparación con cuencas análogas permite obtener datos de interés para aplicar en el tramo de río

que se estudie, máxime cuando la comparación se establece con aquellos cursos de agua donde, por estar en explotación, aprovechamientos hidroeléctricos, los datos históricos son de más seguridad y los correspondientes a los años de explotación son prácticamente exactos.

De esta forma, partiendo de datos de crecidas extraordinarias en varios ríos de la vertiente Cantábrica y Atlántica, establecimos una serie de valores del caudal específico para diferentes superficies de cuencas e hicimos una interpolación para obtener la ley de variación, resultándonos como representación de ella la función

$$q = \frac{21}{S^{2/5}}$$

en donde:

- $q$  = caudal específico (m.<sup>3</sup>/seg./Km.<sup>2</sup>);
- $S$  = superficie de la cuenca (Km.<sup>2</sup>).

Denominando  $Q$  (m.<sup>3</sup>/seg.) el caudal de crecidas extraordinarias, se obtiene la fórmula

$$Q = 21 S^{3/5}$$

En la figura 1.<sup>a</sup> se representa la ley de variación del caudal específico en función de la superficie de cuenca, y en la figura 2.<sup>a</sup>, un gráfico para la determinación rápida de los caudales de avenidas

Como indicamos anteriormente, ante un problema

tán incierto conviene agotar todos los métodos para estimar las avenidas y comparar con los datos históricos y deducidos de cuencas análogas, los obtenidos por aplicación de fórmulas empíricas.

Las fórmulas existentes son numerosísimas y todas ellas resultantes de datos experimentales en determinados ríos de diferentes países, con gran peligro en los resultados cuando se intenta generalizarlas en otras cuencas distintas de aquellas en que se hicieron las observaciones. Por tanto, para el Ingeniero, cuando tiene que elegir entre una serie de fórmulas de un Manual, surge la incertidumbre al faltarle las características de las cuencas de aplicación de cada uno. Puede observarse en la figura 1.<sup>a</sup> las diferencias de caudales específicos que se deducen con el empleo de diferentes fórmulas y los errores en la estimación de avenidas a que conduce el empleo de una fórmula inadecuada.

Entre las fórmulas de tipo monomio, las más utilizadas en España son las del ilustre ex Profesor de Hidráulica Sr. González Quijano, y la de Valentini. Dentro de las condiciones de altitud, escorrentia, pluviometría, etc., de la clase de ríos que estamos comentando, la primera encaja para cuencas altas de cabecera y da valores muy pesimistas para superficies de cuencas que rebasan los 3.000 Km.<sup>2</sup>. Por el contrario, la fórmula de Valentini da valores muy por defecto, para las superficies de cuencas usuales en los ríos españoles. Esto justifica la importancia del valor del exponente de  $S$  (superficie de cuenca) en la fórmula monomía, y que éste, en los ríos españoles, debe estar comprendido entre  $1/2$  y  $2/3$ .

Otras fórmulas muy utilizadas son las de Creager y Fuller, habiendo comprobado que en España encaja mejor la primera, corrigiendo el coeficiente  $C$  (dependiente de las características de la cuenca). Hemos podido comprobar que la fórmula por nosotros propuesta da valores muy aproximados a la de Creager con  $C = 4.000$ , y para un lapso probable de tiempo de cien años. En caso de aplicar la fórmula de Creager, recomendamos corregir el coeficiente  $C$ , que Creager fija en 6.000 para cuencas propicias a grandes riadas, sustituyéndolo por  $C = 4.000$ , obteniéndose valores que encajan muy bien en los ríos españoles de régimen torrencial, cuyas grandes avenidas son producidas por la brusca fusión, motivada por los temporales, de las masas de nieve acumuladas en las zonas altas de cabecera.

\* \* \*

La fórmula de previsión de riadas que hemos utilizado con gran éxito, y que indicamos anteriormente, es:

$$Q = A \times S^{3/5}$$

expresando  $S$  (superficie de cuenca) en Km.<sup>2</sup>, y  $Q$  resulta en m.<sup>3</sup>/seg. El coeficiente  $A$  que conviene em-

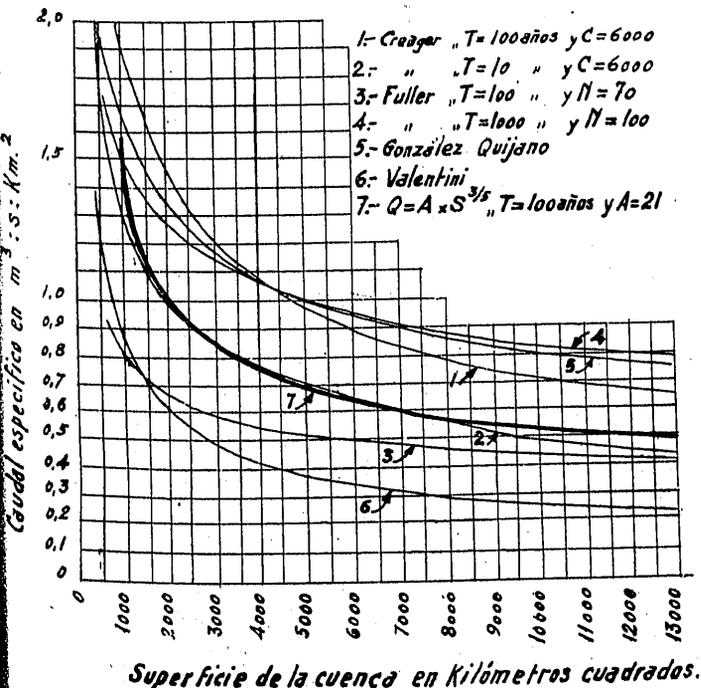


Fig. 1.<sup>a</sup>—Variaciones del caudal específico de la fórmula propuesta y de las usualmente utilizadas.

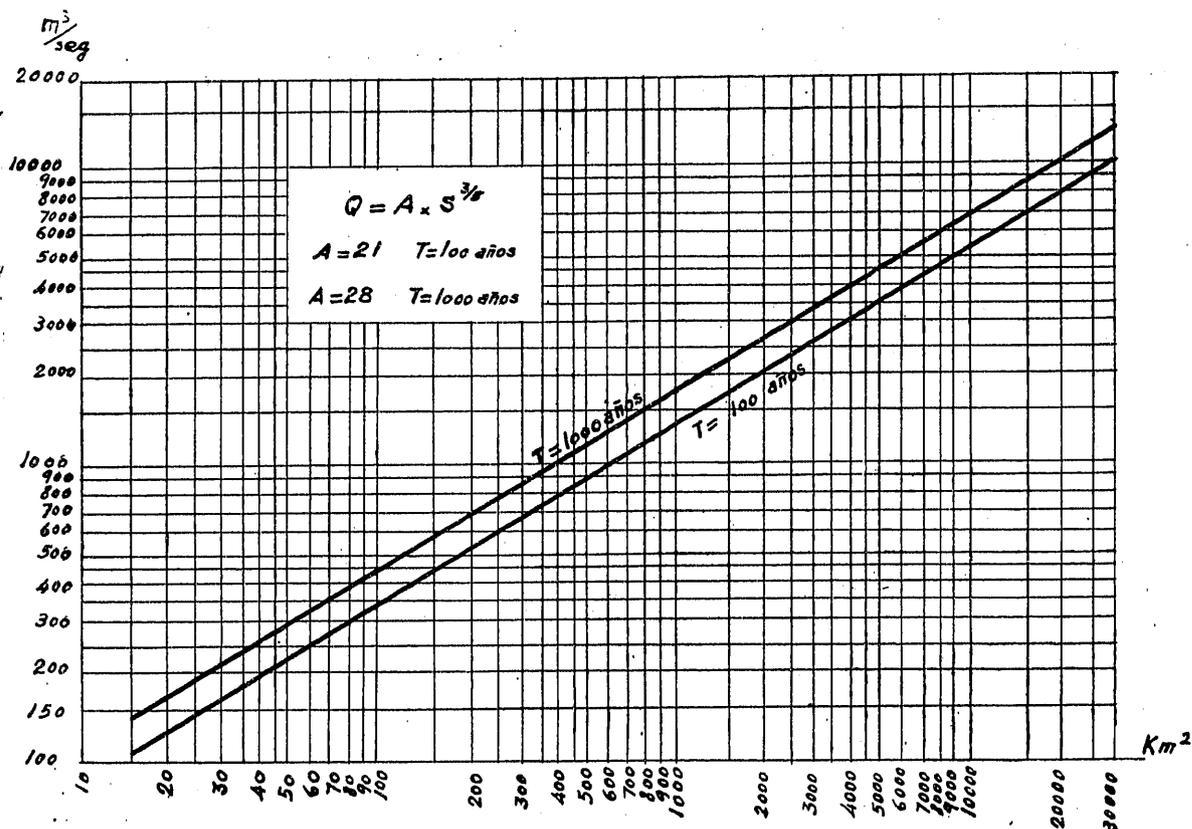


Fig. 2.ª — Gráfico para la determinación de riadas.

plear es  $A = 21$  y  $A = 28$  para las riadas probables en cien o mil años, respectivamente.

Está comprobada la fórmula en los siguientes ríos:

- 3 cuencas del río Sil;
- 1 cuenca " " Esla;
- 1 " " " Navia;
- 2 cuencas " " Nansa;
- 1 cuenca " " Tera;
- 1 " " " Narcea;
- 1 " " " Miño;
- 1 " " " Arlanza;
- 2 cuencas " " Bibey;

contrastando el valor obtenido con los resultados deducidos de los niveles conocidos en crecidas históricas.

Es aconsejable su empleo en aquellas cuencas que reúnan las siguientes características:

a) Altitudes en cabecera que sobrepasen los 1 500 metros e inferiores a 3.000 m.

b) Ríos de régimen torrencial cuya onda de avenida es producto de la fusión brusca, por temporales, de las masas de nieve existentes en la cabecera.

c) Cuencas constituidas por terrenos con elevado coeficiente de escorrentía, superior a 0,5 de media anual.

Al publicar estas breves notas, aparte de atender el ruego de algunos compañeros, me guía el deseo de que pueda ser comprobada en diferentes cuencas para fijar con más amplitud su campo de aplicación o limitar éste. Serán interesantes cuantas objeciones sobre el particular puedan hacerse, que siempre servirán para perfeccionar este empirismo de especulación matemática con que pretendemos representar los siempre complejos e inciertos fenómenos de la Naturaleza.