

**INSTRUCCIONES
PARA CALCULAR LOS CAUDALES DE VERTIENTES
I RIOS DE EUROPA CENTRAL,**

BASADAS EN LA CAIDA DE AGUAS LLUVIAS, DE LA FORMACION
JEOLÓGICA I DE LA DIMENSION DE LAS HOYAS HIDROGRÁFICAS.

POR ROBERTO LAUTERBURG.

(Traducido del aleman por Cárlos Ehlers Publé.)

Los resultados siguientes se apoyan ménos en cálculos i operaciones analíticas, que en numerosas observaciones i mensuras de vertientes i rios como tambien en la compensacion recíproca de resultados experimentales con consideracion de los estados permanentes o variables de las hoyas hidrográficas. El procedimiento que se ha seguido es esencialmente empírico i suministra, evitando en lo posible suposiciones hipotéticas, las pocas cantidades numéricas, que actualmente se obtienen sólo por medios empíricos, como valores aproximados o como valores de apreciaciones experimentales.

Este procedimiento proporciona fórmulas i valores numéricos con la aproximacion suficiente para la práctica i suministra al mismo tiempo a adictos a las ciencias especulativas datos valiosos sobre muchos fenómenos meteorológicos.

Habiendo sido derivados los resultados numéricos de la práctica, bajo las circunstancias mas variadas, corresponden ellos, por lo mismo, a las variaciones en los fenómenos atmosféricos, de la vejetacion, etc., que en la mayor parte son inconmensurables. He-

Los tomados siempre en consideracion la *naturaleza, intensidad i duracion* de las fuerzas i su *aparicion temporal*, etc., como tambien la cooperacion de todas las demas circunstancias secundarias que se presentaban simultáneamente en cuanto ha sido posible estudiarlas i apreciarlas.

La ventaja principal del procedimiento elegido, consiste en la fácil determinacion de *todas* las alturas principales i caudales de agua de un rio o vertiente sin recurrir a observaciones nivelíticas o hidrométricas.

Para poder espresar en cifras los fenómenos de que tratamos, procedimos a determinar los *factores naturales*, que gobiernan i regulan los fenómenos atmosféricos. En lo sucesivo denominaremos a las causas o fuerzas que facilitan la corriente inmediata de las aguas: *factores de salida* e igualmente *factores de retension* a los que rijen la retension momentánea (sin perjuicio de que contribuyan a aumentar el volúmen de agua subterránea, la evaporacion i aquella cantidad de agua que alimenta a la vejetacion).

Los *factores naturales* son quebrados menores que 1, por los cuales debe multiplicarse la cantidad de agua caída, eso es, la altura de agua fluvial, para obtener la parte de ella que afluye hácia los valles. Existen tres factores principales de estos que llamaremos a_1 , a_2 i a_3 . La suma $a_1 + a_2 + a_3 = a$ i a el *factor total de salida*, $1 - a$ el complemento de a , es el *factor de retension*, el que representa el caudal de agua que queda retenido en el suelo, pero que corre paulatinamente a causa de la alimentacion constante i que en parte se evapora o se consume por la vejetacion. El valor de la última cantidad de agua representa una pérdida de agua, por lo cual ha sido introducido el *factor de pérdida*: $\delta = \delta_1 + \delta_2$. Los caudales de agua subterráneos forman las aguas mínimas i medias; las aguas lluvias que se escurren inmediatamente pueden considerarse como valores aditivos a las aguas medias i forman las crecidas máximas.

Los factores naturales tienden pues a *ayudar* a la salida rápida

a un valle en perjuicio de los caudales subterráneos o *de impedirlos* en favor de ellos o tambien de *absorber* en perjuicio de ámbas partes cierta cantidad de agua. Naturalmente la suma de los factores α_1 , α_2 i α_3 no debe sobrepasar un valor mayor que 1.

Cuáles son los factores correspondientes a Europa central demuestra la tabla que se encuentra al final.

Los factores α_1 , α_2 i α_3 deben *sumarse*, porque cada cualidad absorbente de agua del terreno obra *simultáneamente i junta* con los demas factores.

BASES PARA EL CÁLCULO TEÓRICO DE LOS CAUDALES DE LAS
VERTIENTES I DE LOS RIOS.

El caudal de una hoya de vertiente o rio depende:

1.º De la *dimension, situacion i formacion* de la hoya; 2.º de las *circunstancias climatológicas* de la rejion, eso es: de la cantidad de lluvia i nieve que recibe i de la temperatura, vientos i evaporacion reinantes.

En el reconocimiento de la influencia que ejerce la situacion de un terreno, es necesario el estudio de su posicion jeográfica i del carácter de la rejion respectiva. Con respecto a su altura sobre el nivel del mar debe hacerse una estricta separacion entre las rejiones montañosas de carácter alpino i las bajas llanuras; porque en las primeras lo abrupto de sus faldas, los frecuentes i repentinos cambios en su régimen meteorológico (lluvias o nieves), la direccion e intensidad de los vientos, las distintas temperaturas, la cantidad de aguas lluvias i de la evaporacion, el estado de cultivo del terreno, etc., tienen un carácter mui diferente que en terrenos de suaves ondulaciones o en la llanura.

Análogas a la situacion existen tambien diverjencias con respecto a la formacion jeológica i topográfica del suelo, principalmente con relacion a lo escarpado de las laderas i cuya influencia se tomará en cuenta introduciendo el factor empírico α_1 .

Cierta importancia débese tambien a la relacion que existe entre

la *longitud* i la *anchura* del valle, por la parte que toma en rejir la circulacion i la distribucion de las masas de agua que se desprenden de las crestas i que corren hácia el Halweg.

De gran importancia es la *formacion del suelo* de una hoya, cuya influencia se espresará por el factor a_2 . Abstrayendo completamente de los casos en que una hoya recibe sus aguas de otras cuencas laterales por infiltraciones debajo de la línea divisoria o que las pierda parcialmente por capas declinantes i permeables i sean tributarias de otra rejion, se presentan fenómenos que pueden ser únicamente reconocidos por un jeólogo o un especialista en hidráulica, sobre todo cuando se trata del curso del agua o de los impedimentos que se le presentan en dislocaciones, hundimientos i grietas del terreno. Es evidente que las vertientes e infiltraciones atajadas siguen siempre a la inclinacion de las capas impermeables i absorbentes i que encuentran salida por aquellas vías, que presentan el trayecto mas directo i las menores dificultades. Para estos casos, como es natural, no puede establecerse normas i reglas jenerales. El grado de permeabilidad o impermeabilidad del subsuelo tiende a impedir o a facilitar la rápida salida del agua al valle, que varía segun se encuentre en la cuenca un subsuelo poroso, que disperse las infiltraciones en el interior, o un subsuelo impermeable, que las acumule.

Un tercer estado de la naturaleza, que influye poderosamente en la salida i en el curso del agua es el *estado de cultivo* o de *esterilidad* que presenta una rejion i que se espresará por el factor a_3 . Se distinguen las siguientes clasificaciones:

1.º Terreno boscoso; 2.º terreno cubierto de glasto; 3.º terreno de cultivo, desmontado; 4.º bosque ralo, matorrales; 5.º terrenos cenagosos i faludosos sin desagüe natural; 6.º terrenos eriales, estériles i pedregosos, permeables e impermeables; 7.º terrenos detríticos, canchales; 8.º terreno peñascoso, desnudo, permeable e impermeable.

Para la clasificacion del terreno con respecto a su *declive*, basta en jeneral la indicacion si se trata de alta cordillera, cerranía o lla-

nura; porque las condensaciones atmosféricas i la evaporacion varían con la altura. Si el réjimen de las distintas cuencas de rios es mui variable, es preferible entónces hacer un estudio i cálculo separado de cada una de ellas.

La influencia mas pronunciada i mas inmediata sobre los caudales de vertientes, rios, lagos i ventisqueros la ejercen la *cantidad i distribucion de la lluvia i de la nieve*. Las graduaciones respectivas son las siguientes:

- 1) *Término medio de todas las cantidades anuales de lluvia i nieve observadas* (h).
- 2) *Cantidad i estension máxima de lluvia caída* (H_1).
- 3) *Cantidad máxima de lluvia en un dia* (H_2).
- 4) *Cantidad máxima de lluvia repentina* (H_3).
- 5) *Tiempo máximo de sequía ininterrumpida*.

Con relacion a las cantidades anuales de lluvias determinadas por observaciones meteorológicas, tenemos que advertir que hemos encontrado todos los resultados apoyados en estas observaciones, demasiado pequeños hasta en los casos mas sencillos, comparados con las mensuras de las cantidades efectivas. El orjén debe buscarse en que una parte de las lluvias no se mide por los pluviómetros, es decir, no es recibida por ellos. En las fórmulas siguientes aparecerá h siempre multiplicado por $\frac{5}{4}$; porque solamente así se establece una concordancia exacta con nuestras mensuras en vertientes i rios.

La *altura media de lluvia anual* en cuencas estensas se obtiene, si se divide la suma de los productos de las alturas fluviales de todas las secciones de la rejion, multiplicada con las superficies de las rejiones correspondientes observadas — por la superficie total de la rejion.

De las observaciones practicadas resulta, que, con escepcion de las partes mas elevadas de los Alpes, la duracion interrumpida de una lluvia regular, hace estragos mucho mas considerables en la llanura que una lluvia anormalmente fuerte pero de corta duracion. Las cantidades máximas fluviales observadas en las cerrañas de la

Suiza eran hasta el año 1881: 150 milímetros en 24 horas i en un aguacero de una duracion continua de cuatro dias, 30 milímetros por dia. Desde 1881 se ha observado en St. Gallen una caida de 250 milímetros en 24 horas i un aguacero de cuatro dias que produjo 50 milímetros por dia.

En el excelente artículo, *Aeber die groessten Abflussmengen bei Staedlischen Abzugscanaelen* (*) de Dr. A. Bührli, se recomienda adoptar una lluvia que arroje 200 litros por hectárea i segundo (=0.02 mm. de altura) como cantidad en el caso mas desfavorable para calcular la seccion de canales de desagües de ciudades.

En Zürich han sido observadas en 1876 lluvias torrenciales de 2 milímetros por minuto i por momentos hasta de 0.035 milímetro por segundo.

Tales accidentes meteorológicos se estienden mui raras y ces sobre rejiones de mas de 25 kilómetros de superficie i duran pocas veces mas de una hora. Como las lluvias torrenciales i anormales cubren mas raramente toda la estension de una cuenca mientras mayor sea su superficie, debe multiplicarse la altura de la lluvia con un *coeficiente de reduccion* que disminuye con la mayor estension de la hoya.

Si denominamos al coeficiente de reduccion j i a la superficie de la cuenca F en kilómetros, obtendremos para las lluvias mas fuertes caidas en Suiza en 24 horas:

$$j = \frac{114}{115 + 0.05 F} + 0.007j \text{ para las lluvias ordinarias}$$

$$j = \frac{7}{6 + 0.001 F} + 0.006 (\dagger).$$

Si consideramos la cantidad máxima de 0.035 milímetros por un segundo i de 0.02 milímetros en una estension de 25 kilómetros,

resultará el *coeficiente de reduccion* $j = \frac{32}{31 + F}$.

(*) Datos sobre los caudales máximos en canales de desagües de ciudades.

(†) Véase el apéndice.

Este coeficiente suministra valores prácticos solamente para cuencas menores de 400-450 kilómetros de superficie i mayores caudales de agua que resultarían con 250 milímetros de altura en 24 horas como base para el cálculo. Los caudales de agua deducidos de la fórmula anterior deben considerarse como *ultra máxima*.

Para la determinacion de los caudales mínimos se habia considerado hasta ahora pocas veces la *duracion máxima de sequía absoluta* i de la *evaporacion máxima* del suelo (como sucede en verano). En lagos i terrenos pantanosos puede ascender la evaporacion en dias estraordinariamente colurosos i ventosos i a una altura de 500 metros sobre el nivel del mar a 10 milímetros i a 1,000 metros de altura a 13 milímetros, miéntras que durante una sequía prolongada, el término medio no suele excederse de 5-6 milímetros. Otro carácter muestra la evaporacion en terreno no inundado. La evaporacion disminuye rápidamente con la falta de lluvia i adquiere pronto un valor constante. Segun nuestras experiencias se determina el grado de evaporacion tanto para las llanuras como para las cerranías por la fórmula:

$$v = H \frac{1-p^n}{1-p}$$

en la cual v representa la altura de agua evaporada durante un período de sequía desde el primero hasta el noveno dia, H la altura de agua evaporada durante el primer dia i p el por ciento de la disminucion del peso del terreno comparado con el peso que tenia en el dia anterior (p varía entre 70 i 38 por ciento segun la porosidad del suelo).

Para igual cantidad de evaporacion i en la misma série de ensayos se mostraba p casi constante i era igual a 0.53 a 500 metros sobre el nivel del mar i en terreno ordinario, pero llegaba a 0.45 a 1,000 metros de altura. Si se sustituye H por su valor máximo = 10 milímetros, resulta que se reduce ya despues de una semana de evaporacion diaria a 0.1 milímetro. La evaporacion total no

pasará el valor de 21-22 milímetros, sea cualquiera la duración de la sequía; por la propiedad del suelo de retener la humedad. Si la sequía es interrumpida por una nueva lluvia, entónces perderá el suelo por evaporación la parte que no ha embebido agua, que se ha ido superficialmente o que ha sido consumido por la vejetación; pero siempre la mayor cantidad habrá sido absorbida por el suelo i por la vejetación.

Los fenómenos atmosféricos que describimos ocasionan variaciones mui considerables en los caudales i en el escurrimiento del agua. Los valores máximos, mínimos i medios están anotados en la tabla al final bajo las tres categorías principales: *aguas mínimas*, *aguas máximas* i *aguas medias*.

Si en cuencas estensas han sido calculados separadamente los caudales de las diferentes secciones, no deben sumarse los resultados simplemente de los caudales máximos para obtener el valor total. Si Q representa el caudal total de agua, $\Sigma (q)$ la suma de los caudales de las diferentes secciones, j el coeficiente de reducción i F el área de la cuenca, j_1, j_2, j_3 , los coeficientes de reducción i f_1, f_2, f_3 , las áreas de las secciones, debe calcularse Q por la fórmula

$$Q = \Sigma (q) \frac{Fj}{f_1 j_1 + f_2 j_2 + f_3 j_3 + \dots}$$

El *exceso de agua saliente* de una cuenca u hoya inundada, ocasionado por una crecida extraordinaria, es aproximadamente por segundo

$$\frac{100}{100 \times S} \times \text{exceso de agua afluyente.}$$

Esta fórmula experimental es aproximada i ha sido establecida segun observaciones practicadas en lagos de la Suiza; es mui empírica i es necesario precisarla mas por medio de mensuras directas.

Si durante una lluvia torrencial o extraordinaria ha sido medida la altura de agua (h ,) i la subida correspondiente del nivel del

lago (h) en metros, resulta con mas aproximacion: caudal del escurrimiento en un segundo = caudal afluyente en un segundo

$$-\frac{1.000,000}{86,400} S (L-L_r) = 11.574 S (L-L_r) \text{ (aproximadamente).}$$

Este valor que espresa el *efecto compensador* de los lagos con respecto al réjimen producido por las grandes crecidas, debe tomarse en cuenta para el cálculo del escurrimiento del agua.

Para la derivacion de las fórmulas principales deben considerarse los caudales del escurrimiento constantes, para lo cual pueden establecerse cinco graduaciones principales. Partiremos, no excediéndonos de cierto límite, de aquella graduacion que muestra tanto en años secos como en los húmedos la mayor regularidad i que llamaremos el *caudal específico* que alimenta en sequías exclusivamente a los rios i vertientes. Esta unidad q_u tiene, segun nuestros estudios en un terreno de aluviones impermeable i con una caida de lluvia anual de un metro, un valor de 0.007 ctm. por segundo i kilómetro.

Para la rejion F en kilómetros i una caida anual de lluvia igual a h se obtiene el *caudal mínimo constante* (caudal esférico).

$$Q = q_u hF$$

Para toda otra graduacion debe multiplicarse la altura fluvial por un factor natural, que representa tanto el caudal que se escurre inmediatamente como tambien el que queda retenido momentáneamente en el suelo. Este valor es mui variable i menor que j ; porque el suelo no puede producir nunca mas agua que la que ha recibido.

Si α representa el caudal de agua que se escurre inmediatamente, será $1-\alpha$ el caudal retenido (que en parte se evapora o es consumido por la infiltracion en el suelo o por la vejetacion i que finalmente se infiltra para correr subterráneamente. Para determinar el caudal del escurrimiento sobrante, debe considerarse fuera de $1-\alpha$ la parte σ que se ha perdido del modo ántes descrito.

El *caudal mínimo absoluto* (que aparecerá talvez una vez cada

100 años) resulta de la fórmula

$$Q_{\sigma} = (1 - a) (1 - \sigma) q_a hF'$$

en la cual F' rije también para rejiones con ventisqueros.

Una segunda graduación que es regularmente constante, es el *caudal medio verdadero*, que se obtiene dividiendo la suma de todas las cantidades de lluvia i nievecasidas en un año — por el número de segundos que tiene el año. Por consiguiente ascenderia el *caudal medio* multiplicado con el factor natural a a

$$\frac{1.000,000}{31.536,000} ah = 0.0317 ahF'$$

Pero como debe substituirse h por $\frac{5}{8} h$ siguiendo nuestras prescripciones i agregarse también el caudal que emiten los ventisqueros independientemente en forma de hielo i nieve derretida en rejiones con ventisqueros i que asciende, segun nuestras observaciones a 0.037 ctm. por segundo i kilómetro de ventisquero (el caudal que emiten en forma de agua, por el derretimiento constante de las nieves forma parte del caudal específico considerado en la fórmula para los caudales mínimos) resulta para el *verdadero caudal medio*

$$Q_2 = 0.0317 a \frac{5}{8} hF' + 0.037f = 0.0396 a hF' + 0.037f.$$

Este caudal medio resulta mucho menor que el caudal determinado por mensuras directas.

Para el cálculo de los *caudales variables ocasionados por crecidas*, debe hacerse distincion si son ocasionados por lluvias torrenciales repentinas, por lluvias jenerales o por derretimientos estranarios de nieve. Las mayores caidas de lluvia en las llanuras i en los lomajes de la Suiza ascienden:

1.º Con una lluvia jeneral de cuatro dias de duracion a 50 milímetros diarios en término medio, pudiendo caer a veces la misma cantidad en tres dias en lugar de cuatro;

2.º Con un chaparron largo a 250 milímetros en 24 horas.

3.º Con una lluvia torrencial de corta duracion a 2.12 milímetros por minuto.

Si designamos con H_1 , H_2 i H_3 a estas cantidades de lluvia, de-

bemos unir H_1 considerando las estensiones tan distintas de estas lluvias, únicamente con el factor de reduccion

$$j_1 = \frac{7}{6 + 0.001F} + 0.006 \quad (*)$$

i H_2 con

$$j_2 = \frac{114}{115 + 0.05F} + 0.007$$

i finalmente H_3 con

$$j_3 = \frac{32}{31 + F}$$

Estos factores representan curvas empíricas de interpolacion, que pasan por ciertos puntos determinados experimentalmente. Estas fórmulas ofrecen a lo ménos el mismo grado de exactitud que las mensuras hidrométricas directas practicadas en grandes crecidas, en vista de que la cantidad de sedimentos i piedras rodadas que arrastra el agua en estos casos, no permite una mensura con un valor de aproximacion mayor que 10-30 por ciento del verdadero caudal. Para la mensura de la crecida debe conocerse naturalmente el nivel de agua anterior al orijinado por el derretimiento de los ventisqueros. El caudal que producen los ventisqueros asciende—suponiendo cerca al ventisquero una temperatura del aire de 14-25° C.—a 0.05*f*, 0.12*f* hasta a 0.2*f* aproximadamente. Si representamos con Q_m el caudal escurrido ántes de la crecida, usaremos para determinar los caudales producidos por las tres clases de lluvias extraordinarias las fórmulas:

1) Q_3 (lluvia máxima jeneral) = $Q_m + j_1 H_1 F + 0.20 f$ (†)
siendo

$$j_1 F_1 = \left(\frac{7}{6 + 0.001F} + 0.006 \right) \frac{0.05}{86400}$$

En la fórmula para Q_3 se ha omitido el coeficiente α , porque se

(*) Véase el apéndice.

(†) Véase el apéndice.

supone que la cantidad de lluvia del último día se escurre totalmente sin pérdida alguna. Como en este caso el escurrimiento Q_m del día anterior es mayor, obtiene H_1 un valor $1\frac{1}{2}$ veces superior, eso es: ha sido adoptado igual a 0.083 i su lugar se ha eliminado Q_m .

2) Q_4 (lluvia máxima en 24 horas) = $Q_m + \alpha j_2 H_2 F + 0.12f$
siendo

$$j_2 F_2 = \left(\frac{11.4}{115 + 0.05F} + 0.007 \right) \frac{0.250}{16,400}$$

i finalmente

3) Q_5 (Lluvia torrencial extraordinaria) = $Q_m + \alpha H_3 j_3 F + 0.05 f$
siendo

$$j_3 H_3 = \frac{32}{31 + F} 0.000035 \text{ (por segundo).}$$

De aquí se deducen las siguientes fórmulas principales para el escurrimiento:

I. *Caudal escurrido con aguas mínimas* (caso extremo que puede suceder cada 100 años):

$$Q_0 = (1 - \alpha) (1 - \sigma) q_n h F$$

II. *Caudal escurrido con aguas mínimas ordinarias:*

$$Q_1 = q_n h F$$

III. *Caudal escurrido con aguas medias*, deducidas de la cantidad anual de lluvia i nieve caídas:

$$Q_2 = 0.03964 \alpha h F + 0.037f$$

IV. *Caudal máximo en crecidas extraordinarias:*

1) Q_3 (lluvia jeneral de 4 días de duracion con 50 milímetros diarios).

$$= 0.96F \left(\frac{7}{6 + 0.001F'} + 0.006 \right) + 0.2f (*)$$

2) Q_4 (chaparron extraordinario de 24 horas con 250 milímetros).

$$= Q_m + 2.9aF \left(\frac{114}{115 + 0.05 F'} + 0.007 \right) + 0.12f$$

3) Q_5 (lluvia torrencial de una hora de duracion con 0.035 milímetros por segundo).

$$= Q_m + aF' \frac{32}{31 + F'} 35 + 0.05f$$

Las fórmulas bajo IV están basadas sobre las caidas máximas de lluvia en la Suiza. Para aplicar estas fórmulas a países con otras lluvias máximas, debe multiplicarse Q_3 , Q_4 , Q_5 con $\frac{H'}{H}$, en que H significa la altura fluvial en Suiza i H' la del país en cuestion.

De las últimas tres fórmulas debe usarse únicamente la primera para cuencas de mas de 5,000 kilómetros. Las lluvias mas fuertes (Q_4 i Q_5) no pueden elevar el nivel de agua en las secciones inferiores del rio a su nivel máximo, lo que mui bien puede suceder con Q_3 .

Si se trata de la determinacion de secciones trasversales en las cuales debe evitarse toda inundacion, debe emplearse la fórmula que da mayor caudal.

La interpolacion del factor de retencion es de importancia especial para aquellas rejiones que contienen lagos o pantanos de grandes dimensiones.

Ademas de los coeficientes ya citados debe tomarse en cuenta el factor de atraso δ , que se relaciona con la lonjitud del rio en cuencas cuya formacion se estiende lonjitudinalmente i un factor ϕ relacio-

(*) Véase el apéndice.

nado con la estacion del año, que influyen poderosamente en el grado de disminucion o aumento del escurrimiento.

Con respecto al factor de atraso δ no pueden darse datos mas precisos i de aplicacion jeneral en vista de los estudios incompletos que se han hecho hasta la fecha.

El factor ϕ , que varía segun las estaciones del año, tiene para Suiza el valor siguiente en los distintos meses.

Enero,	Febrero,	Marzo,	Abril,	Mayo,	Junio,	Julio	Agosto,
0.93	0.89	0.80	0.63	0.58	0.56	0.55	0.56
Setiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre.							
0.59		0.72		0.98		0.95	

Con estos valores constantes deben multiplicarse únicamente aquellas caidas de instantánea lluvia, cuya influencia en el régimen meteorológico puede compararse con aquellas de otras estaciones del año.

En estas operaciones no puede apreciarse la influencia de fenómenos climatológicos imprevistos, como ser: la accion de un viento helado que transforme la lluvia en nieve, la caida de lluvia de temperatura elevada que derrita nieve recién caida o casos parecidos.

OBSERVACIONES FINALES.

Para facilitar el uso de estas fórmulas se ha formada la tabla especial al final, que da los caudales máximos, medios i mínimos para toda clase de cuencas u hoyas hidrográficas.

No se obtendrá una concordancia entre los valores teóricos i los resultados hidrométricos, hasta que no se adopten para ambos procedimientos principios uniformes i métodos mas perfeccionados. Así, por ejemplo, no deben usarse molinetes para mensuras de velocidades en aguas que arrastran arena.

Con respecto a los valores intermediarios sobre Q_0 i Q_4 , que

no han sido discutidos en el presente folleto, puede darse aún el valor medio de las aguas mínimas, valor mas importante para las industrias e instalaciones con fuerza hidráulica, por la fórmula:

$$Q_{\frac{1}{2}} = 0.5 (Q_1 + Q_2);$$

mientras que el valor medio de las crecidas ordinarias depende de la formacion del terreno i de las lluvias ordinarias mas fuertes.

Este término medio se puede espresar como funcion de Q_2 i de F por medio de la ecuacion:

$$Q_{\frac{2}{3}} = \left(\frac{14.4}{3.6 + 0.001F} + 1 \right) Q_2,$$

un valor que debe reducirse aun en rejiones pantanosas.

No obstante que los caudales superiores están basados en primer lugar para rejiones con ventisqueros i de carácter alpino, cuyos rios tienen sus caudales mínimos i máximos en épocas i de una manera mui distintas de las de los rios de las llanuras, darán tambien para éstos resultados aceptables, considerando debidamente las alturas fluviales de la localidad. (Véase observaciones 4 de la tabla al final.)

APÉNDICE.

Desde la primera edicion del presente artículo ha resultado en la aplicacion ámplia de nuestros estudios, que la fórmula Q_3 para lluvias máximas de prolongada duracion debia precisarse mas. Hemos encontrado la siguiente trasposicion de agua despues de volver a introducir los valores Q_m i a .

$$Q_3 = Q_m + a F j_1 + 0.2 f = Q + a F \frac{1 + 0.5 F_1}{1 + F_1 (1 + 0.1 F_1)} + 0.2 f$$

en que $F_1 = 0.0001 F$.

Tambien aquí debe reducirse finalmente Q_3 por multiplicacion con $\frac{H_1}{50}$, a la altura fluvial náloga $= H_1$, que representa la caida de lluvia máxima de una duracion continúa de 3 a 4 dias.

OBSERVACIONES JENERALES.

1.º Se habla de los cocientes normales (medios) i extremos del escurrimiento de valores solamente para las categorías principales de suelos mas o ménos permeables o impermeables; para terrenos que corresponden a categorías intermedias debe apre iarse el cociente ajustándose a las circunstancias especiales. El caudal normal Q_2 es un producto de la altura fluvial anual (reducida al segundo) i mui inferior al término medio bruto anual (que es mui variable), deducido del escurrimiento total i reducido al segundo.

2.º Para las rejiones alpinas desaparecen los cocientes de las llanuras, i para los lomajes i llanuras los de las rejiones alpinas. Si los peñascales no son completamente pelados, sino que están cubiertos en su mayor parte con monte, pasto, piedras sueltas, etc., suben las cifras en la columna correspondiente a Q_0 a mas del doble.

3.º Los cocientes de las crecidas máximas (Q_3 , Q_4 i Q_5) deben aplicarse separadamente, si existen lagos o pantanos de superficie considerable en la cuenca respectiva.

4.º Para los valores rejistrados en las columnas para Q_0 i Q_2 se ha adoptado, considerando un aumento de las alturas fluviales con la altura sobre el nivel del mar para las rejiones alpinas de la Suiza, $h = 1.7 m$, para los lomajes $1.4 m$ i para las llanuras $1 m$. De modo que en otras rejiones con una altura anual de lluvia $= h_1$, debe sustituirse h por h_1 . Para el *caudal mínimo ordinario* (que puede presentarse cada año) pueden adoptarse los coeficientes Q_0 2 a 3 veces mayor al correspondiente para el *caudal mínimo absoluto* (que puede presentarse cada 100 años).

5.º Los cocientes de escurrimiento de esta tabla consideran únicamente los *caudales principales*, producidos por lluvias o nieves, sin tomar en cuenta el derretimiento de ventisqueros en el verano, que, presentándose el caso, pueden calcularse por medio de la fórmula respectiva i sumarse al caudal principal obtenido por medio de la tabla. Una adicion análoga se aplicará para

obtener el grado de inflamiento de un cauce de río, agregando necesariamente el caudal que se escurre ordinariamente.

6.º En los caudales que resultarán aplicando la tabla, no están incluidas las masas sedimenticias ni los rodados que acarreañ los ríos—pero sí el agua subterránea que se escurre lateralmente i debajo del cauce del río. (*)

7.º El coeficiente j , que aparece en todas las columnas para Q_4 es un factor de reduccion que depende de la superficie de la cuenca = $\frac{114}{115 + 0.05F} + 0.007$ (sin reduccion a la caída máxima de lluvia en 24 horas).

Para lagos de estension mui considerables representan los valores de Q_4 únicamente los caudales que alimentan a los lagos o son tributarios de ellos i nó los caudales que se escurren o son emitidos a través de los lagos.

Berna 1893.

(*) Habiéndose tomado en cuenta la permeabilidad, declive i formacion jeológica del terreno por factores de reduccion correspondientes, encuentro que la última parte del párrafo 6 dice un contrasentido, introduciendo caudales, que, por lo que precede en este estudio, deberian considerarse eliminados. Además, considero que el escurrimiento de aguas subterráneas no puede calcularse con relacion a su caudal y, por consiguiente, con relacion a su velocidad, por un ligero exámen jeológico que en la mayor parte de los casos se hará en la superficie del terreno.—(Nota del traductor.)



Cuadro de los caudales mínimos, normales i máximos por kilómetro cuadrado i por segundo en metros cúbicos i litros

ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR I CARÁCTER PRINCIPAL DE LA HOYA HIDROGRÁFICA	PERMEABILIDAD JENERAL DEL SUELO I DECLIVE MEDIO DE LOS VALLES TRASVERSALES I LONJITUDINALES																										
	SUELO MUI IMPERMEABLE									SUELO CON MEDIANA PERMEABILIDAD									SUELO MUI PERMEABLE								
	CON MUCHO DECLIVE			DECLIVE MEDIO			PLANO			CON MUCHO DECLIVE			DECLIVE MEDIO			PLANO			CON MUCHO DECLIVE			DECLIVE MEDIO			PLANO		
	Q ₀	Q ₂	Q ₄	Q ₀	Q ₂	Q ₄	Q ₀	Q ₂	Q ₄	Q ₀	Q ₂	Q ₄	Q ₀	Q ₂	Q ₄	Q ₀	Q ₂	Q ₄	Q ₀	Q ₂	Q ₄	Q ₀	Q ₂	Q ₄	Q ₀	Q ₂	Q ₄
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
I. Rejion de carácter alpino	Litros	Ctm.	Ctm.	Litros	Ctm.	Ctm.	Litros	Ctm.	Ctm.																		
1) Rejion de ventisqueros i bancos de nieve; canchales; rejion con piedras rodadas i suelo poroso; rejion con bosque tupido (en jeneral un terreno permeable en alto grado).....	1.1-2	0.044	1.9 j	1.3-2.7	0.037	1.6 j	.....	.....	.....	1.9-3.2	0.037	1.6 j	2.3-3.9	0.031	1.3 j	.....	.....	.....	3-4.64	0.031	1.3 j	3.5-5.47	0.024	1.0 j	.....	.....	.....
2) Terreno de cultivo i desmontado; terreno con matorrales.....	1.5	0.051	2.17 j	2.08	0.044	1.9 j	.....	.....	.....	2.08	0.044	1.9 j	2.68	0.037	1.6 j	.....	.....	.....	2.68	0.037	1.6 j	3.27	0.027	1.3 j	.....	.....	.....
3) Terreno cubierto de glasto.....	1.07	0.058	2.46 j	1.79	0.051	2.17 j	.....	.....	.....	1.8	0.051	2.17 j	2.50	0.044	1.9 j	.....	.....	.....	2.50	0.044	1.9 j	3.21	0.037	1.6 j	.....	.....	.....
4) Peñascales desnudos.....	0.36	0.061	2.61 j	0.72	0.054	2.32 j	.....	.....	.....	0.72	0.054	2.32 j	1.07	0.048	2.03 j	.....	.....	.....	1.07	0.048	2.03 j	1.43	0.041	1.74 j	.....	.....	.....
II. Lomajes i terrenos bajos																											
1) Bosque cerrado, tupido; canchales sueltos; eriales pedregosos o arenosos.....	.....	.....	.....	1.1-2.26	0.031	1.5 j	1.3-2.55	0.025	1.3 j	.....	.....	.....	1.9-3.23	0.025	1.2 j	2.3-3.8	0.020	1.01 j	.....	.....	.....	2.8-4.5	0.020	0.9 j	3.3-5.2	0.014	0.72 j
2) Terreno de cultivo mui quebrado; terreno con matorrales.....	.....	.....	.....	1.70	0.036	1.8 j	2.20	0.031	1.6 j	.....	.....	.....	2.20	0.031	1.5 j	2.70	0.025	1.3 j	.....	.....	.....	2.70	0.025	1.20 j	3.18	0.020	1.02 j
3) Praderas, herbajales, potreros.....	.....	.....	.....	1.47	0.042	2.1 j	2.06	0.036	1.9 j	.....	.....	.....	2.06	0.036	1.8 j	2.65	0.031	1.6 j	.....	.....	.....	2.65	0.031	1.50 j	3.13	0.025	1.30 j
4) Peñascales desnudos (se presentan raras veces en las llanuras).....	.....	.....	.....	0.6	0.045	2.21 j	0.9	0.039	2.0 j	.....	.....	.....	0.9	0.039	2.0 j	1.2	0.034	1.74 j	.....	.....	.....	1.20	0.034	1.64 j	1.47	0.028	1.45 j
5) Lagunas; terrenos pantanosos sin desagüe.	Estas rejiones deben someterse a una operacion especial. Como parte integrante de una cuenca de rio emiten las lagunas, según la forma de su desagüe casi toda el agua de su tributario que no se evapora; pero con un retardo que depende de la superficie área de la laguna.																										