FACULTAD DE INGENIERIA

TEMA 8

CARACTERISTICAS DEL HIDROGRAMA

Los valores del hidrograma representan la variación de las descargas de una corriente con respecto al tiempo. El hidrograma es de gran utilidad porque muestra el efecto integral de las fases del ciclo hidrológico. Su análisis provee gran información sobre los fenómenos hidrológicos y sobre la producción de escorrentía de una cuenca en función del tiempo.

Componentes de la Escorrentía

(a) Escurrimiento superficial: es el agua que escurre sobre la superficie del terreno hasta el cauce, siendo cauces los pequeños canales que conducen el agua durante la lluvia y poco tiempo después de ella. El escurrimiento superficial sólo se produce cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración del suelo. En borrascas pequeñas, el escurrimiento puede provenir sólo de las superficies impermeables o del agua que cae directamente sobre las corrientes de la cuenca.

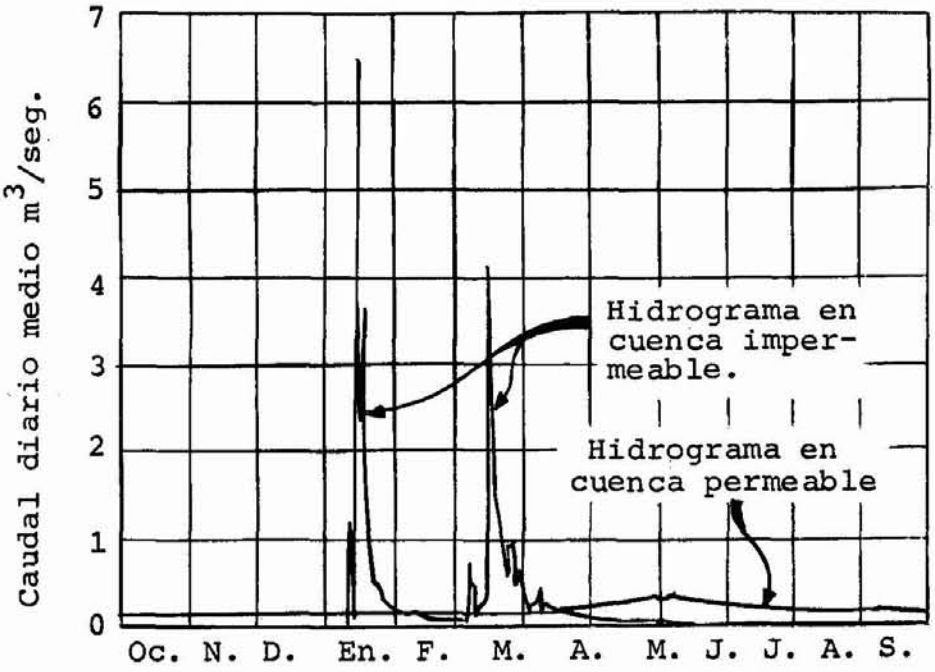
(b) Escorrentía superficial: está constituida por la porción de precipitación que escurre superficialmente por cauces definidos.

(c) Escorrentía subsuperficial: es el agua que se infiltra en el suelo y escurre por las capas superiores de él en la misma dirección y sentido que el agua superficial, hasta penetrar en un cauce. Esta agua se mueve más lentamente que la superficial y alcanza los cauces algún tiempo después; su magnitud depende de la geología de la cuenca. En algunos casos, su caudal para pequeñas tormentas puede ser mucho mayor

que el caudal correspondiente a la escorrentía superficial.

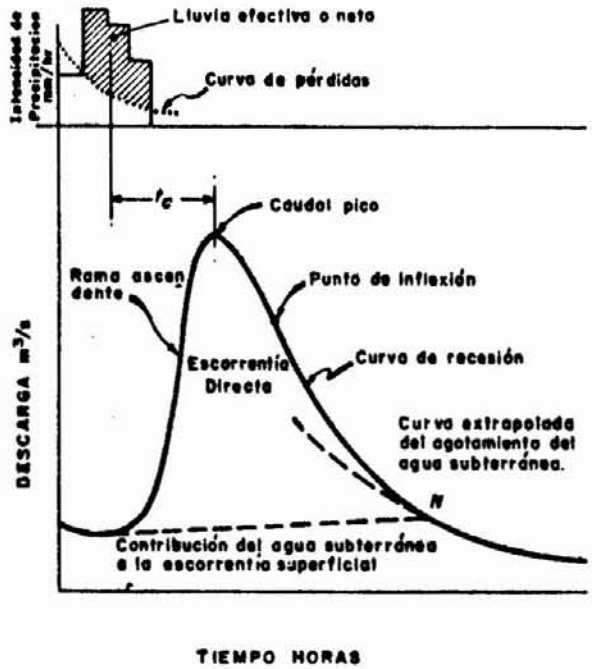
(d) Corriente de agua subterránea: está formada por la precipitación que se percola verticalmente hasta alcanzar la capa freática, y que más tarde descargará en las cuencas de los ríos para formar el caudal base ó caudal de estación seca de las corrientes efluentes. Este caudal, debido al tortuoso camino que sigue, no puede variar bruscamente, tardando en algunas regiones hasta años en realizar su recorrido.

Las cuencas con suelos superficiales permeables y grandes masas de agua subterránea, tienen un caudal elevado, sostenido a lo largo del año, mientras que las cuencas de baja permeabilidad tendrán relaciones más elevadas de crestas a caudal medio.



Comparación de dos hidrogramas de igual volumen de escorrentía anual pero de diferente permeabilidad de cuenca.

Las distinciones entre los cuatro tipos de escorrentía son arbitrarias, ya que una gota de agua en su recorrido puede atravesar por todos los casos. Por esa razón en la práctica se acostumbra a dividir el caudal total en sólo dos partes, escorrentía directa y caudal base, siendo la diferencia el tiempo de llegada al cauce y no el recorrido seguido.



El hidrograma y sus componentes

El hidrograma está constituido por una rama ascendente, un máximo y una rama descendente.

La forma de la rama ascendente está determinada por la tormenta que originó la crecida. El punto de inflexión de la rama descendente marca el instante en que cesa la afluencia superficial al sistema de cauces, mostrando el resto de la curva descendente la salida del agua del almacenamiento dentro de su cuenca (curva de agotamiento), siendo independiente de las características de la tormenta. En cuencas grandes suje -

tas a lluvias en sólo una parte de la cuenca, la curva de agotamiento variará de acuerdo al área particular que haya generado la escorrentía. Por otra parte, diversas combinaciones de precipitación distorsionan la forma de la rama descendente sin perder por ésto su utilidad el estudio del hidrograma dentro del análisis hidrológico.

La curva de agotamiento puede describirse por la ecuación:

$$q_1 = q_o \, K_r$$

siendo

q_o = caudal en cualquier momento
q_1 = caudal en una unidad de tiempo después
K_r = constante de descenso (<1)

Esta ecuación puede escribirse en forma más general como:

$$q_t = q_o \, K_r^{\,t}$$

siendo

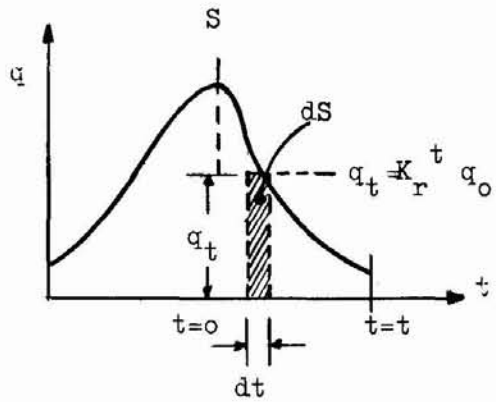
q_t = caudal t unidades de tiempo después de q_o

El valor numérico de K_r depende de la unidad de tiempo elegida.

Puesto que el limbo de recesión de un almacenaje con ninguna afluencia representa la diferencial de la curva de almacenaje, la efluencia durante cualquier unidad de tiempo iguala el cambio de almacenaje durante ese tiempo.

Una curva de almacenaje puede entonces construirse sumando los incrementos de efluencia ΔS de la recesión. La ecuación diferencial para el almacenaje es:

$$dS = q_t \, dt$$



Sustituyendo $q_t = q_o \, K_r^{\,t}$ por q_t se obtiene:

$$dS = q_o \, K_r^{\,t} \, dt$$

la cual al ser integrada produce

$$\int_s^o dS = q_o \int_o^t K_r^{\,t} \, dt$$

$$- S = \frac{q_o \, K_r^{\,t}}{\log K_r} \longrightarrow - S = \frac{q_t}{\ln K_r}$$

$$\boxed{S = \frac{-q_t}{\ln K_r}} \longrightarrow \text{Almacenamiento remanente en la cuenca en el ins - tante t.}$$

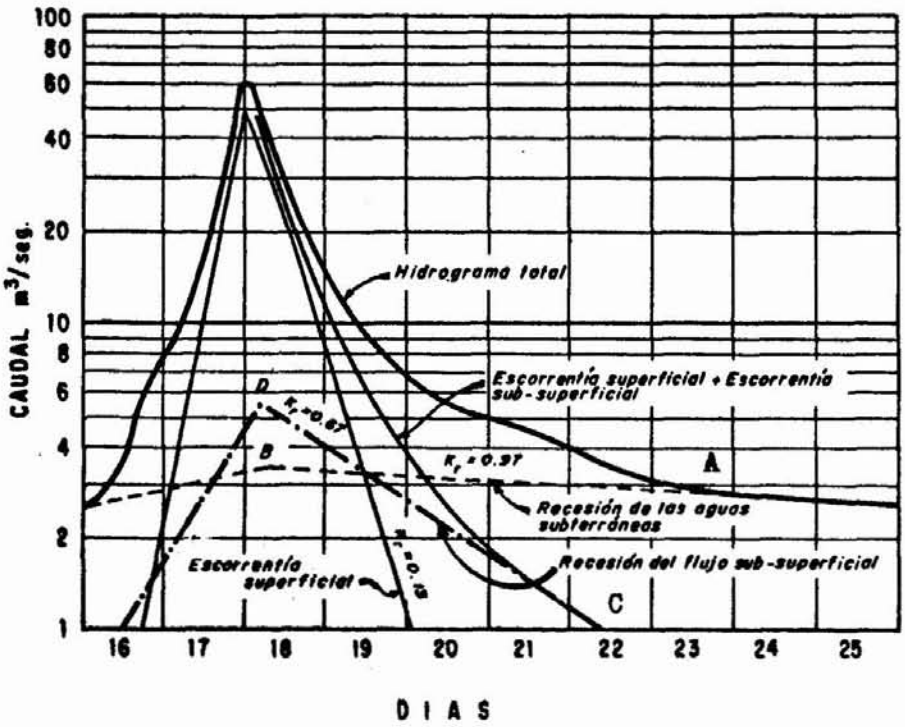
Regularmente el factor K_r no es una constante durante toda la recesión.

La expresión anterior también puede expresarse diciendo que: el almacenamiento remanente S_t en la cuenca en el momento t es

$$S_t = - \frac{q_t}{\ln K_r}$$

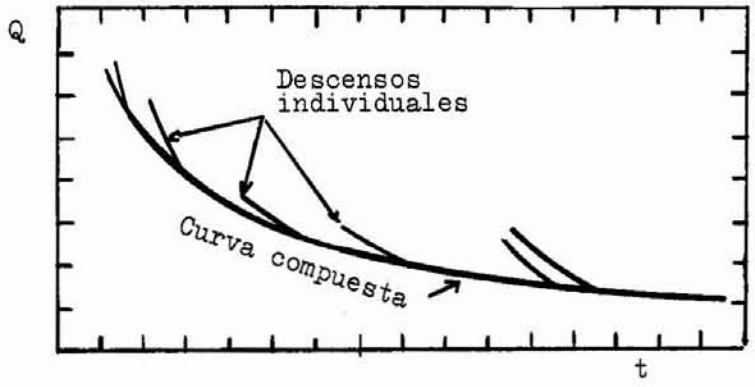
La ecuación $q_t = q_o K_r^t$ puede trazarse como una línea recta en papel semilogarítmico con q en la escala logarítmica. Sin embargo, el resultado no es generalmente una recta sino una curva con pendiente decreciente (valores de K_r crecientes). debido a que el agua proviene de tres tipos de almacenamiento: cauces superficiales, corrientes subsuperficiales y aguas subterráneas, teniendo estos tres tipos diversos coeficientes de retardo. Esto induce a pensar que tres líneas rectas en papel semilogarítmico producirían el efecto deseado, sin embargo las transiciones son tan graduales que resulta muy difícil elegir los puntos de quiebre. La pendiente de la última porción del descenso suele representar la característica K_r del agua subterránea, ya que se supone que tanto la corriente subsuperficial como la superficial han cesado para este momento.

Prolongando dicha pendiente en los tiempos anteriores (línea AB de la figura) la diferencia entre la línea proyectada y la curva del hidrograma total (linea CJ) representa un volumen que corresponde en su mayor parte a la corriente subsuperficial. La pendiente de la parte final de la curva de recesión de escorrentía superficial + subsuperficial (C-J) se considera la apropiada para definir la recta de recesión del flujo subsuperficial (linea D-C). El hidrograma de la escorrentía superficial se obtiene ahora como una diferencia del hidrograma de la escorrentía superficial más subsuperficial, menos el hidrograma de la escorrentía subsuperficial, que ya se conoce.



Separación de un hidrograma en sus tres componentes.

La técnica anterior necesita un grado de precisión no requerido en ingeniería. El método más empleado para calcular la curva de descenso es el de obtener una curva compuesta de los datos de una serie de tormentas, de tal manera que cubra una gama necesaria de valores del caudal.

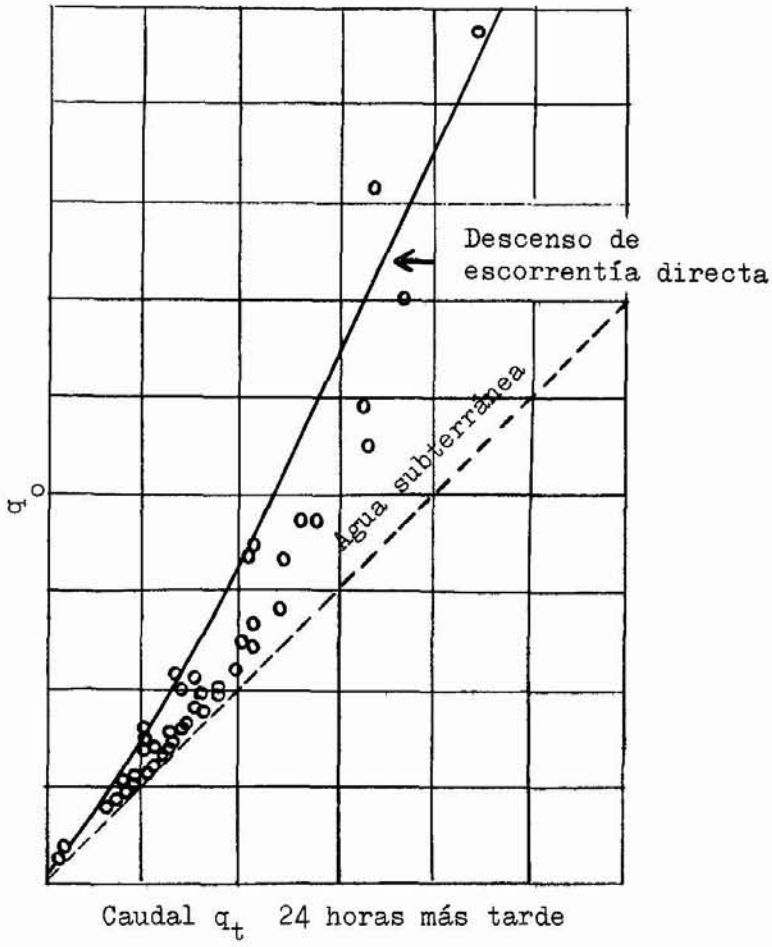


Curva de descenso compuesta.

Otra manera de trazar una curva de agotamiento es graficando los valores de q_o contra q_t un tiempo despues, lo cual, según la ecuación

$$q_t = K_r\, q_o$$

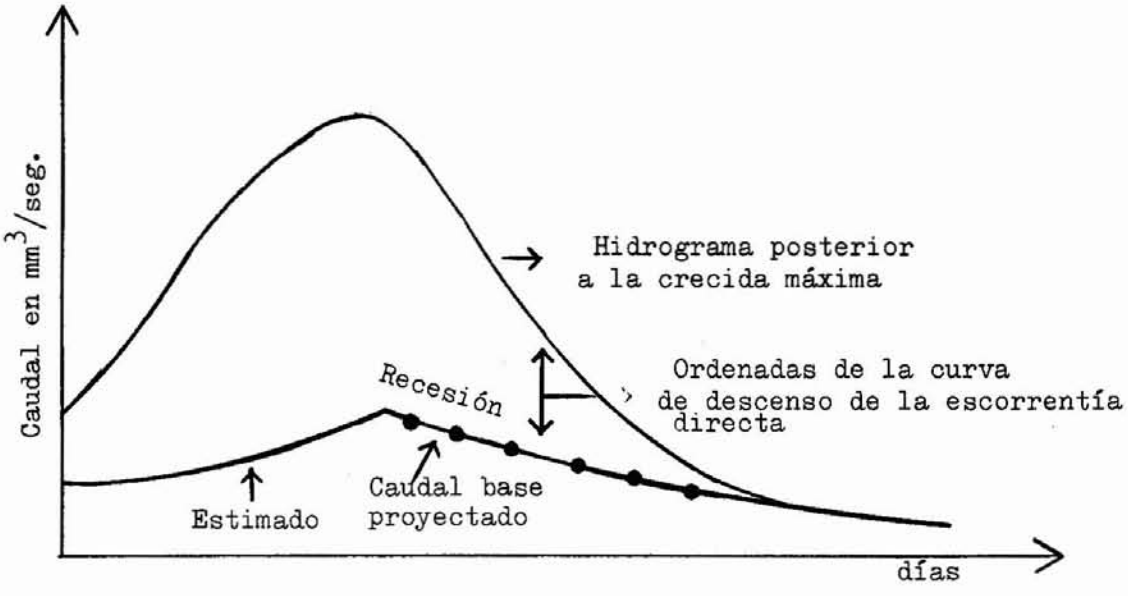
debería representar una línea recta, sin embargo la línea representa una curva asíntota a una linea de 45° cuando $q \longrightarrow 0$.



Curva de descenso típica de q_o en función de q_t.

Estos métodos pueden usarse para curvas de agotamiento del caudal base, de la escorrentía directa o del caudal total. Los datos deben seleccionarse de manera que exista completa seguridad de no incluir escorrentía directa alguna cuando se trata de estudiar la curva del caudal base.

Después de haberse establecido el descenso de la corriente base, se traza el hidrograma inmediatamente posterior a la crecida máxima y la diferencia entre el caudal base proyectado y el hidrograma total se emplea para trazar la curva de descenso de la escorrentía directa.



Cuando se emplea el método de plotear valores de q_1 vs q_o ($q_1 = q_o K_r$) es costumbre trazar la curva del caudal base como envolvente a la derecha de los puntos y para la escorrentía directa la envolvente a la izquierda. La razón de este procedimiento es que la curva a la derecha representa un descenso más lento (K_r elevado) y los puntos a la izquierda pueden incluir escorrentía directa.

Análisis del Hidrograma

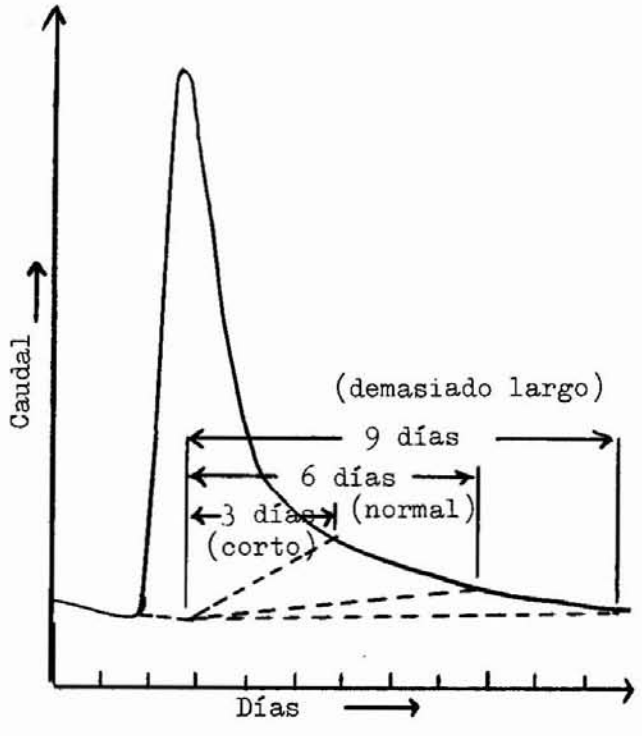
Debido a las características diferentes de la escorrentía base y la escorrentía directa, es muy común separarlas en un proceso denominado separación o Análisis del Hidrograma. No existiendo una base real, el método del análisis resulta muy arbitrario.

El método de análisis reposa en el hecho de que el tiempo base de escorrentía de una tormenta a otra, debe mantenerse prácticamente constante, y como regla práctica se dá

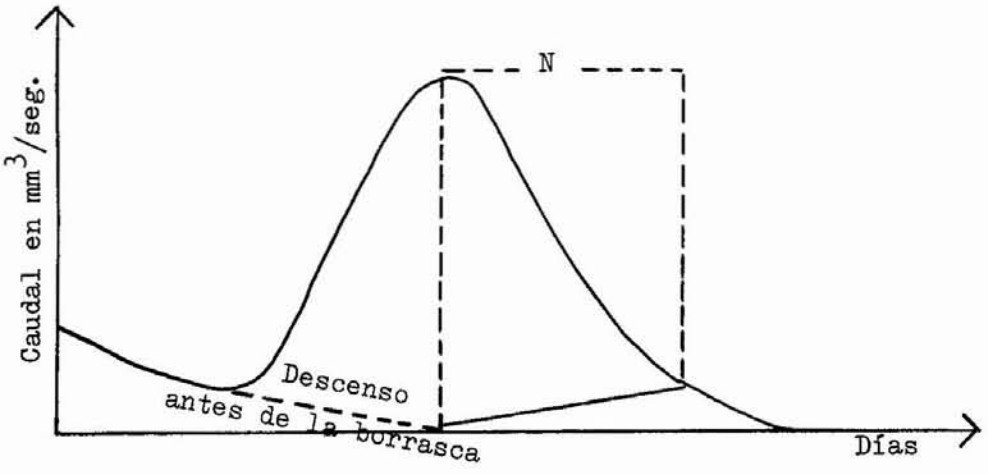
$$N = 0,827\ A^{0,2}$$

N = tiempo en días
A = área de recepción en Km^2

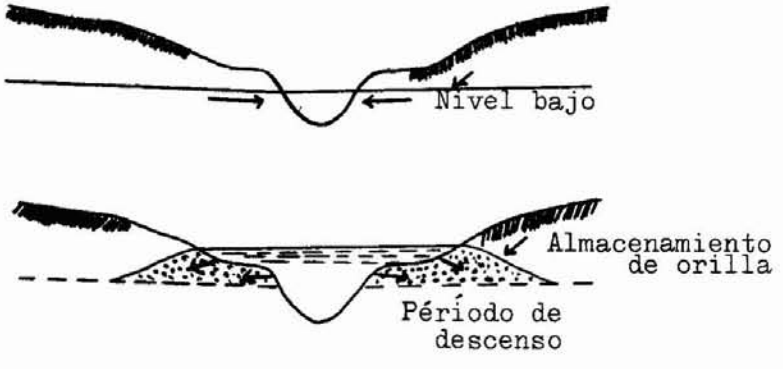
Sin embargo el valor de N puede determinarse mejor estudiando varios hidrogramas, teniendo en cuenta que el tiempo base no debe ser excesivamente largo y que el aumento del caudal de agua subterránea no debe ser demasiado grande.



El procedimiento más ampliamente usado consiste en extender el descenso existente antes de la borrasca hasta un punto por debajo de la cresta del hidrograma y desde ese punto trazar una recta que corte el hidrograma N o más días después de ese máximo.

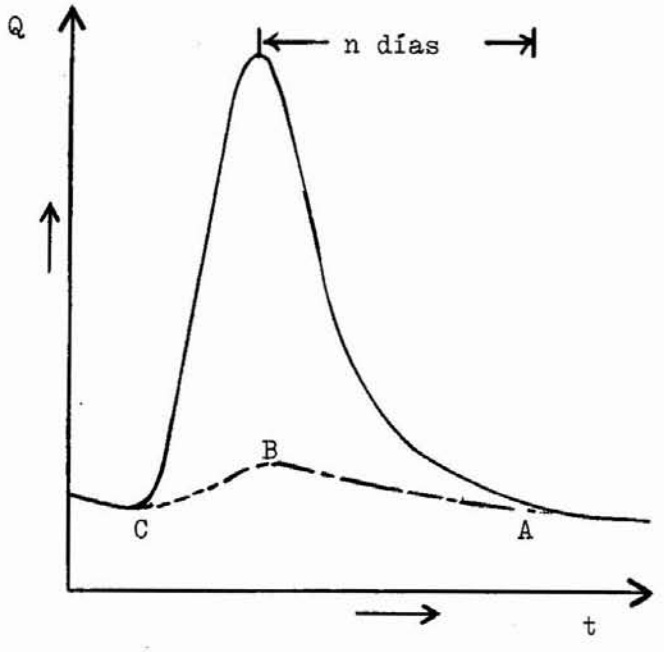


La razón de este procedimiento se basa en que al aumentar la corriente, hay afluencia de agua desde el cauce hacia las márgenes, por lo que caudal base suele decrecer hasta que los niveles comienzan a bajar y entonces el agua retorna al cauce.



Este procedimiento es también arbitrario: pueden existir casos en que el caudal base se haga negativo. La diferencia entre los dos métodos aquí expuestos es muy pequeña, y no importa cual de ellas se use, siempre y cuando se haga consecuentemente.

Un tercer método de análisis, consiste en trazar una línea, proyectando hasta el momento de máximo caudal (B) descenso de agua subterránea desde un punto de la rama descendente por debajo de la inflexión (A). Del punto de inicio del hidrograma se traza una recta uniéndola con el punto (B).

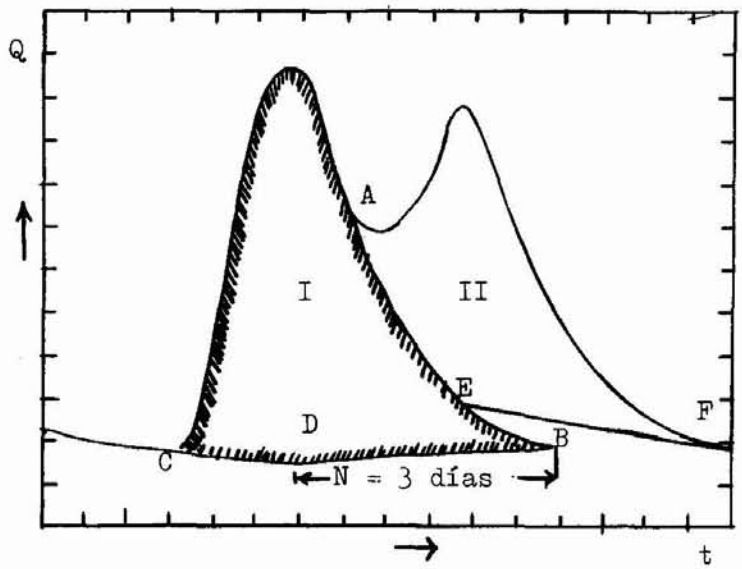


Este tipo de análisis puede tener ventajas cuando la magnitud del agua subterránea es considerable y cuando la velocidad de su movimiento es relativamente grande, tal como sucede en los terrenos calizos.

Análisis de Hidrogramas Complejos

Generalmente las tormentas ocurren poco espaciadas en el tiempo, haciéndose entonces necesario separar los efectos de las tormentas individuales.

Para emplear un análisis simple, como los expuestos anteriormente, se hace necesario dividir el hidrograma en las partes correspondientes a cada tormenta, lo que puede lograrse extendiendo la curva de agotamiento del primer hidrograma (AB), ésto solo es posible cuando el hidrograma tiene máximas perfectamente definidas.

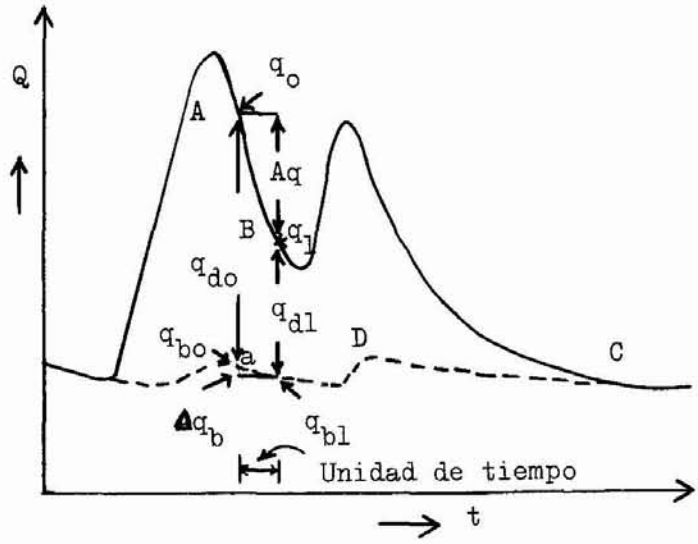


Una vez que el efecto de las tormentas individuales ha sido separado, se completa el análisis del caudal base trazando las líneas CDB y EF.

Otro método de análisis puede aplicarse usando las curvas q_o en función de q_1. Este método consiste en lo siguiente:

(1) El descenso DE del caudal base de la última crecida se consigue retroproyectando el descenso del caudal base.

(2) El caudal base durante el período de descenso después del primer máximo, puede determinarse observando que:



$$\Delta q = \Delta q_d + \Delta q_b$$

$$q_1 - q_o = (q_{do} - q_{dl}) + q_{bo} - q_{bl}$$

Δq_d = variación de la escorrentía directa/unidad de tiempo.
Δq_b = variación de la escorrentía base/unidad de tiempo.
Δq = cambio de caudal total/unidad de tiempo.

Aplicando tanto al caudal base como al directo la ecuación $q_1 = q_o K_r$, que relaciona los caudales que difieren una unidad de tiempo, se tiene

$$q_1 = q_{b1} + q_{d1}$$

$$q_1 = K_b\, q_{bo} + q_d\, q_{do}$$

Por otra parte, como $q_{do} = q_o - q_{bo}$ se tiene:

$$q_1 = K_b\, q_{bo} + K_d\, (q_o - q_{bo})$$

$$q_1 = K_b\, q_{bo} + K_d\, q_o - K_d\, q_{bo}$$

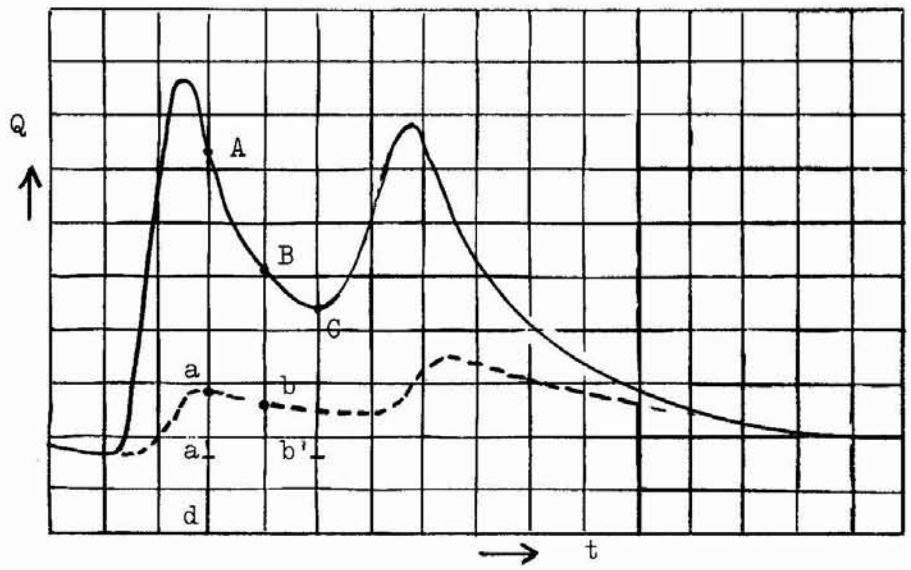
$$K_d\, q_o - q_1 = q_{bo}\, (K_d - K_b)$$

$$q_{bo} = \frac{K_d\, q_o - q_1}{K_d - K_d}$$

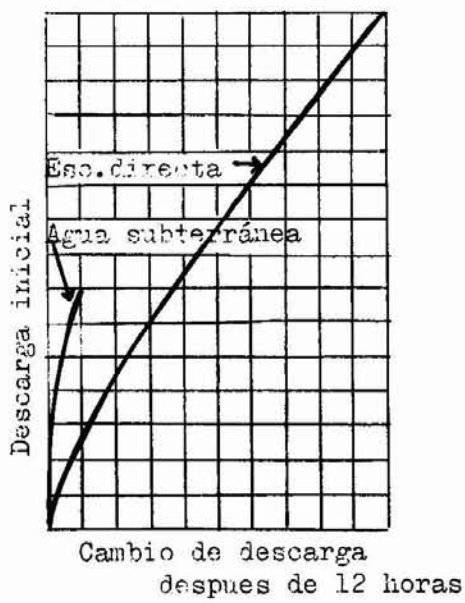
Aún en el caso de que no puedan determinarse los valores de K, pueden obtenerse los valores de q_o, q_1 y q_{bo} empleando una relación gráfica a partir de las curvas de descenso.

Como la recesión no puede extenderse más allá del pico de la última tormenta, se requiere una curva de agotamiento para la escorrentía directa, la cual puede construirse a partir de los hidrogramas de otras tormentas (ver figura). De esta manera un punto del hidrograma de aguas subterráneas bajo la recesión AB se puede localizar de la siguiente manera:

(1) Determine el cambio de descarga AB por unidad de tiempo y lea un primer estimado de la escorrentía directa correspondiente a esta rata de cambio de la figura.



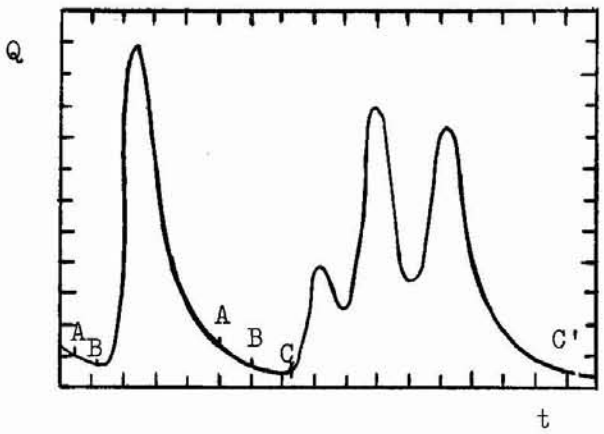
(2) Reste la escorrentía directa estimada Aa' de la ordenada total Ad. El balance a'd es una primera aproximación al ordenada de agua subterránea.



(3) Determine el cambio de descarga correspondiente a un caudal subterráneo a'd mediante la figura y reste este valor del cambio total AB. El resto es esencialmente el cambio de descarga de la escorrentía directa y puede usarse para determinar un nuevo valor de la escorrentía inicial directa Aa. La ordenada ad representa el caudal base.

Determinación de la Escorrentía Total

La escorrentía total puede hallarse calculando el volumen total de la escorrentía habida durante un período que comienza y termina con la misma descarga y abarcando la crecida en cuestión.



El volumen de la primera crecida puede calcularse de A a A' o de B a B' mientras que el de los tres picos siguientes puede calcularse entre C y C'. En estas ecuaciones no se considera posible cambio de almacenamiento de las aguas subterráneas ya que éste es función del caudal, y si los caudales son iguales el almacenaje es el mismo en los instantes considerados.

BIBLIOTECA IREN