

CORRELACION ENTRE RIADAS EN DISTINTOS PUNTOS DE UNA CUENCA

Dr. Ing. C. C. P. J. FERNANDEZ-MORENO

25

Al estudiar hidrológicamente una cuenca, es frecuente que por lo menos en algún lugar de ella consigamos datos suficientes para estimar las riadas en ese punto.

Unas veces será una estación funcionando con limnógrafo durante una serie larga de años, otras una escala de aforos, tal vez estudios sobre riadas observadas en presas construidas o cuando menos señales indicando el nivel alcanzado por el agua en las riadas históricas, o las observaciones de alguno de los más viejos del lugar, que en alguna ocasión hemos conseguido en amarillentas anotaciones conservadas por ellos.

De una forma u otra podemos sacar consecuencias en función de los datos obtenidos, es decir, o la mayor riada registrada en un período muy largo o una ley de frecuencia de riadas que nos permita estadísticamente deducir la riada previsible durante el período de recurrencia que deseemos en el punto donde tengamos los datos u observaciones citados.

Estos datos los poseeremos en un punto o tal vez en dos; pero en el resto de la cuenca nos veremos obligados a proceder por correlación entre superficies o por otros procedimientos, tales como el hidrograma unitario, etcétera. Escogeremos en este estudio el camino de la correlación, y ésta parece lógico hacerla siguiendo fórmulas empíricas que ajustemos en uno o más puntos donde tengamos datos satisfactorios de riadas en función de las superficies receptoras.

En la figura 1.^a hemos representado en papel doble logarítmico hasta 16 fórmulas empíricas en una amplitud de áreas que comprende desde los 50 hasta los 15 000 kilómetros cuadrados, aunque cada una de ellas tenga un campo de aplicación determinado.

En las ordenadas dibujamos el caudal específico q en $\frac{\text{m}^3/\text{segundo}}{\text{Km}^2}$ y en las abscisas la superficie receptora en Km^2 .

Llamaremos en todo lo que sigue q a este caudal específico y R a la riada absoluta en $\text{m}^3/\text{segundo}$.

Todas estas curvas podemos clasificarlas en dos grupos:

a) Las que en el gráfico resultan rectas: $R = \beta S^k$.

b) Las que en el gráfico son curvas: $R = \beta S^{f(S)}$.

Buscando una $f(S)$ conveniente podemos llegar a ajustarnos con tanta precisión como se desee a las fórmulas de Pagliari, Gutmann, Creager y Larivaille, y ob-

servamos que en todos los casos $f(S)$ es una función decreciente.

Y, además, parece lógico establecer apriorísticamente las siguientes condiciones que debe cumplir una fórmula empírica de riadas si queremos que su campo de aplicación sea amplio:

1.^a Para cuencas muy pequeñas el exponente $f(S)$ debe ser la unidad, pues en este caso, las riadas se producen proporcionalmente a las superficies de las cuencas.

2.^a $R = \beta \cdot S^{f(S)}$ debe tener un máximo para una S finita debido a la autolaminación, fenómeno comprobado en bastantes ríos.

3.^a $R = \beta S^{f(S)} \rightarrow 0$ para $S \rightarrow \infty$ por el principio de la conservación de la energía.

La fórmula $R = \beta \cdot S^{1 - \frac{\log S}{n}}$ cumple estas condicio-

nes con un máximo para $S = 10 \cdot \frac{n}{2}$ y además vemos que según los cuadros adjuntos se ajusta con gran precisión a las curvas de "envolventes" de riadas de P. Larivaille para Europa Central y para Europa Mediterránea, tomando los parámetros B y n convenientes, y a la fórmula de Creager adaptada para España en las que se cristalizan meritorios trabajos estadísticos de riadas observadas.

Los fórmulas de P. Larivaille (*L'Houille Blanche* número A-1962) representan las envolventes de una serie de muchísimas observaciones reales, cuya precisión de medida puede estimarse en ± 10 por 100, y responde a $q = B \cdot \left(\log \frac{A}{S}\right)^{2,3}$ con los parámetros que deduce su autor para distintas cuencas y que entre otros son:

Europa Central $\log A = 5,60$; $\log B = 2,20$
 Europa Mediterránea $\log A = 4,92$; $\log B = 3,19$

Recalcamos que estas curvas (15 y 16 de la figura 1.^a) son envolventes de riadas registradas en numerosos ríos durante un período superior a cien años; pero sin determinar el período de recurrencia que lógicamente será mayor. Son sencillamente envolventes de riadas registradas entre las que se encuentra la del Júcar, en Alcira, en 1864.

Y observamos también que esta curva envolvente de riadas realmente registradas en la Europa Mediterránea

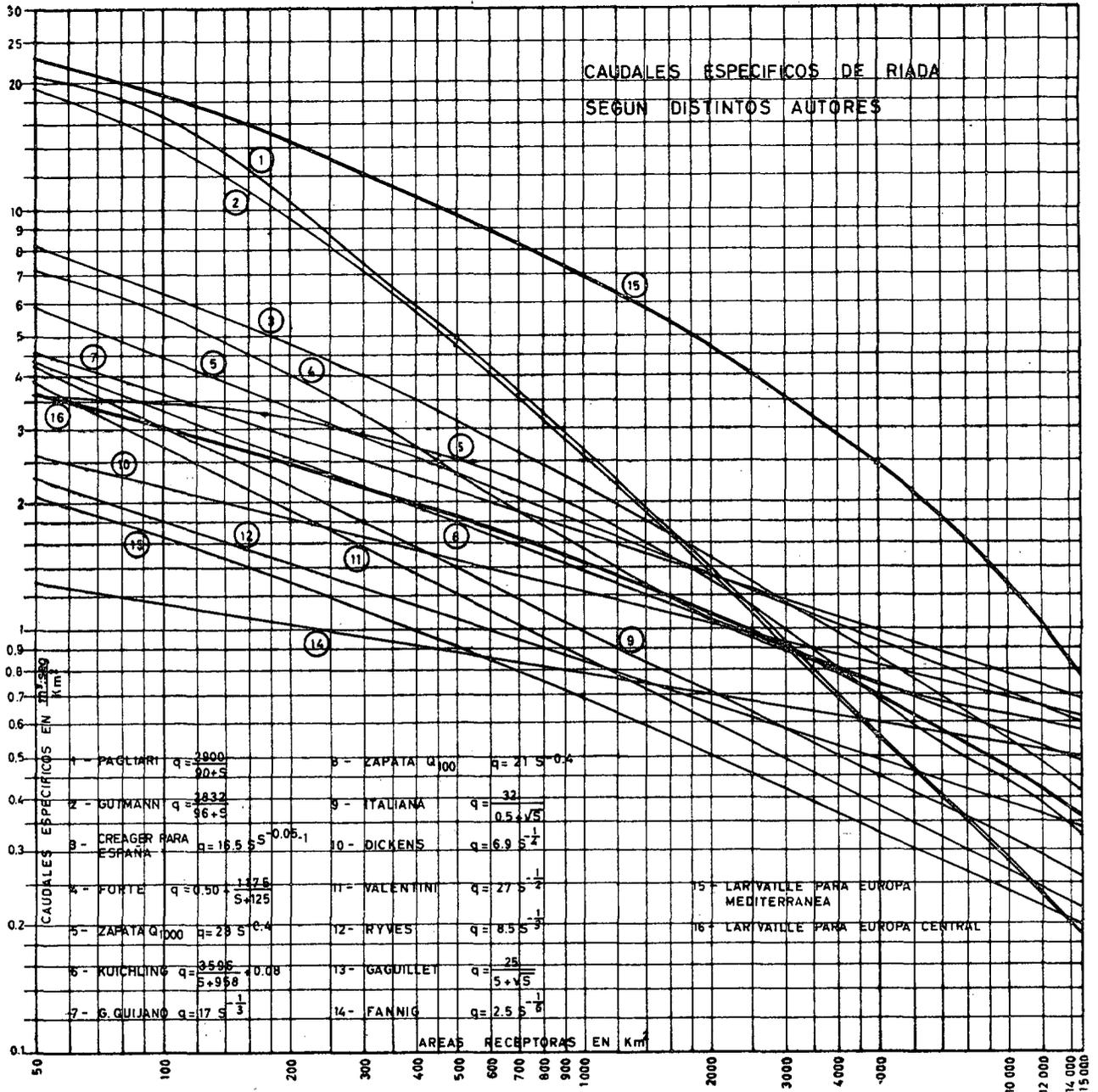


Figura 1.^a

supera mucho a las demás curvas dibujadas en la figura 1.^a.

A continuación establecemos los cuadros comparativos de las envolventes citadas en Europa Continental y Europa Mediterránea con la fórmula $R = \beta S^{1 - \frac{\log S}{n}}$ en los campos de observación contenidos en el citado artículo de *L'Houille Blanche*.

Vemos por ambos cuadros que la sustitución de la fórmula de P. Larivaille por la

$$R = \beta \times S^{1 - \frac{\log S}{n}}$$

nos da menos error que el correspondiente a la medición de riadas aun por los medios más escrupulosos, por lo que prácticamente podemos sustituir una fórmula

EUROPA CENTRAL

$$\log A = 5,60$$

$$\beta = 6,20$$

$$\log B = 2,20$$

$$n = 14$$

S (Km. ²)	$q = B \left(\log \frac{A}{S} \right)^{2,3}$ $\left(\frac{\text{m.}^3/\text{seg.}}{\text{Km.}^2} \right)$	$q' = \beta \times S^{-\frac{\log S}{n}}$ $\left(\frac{\text{m.}^3/\text{seg.}}{\text{Km.}^2} \right)$	Diferencia relativa
50	3,628	3,857	+ 5,9 %
100	3,016	3,211	+ 6,1 %
200	2,468	2,595	+ 4,9 %
500	1,836	1,871	+ 1,9 %
1.000	1,427	1,411	- 1,1 %
2.000	1,075	1,033	- 4,1 %
5.000	0,695	0,653	- 6,4 %
10.000	0,467	0,446	- 4,7 %
20.000	0,289	0,296	+ 2,4 %
25.000	0,242	0,258	+ 6,2 %

EUROPA MEDITERRANEA

$$\log A = 4,92$$

$$\beta = 46,8$$

$$\log B = 3,19$$

$$n = 10,5$$

S (Km. ²)	$q = B \left(\log \frac{A}{S} \right)^{2,3}$ $\left(\frac{\text{m.}^3/\text{seg.}}{\text{Km.}^2} \right)$	$q = \beta \times S^{-\frac{\log S}{n}}$ $\left(\frac{\text{m.}^3/\text{seg.}}{\text{Km.}^2} \right)$	Diferencia relativa
10	35,856	37,585	+ 4,6 %
20	29,836	32,288	+ 7,5 %
50	22,824	24,851	+ 8,1 %
100	18,213	19,469	+ 6,4 %
200	14,181	14,655	+ 3,2 %
500	9,708	9,473	- 2,4 %
1.000	6,944	6,503	- 6,7 %
2.000	4,691	4,290	- 9,3 %
5.000	2,452	2,329	- 5,2 %
10.000	1,279	1,401	+ 8,7 %

poro otra dando a β y a n unos valores convenientes para cada tipo de cuenca.

Igualmente vemos que las diferencias entre la fórmula de Creager adaptada para España por D. Enrique Becerril, $R = 16,5 S^{S-0,05-1}$, como envolvente de riadas, y la que proponemos con $\beta = 13,80$ y $n = 11,5$ son tam-

bién muy pequeñas según demostramos con el cuadro de caudales específicos que establecemos a continuación entre los 100 y 5 000 Km., que será el ámbito superficial que adoptaremos posteriormente para la correlación, a pesar de que su extensión en los cuadros anteriores es mucho mayor.

E S P A Ñ A			
S (Km. ²)	$q = 16,5 S^{(S-0,05-1)}$ $\left(\frac{\text{m.}^3/\text{seg.}}{\text{Km.}^2} \right)$	$q = 13,75 S^{S-\frac{\log S}{11,5}}$ $\left(\frac{\text{m.}^3/\text{seg.}}{\text{Km.}^2} \right)$	Diferencia relativa
100	6,400	6,174	- 3,5 %
200	4,808	4,758	- 1,0 %
500	3,138	3,204	+ 2,1 %
1.000	2,195	2,269	+ 3,0 %
5.000	0,860	0,894	+ 4,2 %

Y así comprobamos que tanto las fórmulas de P. Larivaille aplicadas a las cuencas de Europa Central y a Europa Mediterránea, como la de Creager, adaptada a España, pueden sustituirse sin grave error por la repetidamente citada $R = \beta \times S^{S-\frac{\log S}{n}}$ con los parámetros β y n que correspondan.

No valdría la pena obtener una fórmula empírica más si de ésta no obtuviéramos alguna ventaja práctica. Es más, no es nuestra intención producir otra fórmula a sumar a la larga serie de ellas, aplicable a una zona geográfica y limitada por un campo de aplicación.

Nuestra intención es, como hemos dicho al principio, determinar la riada en el punto que deseemos y donde no tengamos datos en función de la riada en otro punto de la misma cuenca, o de otra próxima y de análogas características hidrogeológicas, donde hayamos podido determinar dicha riada con relativa precisión.

Dicha relación entre dos puntos P_1 y P_2 sería:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\beta \times S_1^{S_1 - \frac{\log S_1}{n}}}{\beta \times S_2^{S_2 - \frac{\log S_2}{n}}} = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{S_1 - \frac{\log S_1 \times S_2}{n}}$$

fórmula sencilla y de inmediata demostración.

Si nos encontráramos en un río de las características de los comprendidos en los estudiados por P. Larivaille para la Europa continental, sería prácticamente lo mismo aplicar a los dos puntos la fórmula propuesta por P. Larivaille, que deducir R_2 de R_1 haciendo $n = 14$, como

hemos visto anteriormente, si la riada del punto conocido fuera la correspondiente a la que da la envolvente de la Europa continental.

Igualmente, si en un lugar de una cuenca dedujéramos que, por los datos obtenidos, es de correcta aplicación la fórmula de Creager adoptada para España, tanto nos da aplicar a otro lugar de esa cuenca la fórmula de Creager que hacer la correlación que proponemos con $n = 11,5$, ya que es desplazarse por dos curvas cuyas diferencias son muy pequeñas.

Y asimismo, si en un punto determinado comprobáramos que la riada previsible coincide con la riada que corresponde a la Europa mediterránea deducida por P. Larivaille, sería casi lo mismo que supongamos aceptable la fórmula de P. Larivaille para toda la cuenca o que hagamos la correlación:

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{S_1 - \frac{\log S_1 \times S_2}{n}}$$

haciendo $n = 10,5$, dada la similitud de resultados expresados en el cuadro de la Europa mediterránea que hemos reflejado anteriormente.

Hacemos notar que al decrecer los caudales específicos el coeficiente β toma los valores, también decrecientes, 46,8, 16,5 y 6,2, mientras que el parámetro n adquiere los valores crecientes 10,5, 11,5 y 14,0, respectivamente, para las muestras analizadas de Europa mediterránea, España y Europa central.

Volviendo la vista a la figura 1.^a, mirando el aire ge-

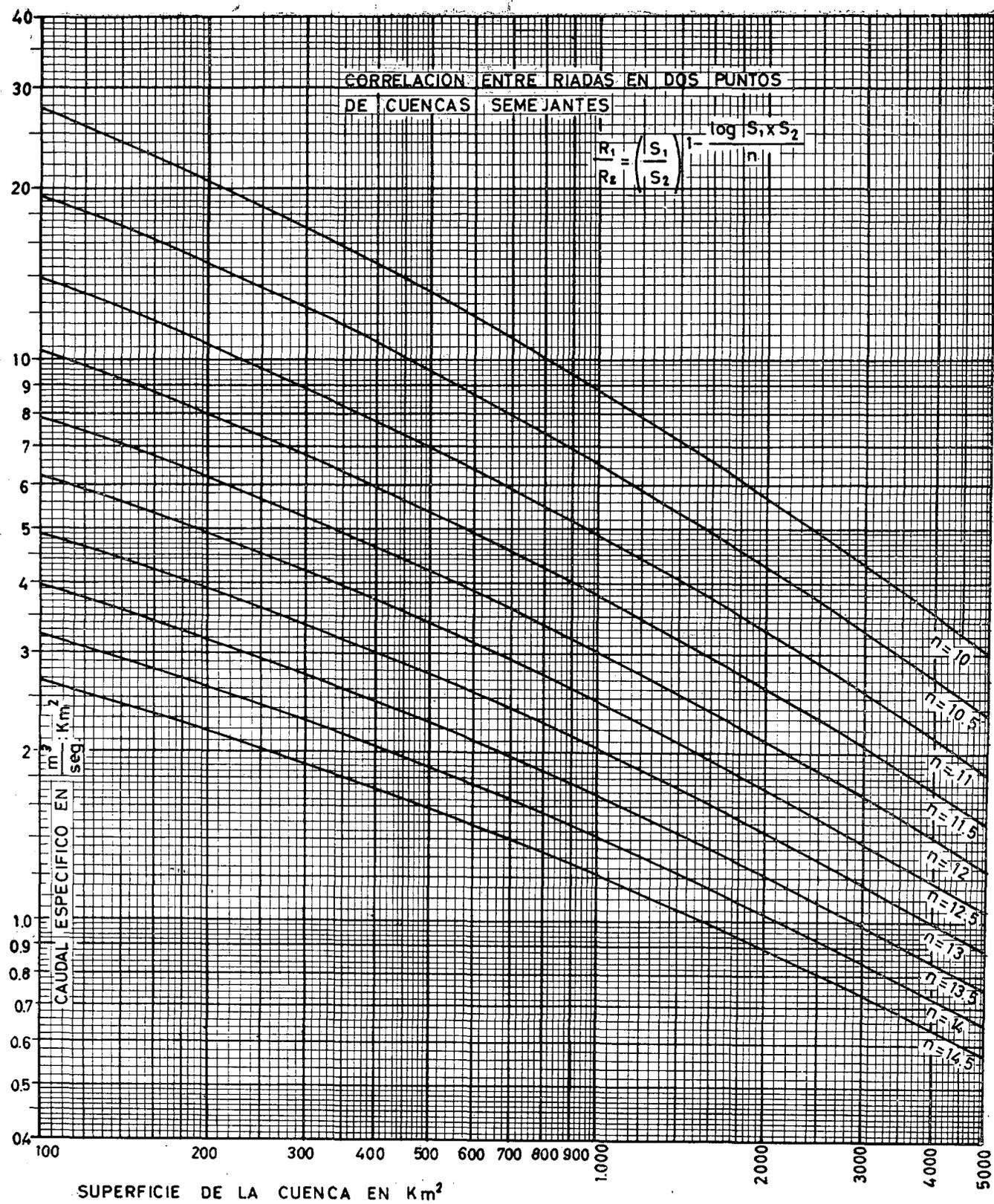


Figura 2.^a

neral de todas las fórmulas recogidas y teniendo en cuenta las condiciones apriorísticas que anteriormente hemos expuestos, parece más lógico suponer que para cuencas pequeñas las riadas sean proporcionales a sus superficies, y para cuencas grandes las máximas avenidas previsibles sean proporcionales a la relación de superficies elevadas a un exponente decreciente y, por tanto, encontramos más razonable aceptar este criterio que suponer la relación entre riadas igual a la de las áreas elevada a una constante que, según diversos autores, será en unos casos 0,50 ó 0,60, y en otros 0,66 ó 0,75.

Nos queda fijar para cada cuenca o conjunto de cuencas adyacentes y similares el coeficiente n y exponer el modo operativo.

En la figura 2.^a hemos dibujado las curvas $q = 6,2$.
 $S - \frac{\log S}{14}$ y $q = 46,8 \times S^{1 - \frac{\log S}{10,5}}$, señalándolas con las indicaciones $n = 14$ y $n = 10,5$.

Entre ellas hemos interpolado las curvas del mismo tipo que cumplan la condición de formar un haz convergente con ambas, lo que deja definido matemáticamente resuelto el problema del establecimiento del ábaco. Y del mismo modo hemos dibujado las curvas $n = 14,5$ y $n = 10$, con lo que creemos que cubrimos el ámbito necesario para hacer correlación de riadas cuando las superficies estén comprendidas entre 100 y 5 000 Km.².

Naturalmente, cada curva del ábaco tiene su coeficiente β , que ha habido necesidad de hallar para dibujarla; pero de propio intento no lo indicamos en la

figura porque, repetimos, no se trata aquí de dar otras nuevas fórmulas empíricas.

Y finalmente, el procedimiento para determinar n que proponemos es el siguiente:

Empezaremos por fijar en el punto donde tengamos datos suficientes y satisfactorios la máxima avenida previsible, pues las curvas que hemos analizado son envolventes de un período muy largo.

Determinada esta riada, R_1 , entramos en el ábaco con su caudal específico y la superficie de su cuenca S_1 , obteniendo así la n correspondiente para aplicar a continuación la fórmula:

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{1 - \frac{\log S_1 \times S_2}{n}}$$

que nos dará la máxima avenida previsible R_2 en el punto deseado de superficie S_2 , y del que carecemos de observaciones directas.

Creemos que, en general, estaremos siempre dentro del ábaco, ya que lo hemos ampliado para comprender dentro de él todas las fórmulas empíricas españolas, por lo que si en algún caso nos saliéramos de él es aconsejable comprobar los datos obtenidos y solicitar observaciones de cuencas adyacentes y de análogas características.