

HIDROLOGÍA

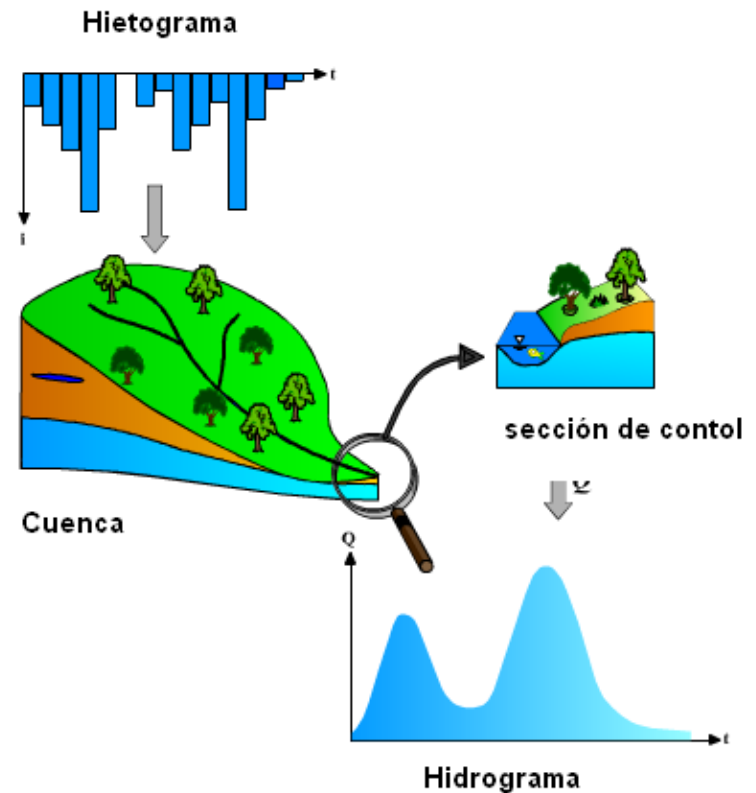
CALSE 15: Relaciones lluvia- escorrentía

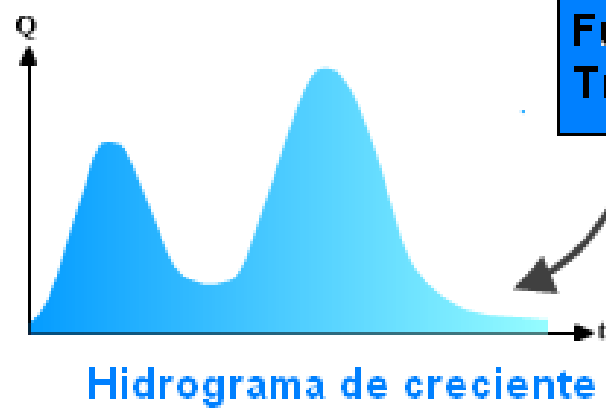
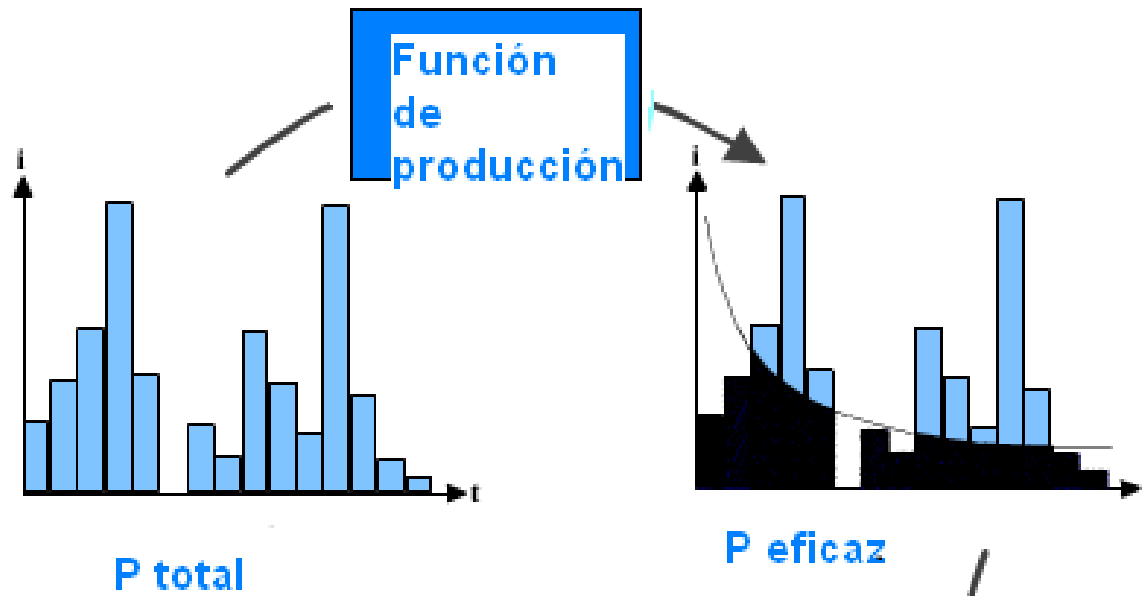
Julián David Rojo Hdz.

I.C. Msc. Recursos Hidráulicos

6.1 GENERALIDADES

- Hallar relaciones entre la precipitación y la escorrentía sobre el área de una cuenca, con el fin de calcular caudales en ríos y quebradas, es un problema fundamental para ingenieros e hidrólogos.





HU

6.1 GENERALIDADES II

- Existen en la literatura muchos modelos que intentan describir las relaciones precipitación escorrentía. Los más conocidos son los modelos de hidrógrafa unitaria y el método racional para caudales máximos y la utilización de la curva de recesión combinada con precipitaciones para obtener caudales mínimos.

6.2 ANALISIS DE HIDROGRAMAS

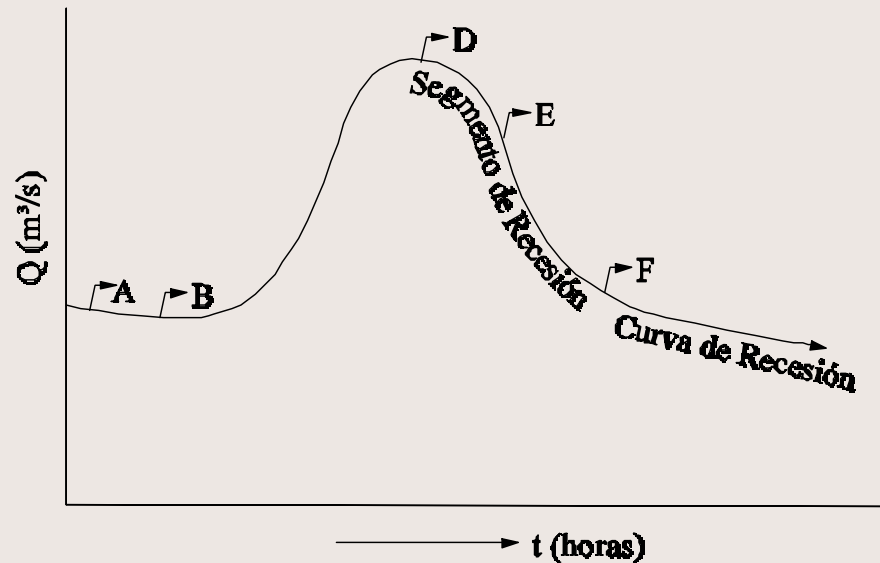
- **El hidrograma puede ser mirado como la expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que gobiernan las relaciones entre precipitación y escorrentía para una cuenca particular.**

factores climáticos

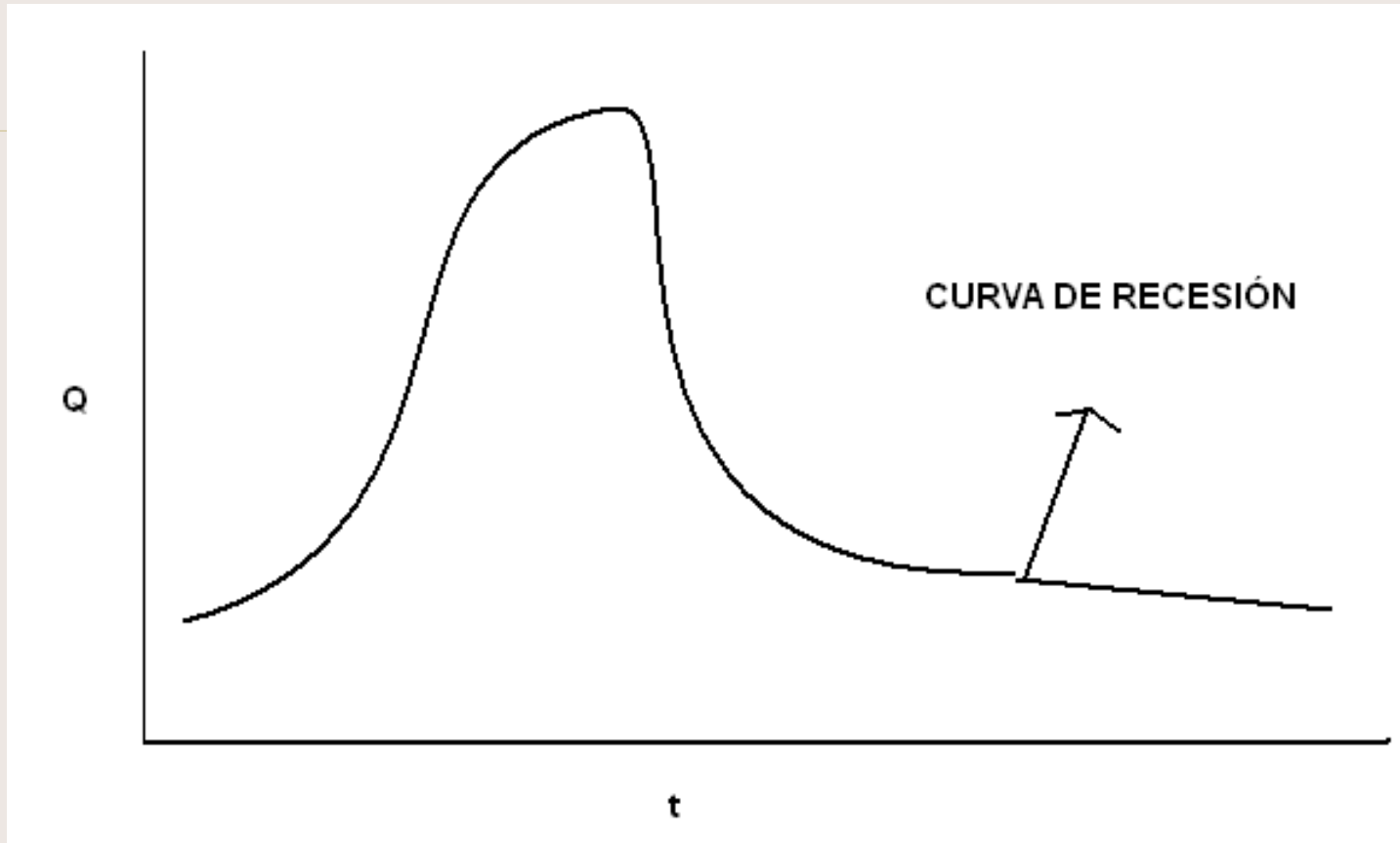
la intensidad y duración
de la lluvia y su
distribución espacial y
temporal sobre la cuenca.

factores fisiográficos

área y la forma de la cuenca,
la naturaleza de la red de
drenaje, la pendiente de la
cuenca y del canal principal.



6.3 CURVA DE RESECIÓN



$$Q_t = Q_o e^{-K t}$$

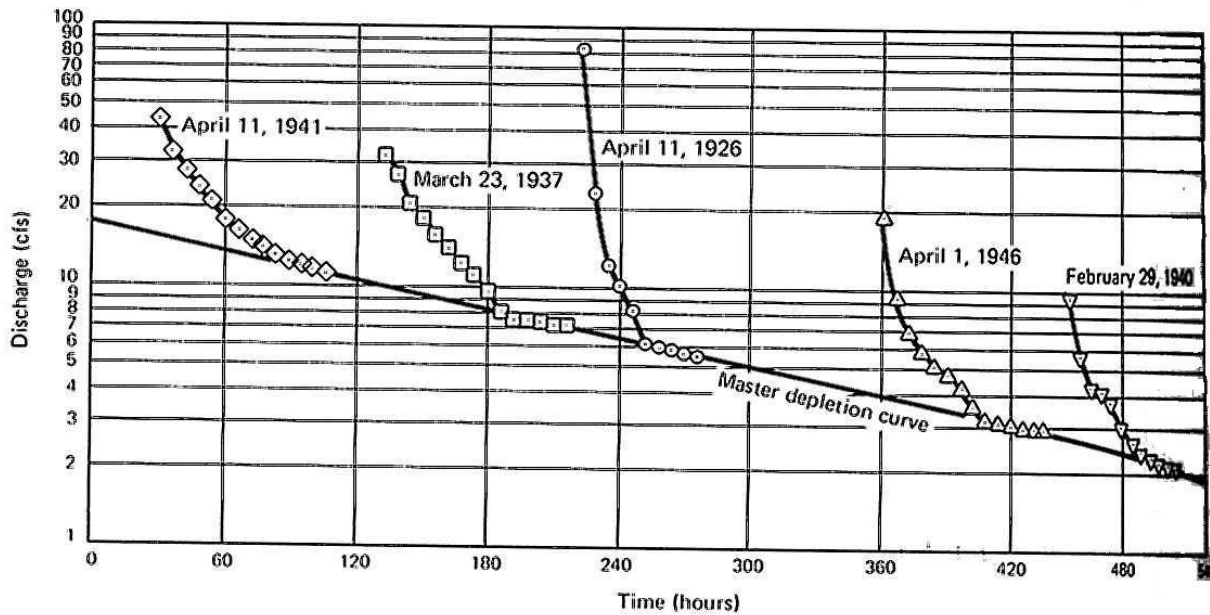
Q_o y Q_t son caudales con t días de intervalo.

K , constante de recesión < 1

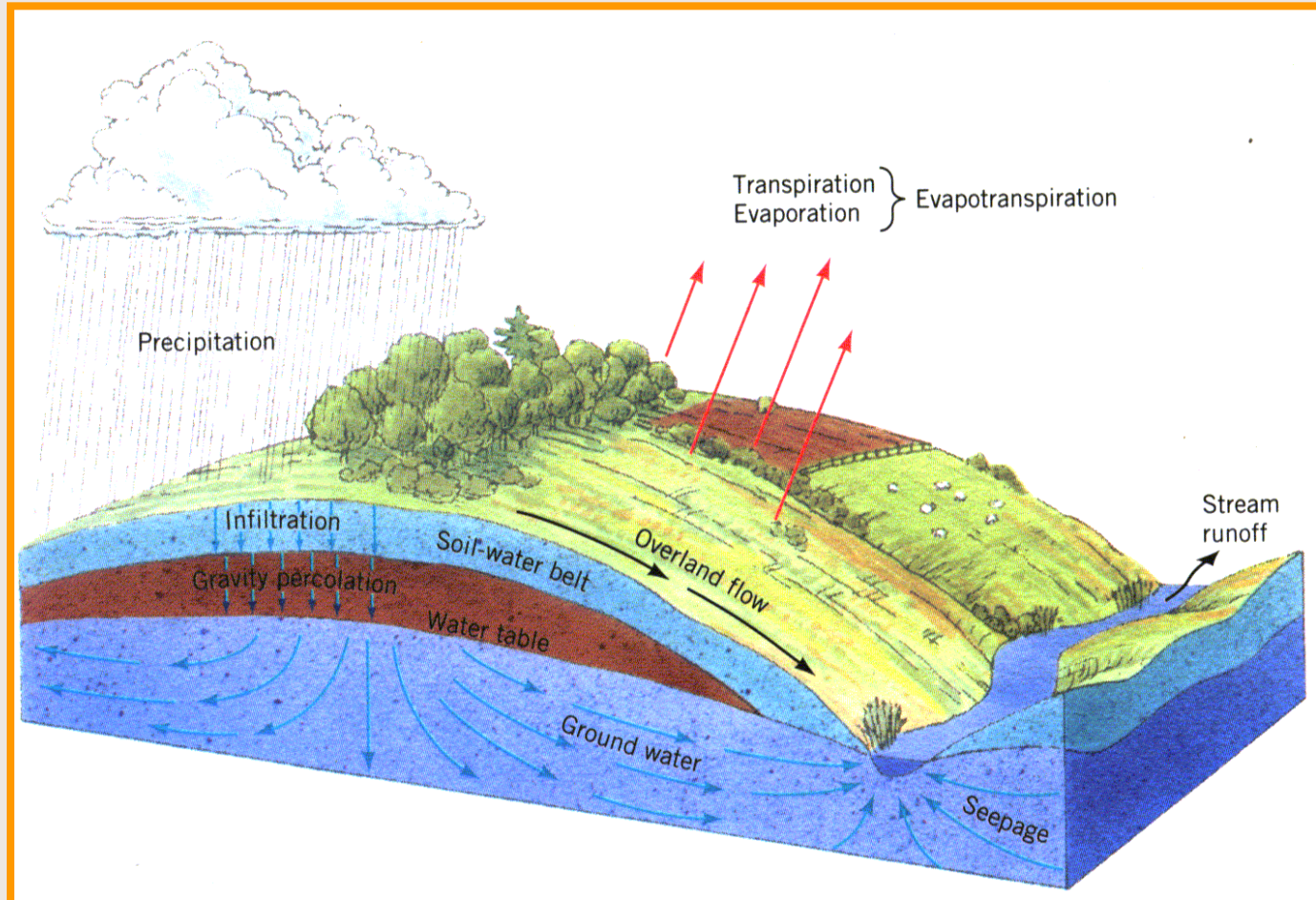
Curva maestra- para la construcción de una curva de recesión

- **En un papel semilog, se grafica para cada tormenta la hidrógrafa correspondiente, siendo el caudal la variable logarítmica.**
- **Para cada tormenta se realiza el mismo procedimiento; luego todos los segmentos de recesión se colocan en una hoja, tratando de que coincidan en una sola línea los caudales más bajos de todas las curvas de recesión.**
- **Cuando se tengan todas las tormentas analizadas, se trata de ajustar una curva que tenga la forma de la ecuación**

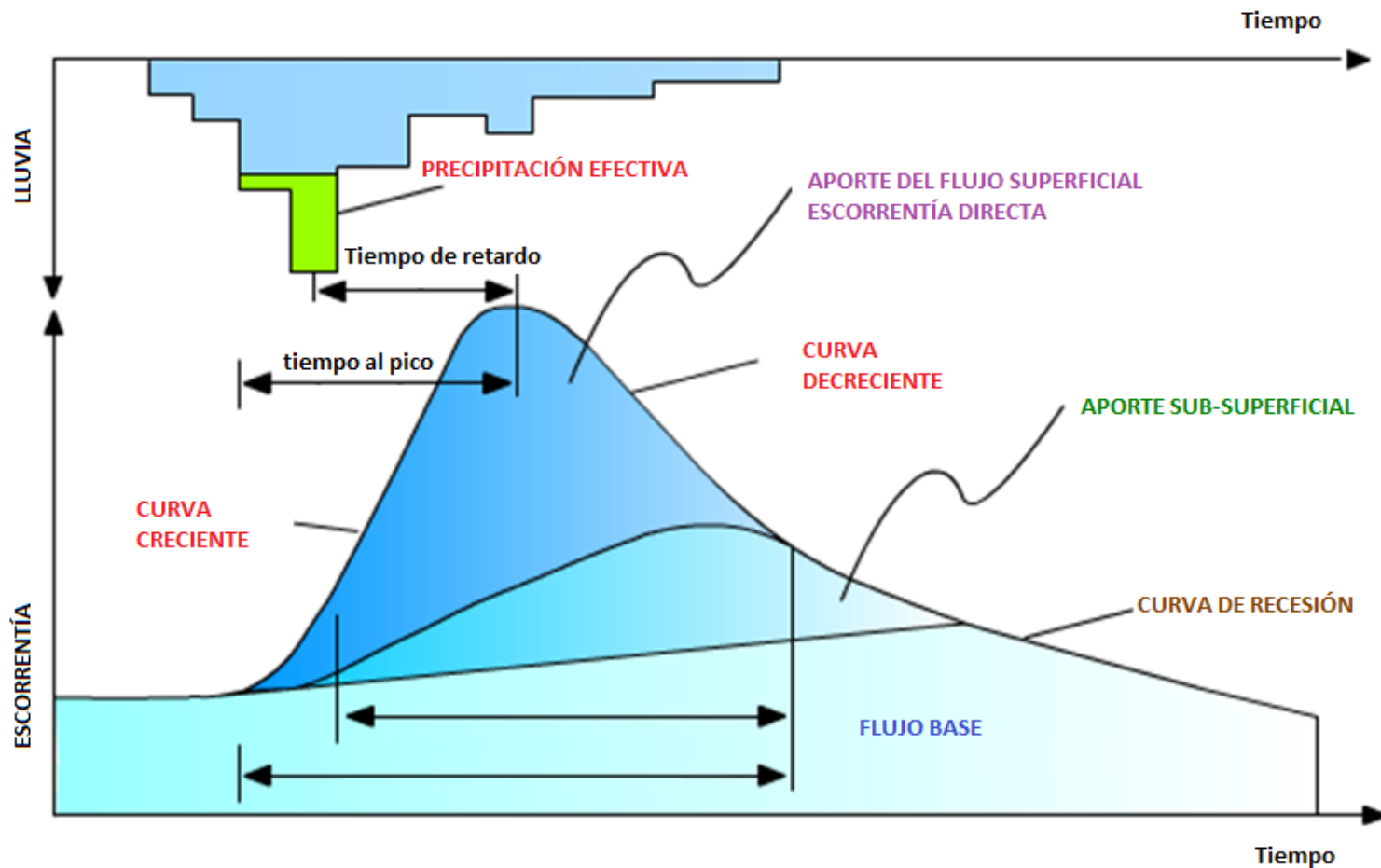
Curva maestra (McCuen, 1989)



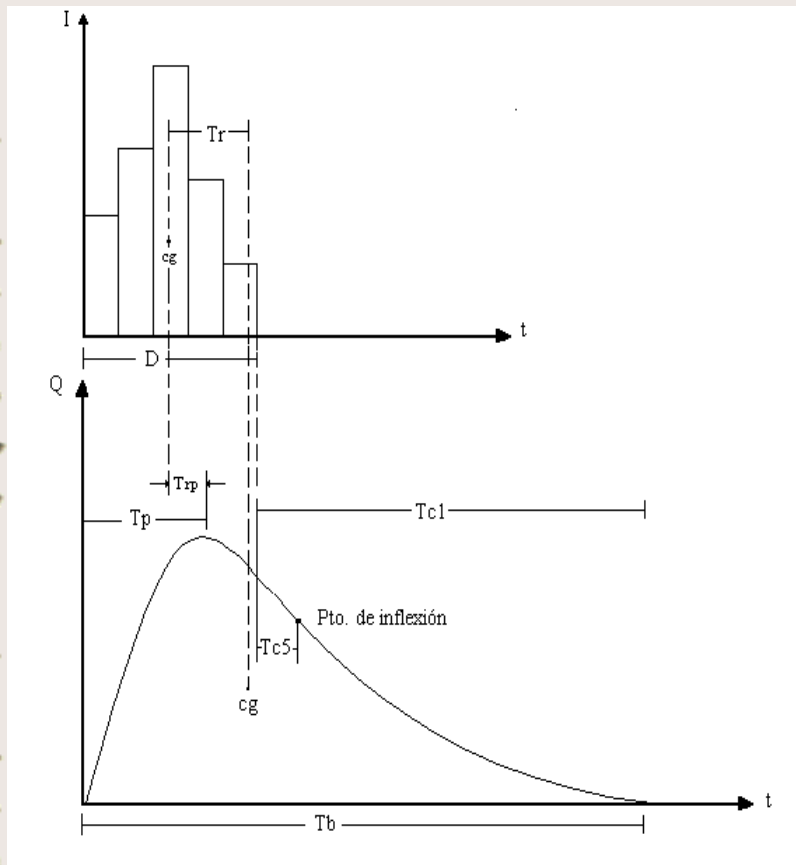
6.3 CONCEPTO DE FLUJO BASE



6.4 ELEMENTO DE UN MODELO LLUVIA- ESCORRENTÍA



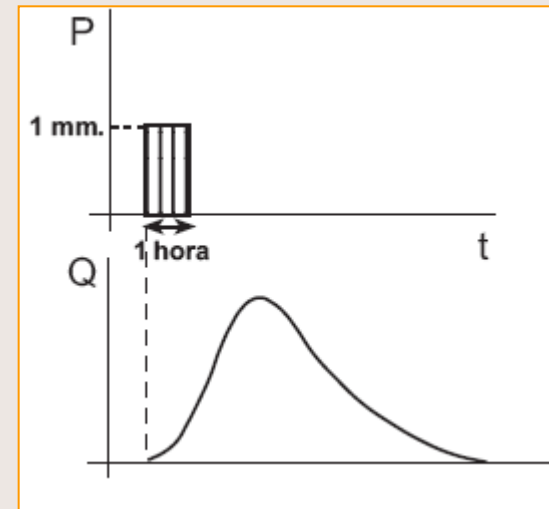
6.4 HIDROGRAMA DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL



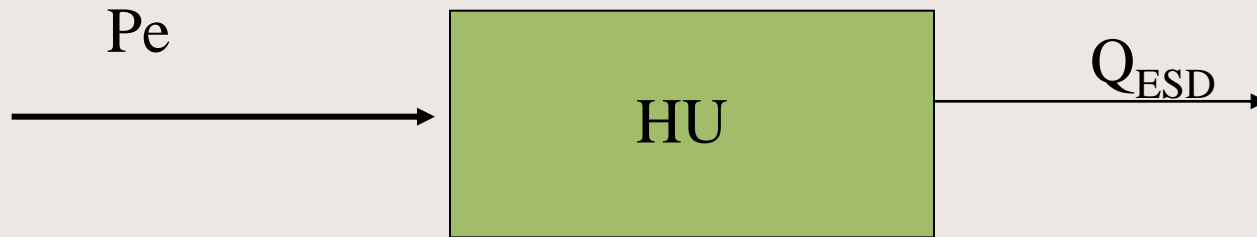
- $tc1, tc5$: tiempo de concentración
- D : tiempo de duración de la lluvia efectiva
- Tp : tiempo al pico
- Tr : tiempo de rezago
- Trp : tiempo de rezago al pico.
- Tb : tiempo base

6.5 EL CONCEPTO DE HIDROGRAMA UNITARIO

- El concepto de hidrograma unitario fue introducido por Sherman, en 1932. El hidrograma unitario es un gráfico que muestra las variaciones que sufre con el tiempo la escorrentía producida por una lluvia de duración y profundidad unitarias, distribuida uniformemente sobre toda la cuenca.



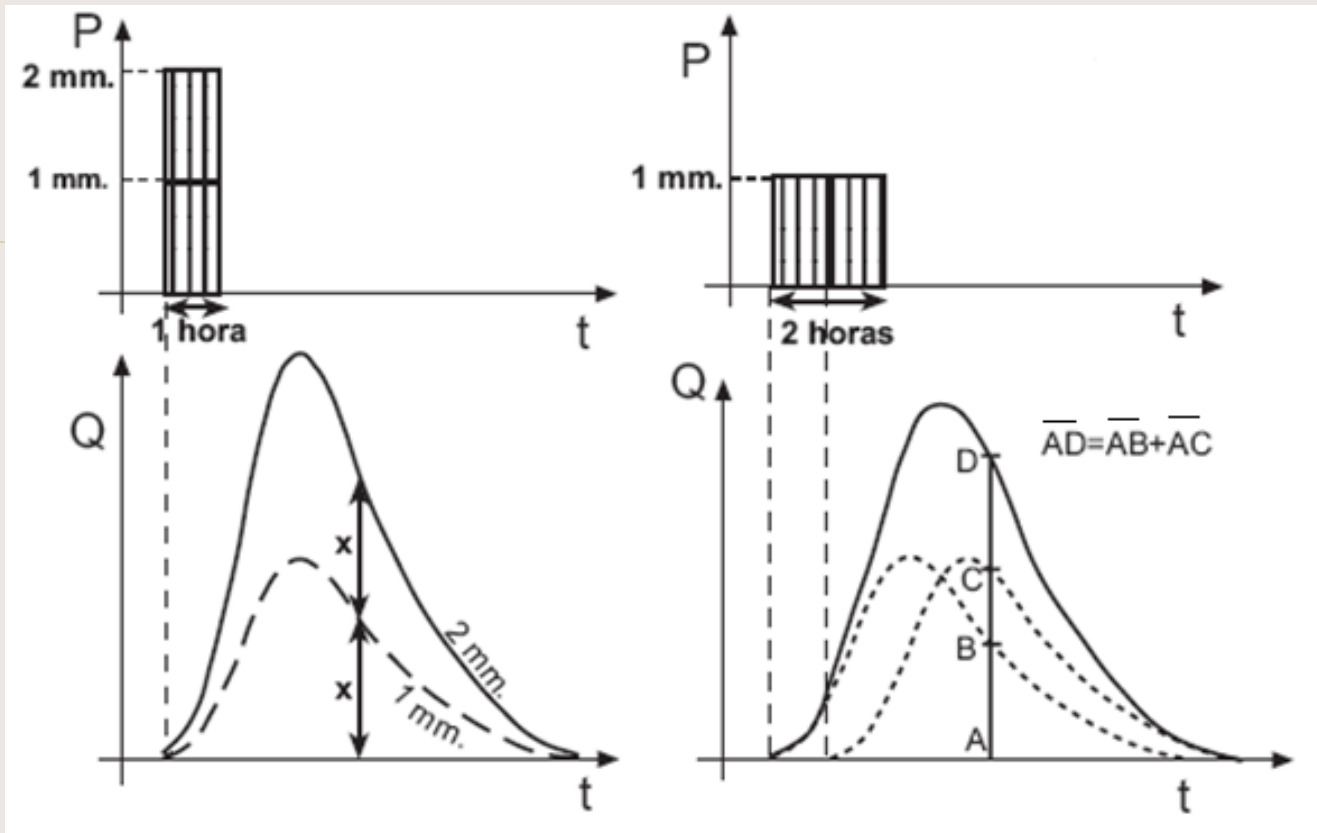
HIDROGRAMA UNITARIO



- **EL HU ES UN MODELO DE CAJA NEGRA**

HIPÓTESIS DEL HIDROGRAMA UNITARIO

- La precipitación efectiva está uniformemente distribuida en un período de tiempo especificado.
- La precipitación efectiva está uniformemente distribuida en toda el área de la cuenca.
- El tiempo base de hidrógrafas unitarias debidas a precipitaciones unitarias iguales **es constante**.
- Las ordenadas de las hidrógrafas de escorrentía con un tiempo base común **son directamente proporcionales**.

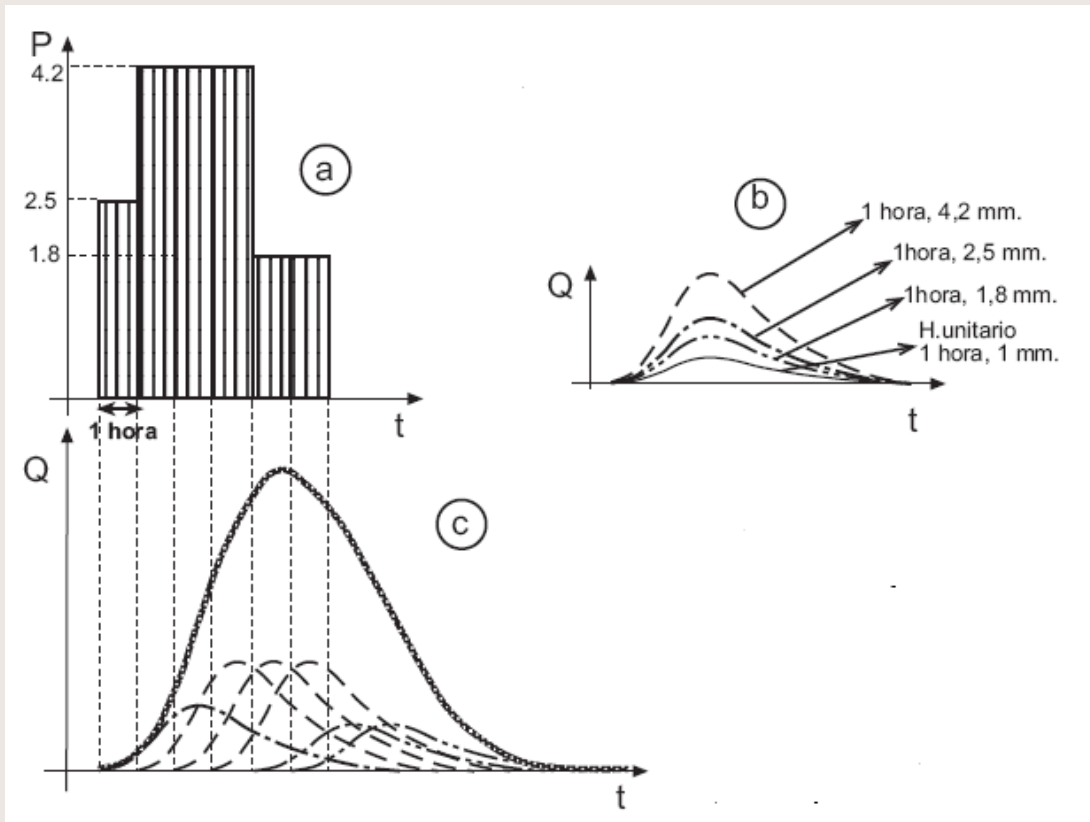


- Para una cuenca, la hidrógrafa de escorrentía para una precipitación de duración dada refleja todas las características físicas de la cuenca. **Igualmente, la hidrógrafa de escorrentía de una duración específica es única para la cuenca.**

EL HU

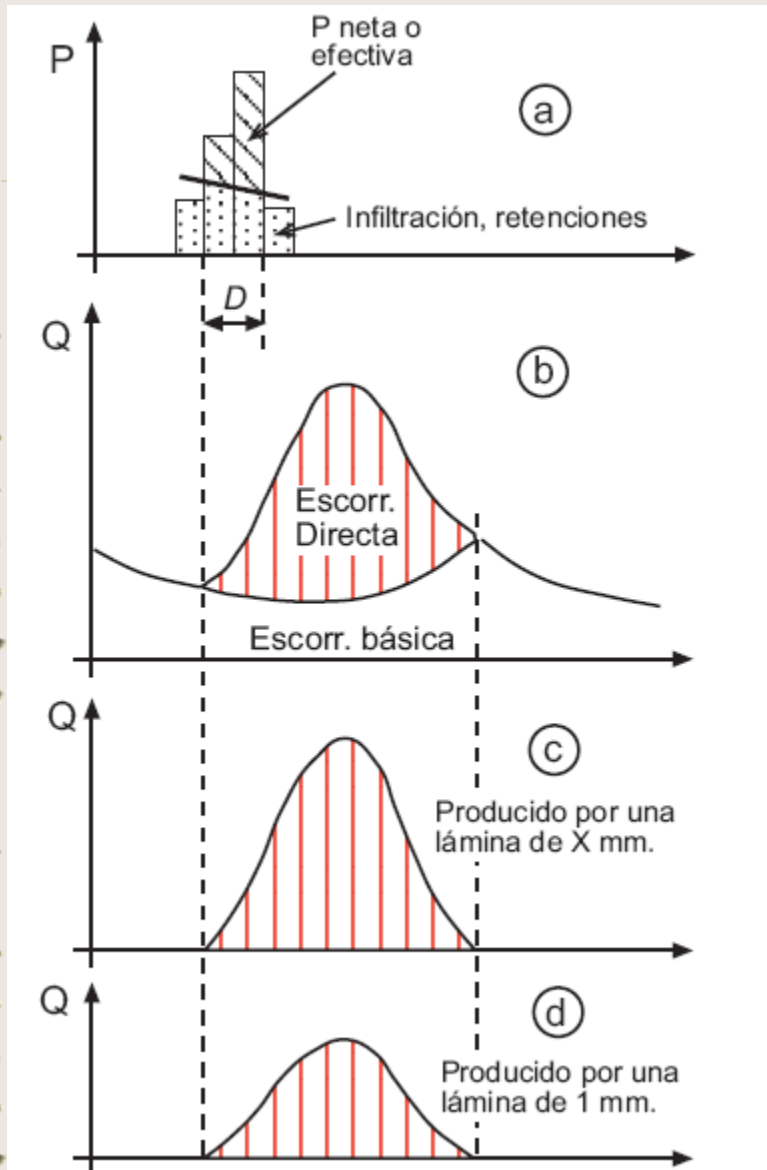
- La teoría de la hidrógrafa unitaria puede resumirse así: es un sistema lineal e invariante en el tiempo, en el cual, si la longitud de la excitación permanece constante pero su volumen crece, el tiempo base de la respuesta no se altera, pero las ordenadas de la respuesta suben en proporción al volumen de la excitación.

En el caso de que no se tengan lluvias aisladas, sino una lluvia larga con intensidades diferentes, se divide esa lluvia en duraciones iguales, con una intensidad constante para cada duración. Se supone que la precipitación en intervalos iguales, produce hidrogramas proporcionales de escorrentía superficial directa. La suma de esos hidrogramas dará el hidrograma total,

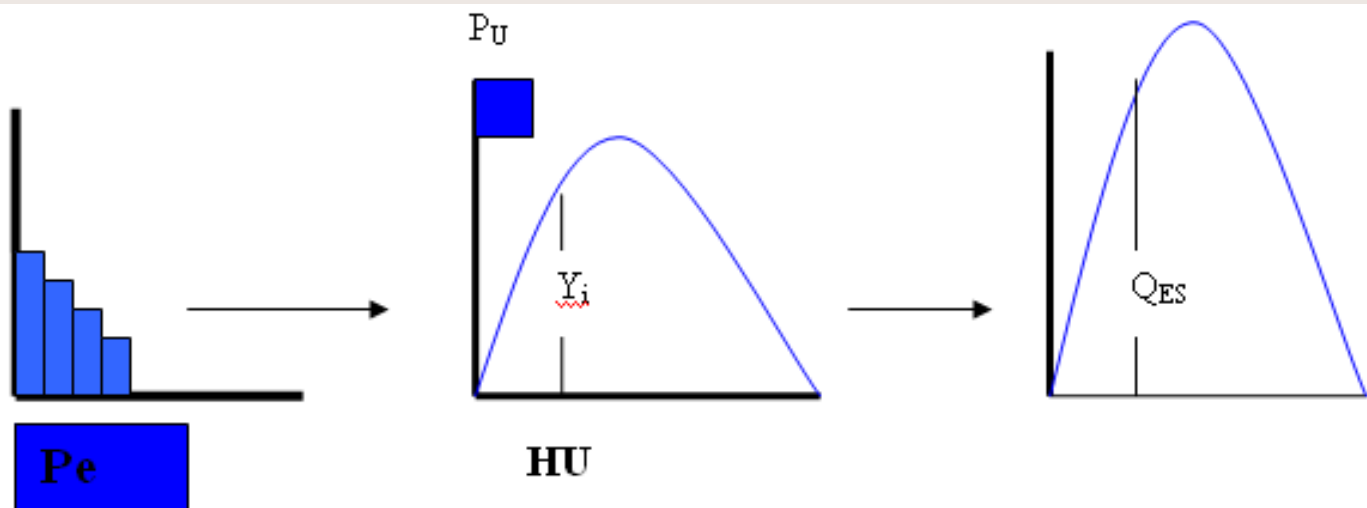


Construcción del HU

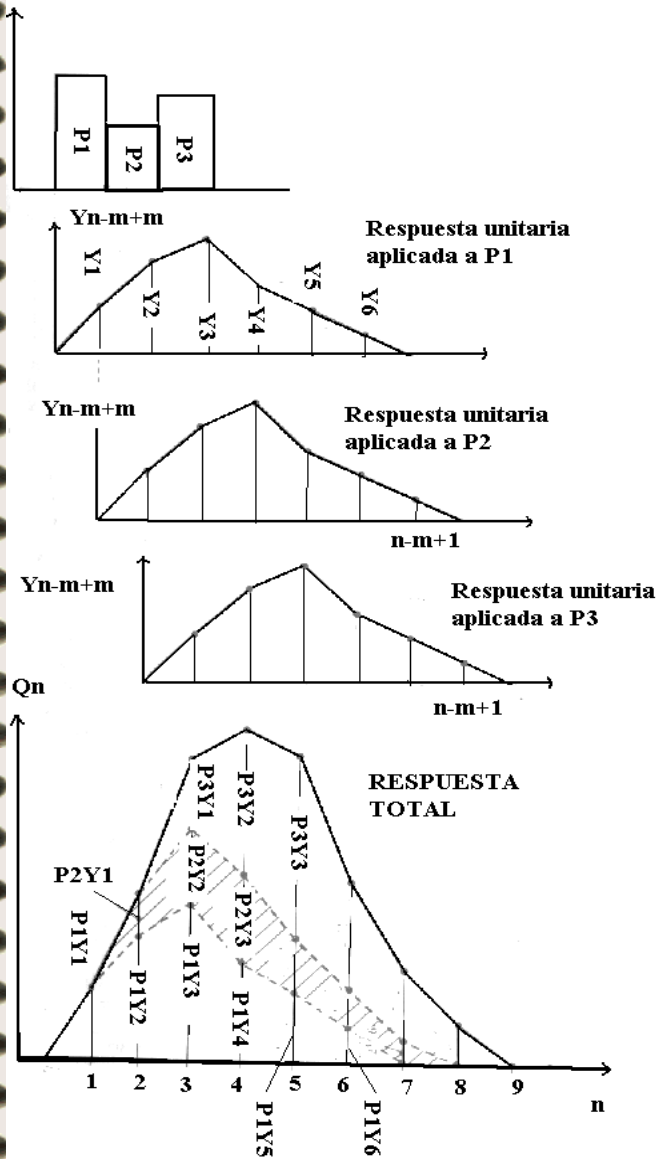
- De los registros de precipitaciones y caudales, se seleccionan tormentas e hidrogramas que cumplan las condiciones enumeradas anteriormente.
- De un hidrograma escogido, se separa, por cualquiera de los métodos vistos, la escorrentía superficial directa.
- Se determina la duración de la lluvia efectiva



L: lámina total precipitada.
 LESD: lámina de escorrentía superficial directa.
 A: área de la cuenca.
 VE: volumen de escorrentía superficial directa.
 Vu: volumen correspondiente a un HU, producido por una lluvia efectiva de 1 mm
 VT: volumen total precipitado
 Q: ordenadas del hidrograma de escorrentía superficial directa.
 Y. ordenadas del HU.
 t: tiempo



$$\frac{P_E}{P_U} = \frac{Q_{ESD}}{Y_i} \Rightarrow Y_i = \frac{Q_{ESD}}{P_E} \times P_U$$



$$Q_1 = P_1 Y_1$$

$$Q_2 = P_1 Y_2 + P_2 Y_1$$

$$Q_3 = P_3 Y_3 + P_2 Y_2 + P_3 Y_1$$

⋮

⋮

⋮

$$Q_{n-1} = P_m Y_{n-m} + P_{m-1} Y_{n-m+1}$$

$$Q_n = \sum_1^m P_m Y_{n-m+1}$$

$$Y = (P', P)^{-1} \bar{Q} \times P'$$

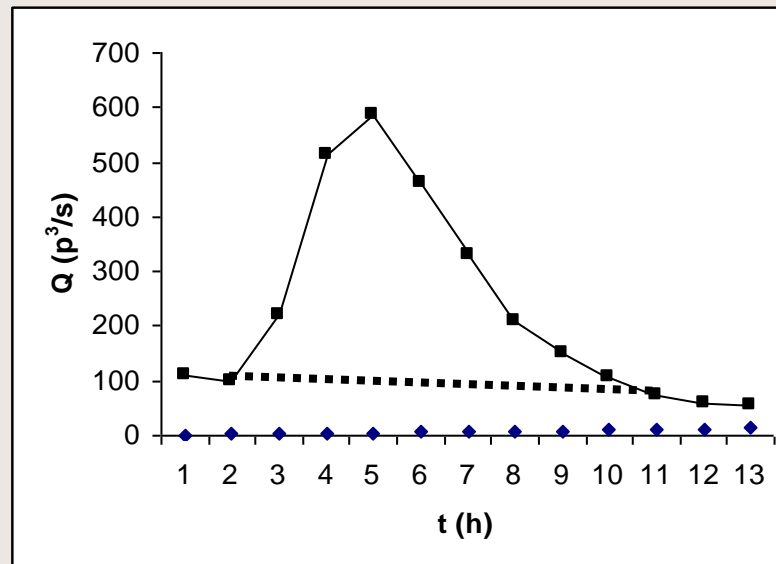
Ejemplo

- Dada una lluvia de duración unitaria con una profundidad efectiva de 1.5 pulgadas, que produce el hidrograma mostrado en la tabla 10.2 en una cuenca de 1.98 millas², se desea:
- a) Determinar la hidrógrafa unitaria.

t(h)	1	2	3	4	5	6	7
Q (p ³ /s)	110	98	220	512	585	460	330

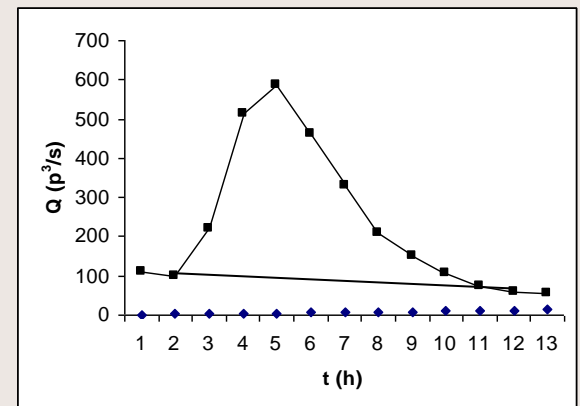
t (h)	8	9	10	11	12	13
Q(p ³ /s)	210	150	105	75	60	54

Si se escoge como punto inicial el de coordenadas (2,98) y como punto final (11, 75), la recta punteada en la figura será la separación entre el flujo base y la escorrentía superficial directa.



- ## ORDENADAS DE LA HIDRÓGRAFA UNITARIA

t(h)	Q(p ³ /s)	Qbase (p ³ /s)	ESD (p ³ /s)	Yi (p ³ /s/pul)
1	110	110	0	
2	98	98	0	
3	220	95.4	124.6	83.1
4	512	92.9	419.1	279.4
5	585	90.3	494.7	329.8
6	460	87.8	372.2	248.1
7	330	85.2	244.8	163.2
8	210	82.6	127.4	84.9
9	150	80.1	69.9	46.6
10	105	77.5	27.5	18.3
11	75	75	0	
12	60	60	0	
13	54	54	0	



b) Hallar la hidrógrafa para la tormenta de diseño siguiente:

t(h)	1	2	3	4
Pe (pul)	0.4	1.1	2.0	1.5

Para calcular la escorrentía superficial directa producida por la tormenta de diseño, se aplica la ecuación de convolución:

$$Q_n = \sum_1^m P_m Y_{n-m+1}$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= Y_1 P_1 \\ &= 83.1 \times 0.4 = 33.24 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_2 &= Y_2 P_1 + Y_1 P_2 \\ &= 279.4 \times 0.4 + 83.1 \times 1.1 = 203.2 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

t(h)	1	2	3	4
Pe (pul)	0.4	1.1	2.0	1.5

Yi
(p³/s/pul)

83.1

279.4

329.8

248.1

163.2

84.9

46.6

18.3

$$\begin{aligned}
 Q3 &= Y3 P1 + Y2 P2 + Y1 P3 \\
 &= 329.8 \times 0.4 + 279.4 \times 1.1 + 83.1 \times 2 \\
 &= 605.5 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q4 &= Y4 P1 + Y3 P2 + Y2 P3 + Y1 P4 \\
 &= 248.1 \times 0.4 + 329.8 \times 1.1 + 279.4 \times 2 \\
 &\quad + 83.1 \times 1.5 \\
 &= 1145.5 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q5 &= Y5 P1 + Y4 P2 + Y3 P3 + Y2 P4 \\
 &= 163.2 \times 0.4 + 248.1 \times 1.1 + 329.8 \times 2 \\
 &\quad + 279.4 \times 1.5 = 1416.9 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q6 &= Y6 P1 + Y5 P2 + Y4 P3 + Y3 P4 \\
 &= 84.9 \times 0.4 + 163.2 \times 1.1 + 248.1 \times 2 + \\
 &\quad 329.8 \times 1.5 \\
 &= 1204.4 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$