



POLITÉCNICA



TEMA 12: Hidrología de cuencas de tamaño medio. Hidrograma unitario



MARTA GONZÁLEZ DEL TÁNAGO
UNIDAD DOCENTE DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA FORESTAL
E.T.S. DE INGENIEROS DE MONTES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

CONTENIDO

- Características en cuencas de tamaño medio
- Método del Número de Curva de escorrentía
- Teoría del Hidrograma Unitario



CUENCA DE TAMAÑO MEDIO: HIPÓTESIS PARA EL CÁLCULO DE AVENIDAS

1º. La intensidad de la lluvia no es uniforme en el tiempo.

La duración del aguacero de cálculo, relacionada con el tiempo de concentración de la cuenca, es suficientemente larga como para no poder asumir que la intensidad de la lluvia se mantiene constante a lo largo de su duración.

2º. La intensidad de la lluvia es uniforme en el espacio.

Las características del aguacero de cálculo son las mismas en toda la superficie de la cuenca vertiente.

3º. En las escorrentías que generan la avenida, domina la escorrentía superficial por falta de infiltración.

4º. El cauce principal es de pequeño tamaño, y no tiene suficiente capacidad de almacenamiento de agua para cambiar la forma del hidrograma.



CUENCAS DE TAMAÑO MEDIO

- Superficie vertiente: Inferior a 100 km²
- El cálculo de caudales máximos se realiza en dos etapas:
 - 1^a.- Cálculo de la escorrentía que produce la tormenta (yetograma de lluvia efectiva). (Método del número de curva de escorrentía)
 - 2^a.- Estimación del hidrograma de la avenida correspondiente. (Teoría del hidrograma unitario)



CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA PRODUCIDA POR UNA TORMENTA: MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA DE ESCORRENTÍA

- Método empírico, elaborado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (1985).
- Calcula la escorrentía producida por una determinada precipitación en función del parámetro “número de curva”, que a su vez depende de las condiciones de infiltración de la zona en que se produce la tormenta.
- El “número de curva” se calcula a partir de una serie de tablas y gráficos, obtenidos en parcelas experimentales con diversidad de condiciones de suelo, vegetación y condiciones de infiltración, con simulaciones de precipitaciones en 24 horas.



MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA

Asume una proporcionalidad entre escorrentía y retención de agua en la cuenca, proponiendo la siguiente expresión:

$$\frac{Q}{P} = \frac{P - Q}{S} \quad \frac{\text{Escorrentía real}}{\text{Escorrentía máxima}} = \frac{\text{Retención real}}{\text{Retención máxima}}$$

Q: Escorrentía producida (mm)

P: Precipitación (mm)

S: Capacidad de retención de agua máxima (mm)

$$S(mm) = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{CN: Número de curva de escorrentía}$$

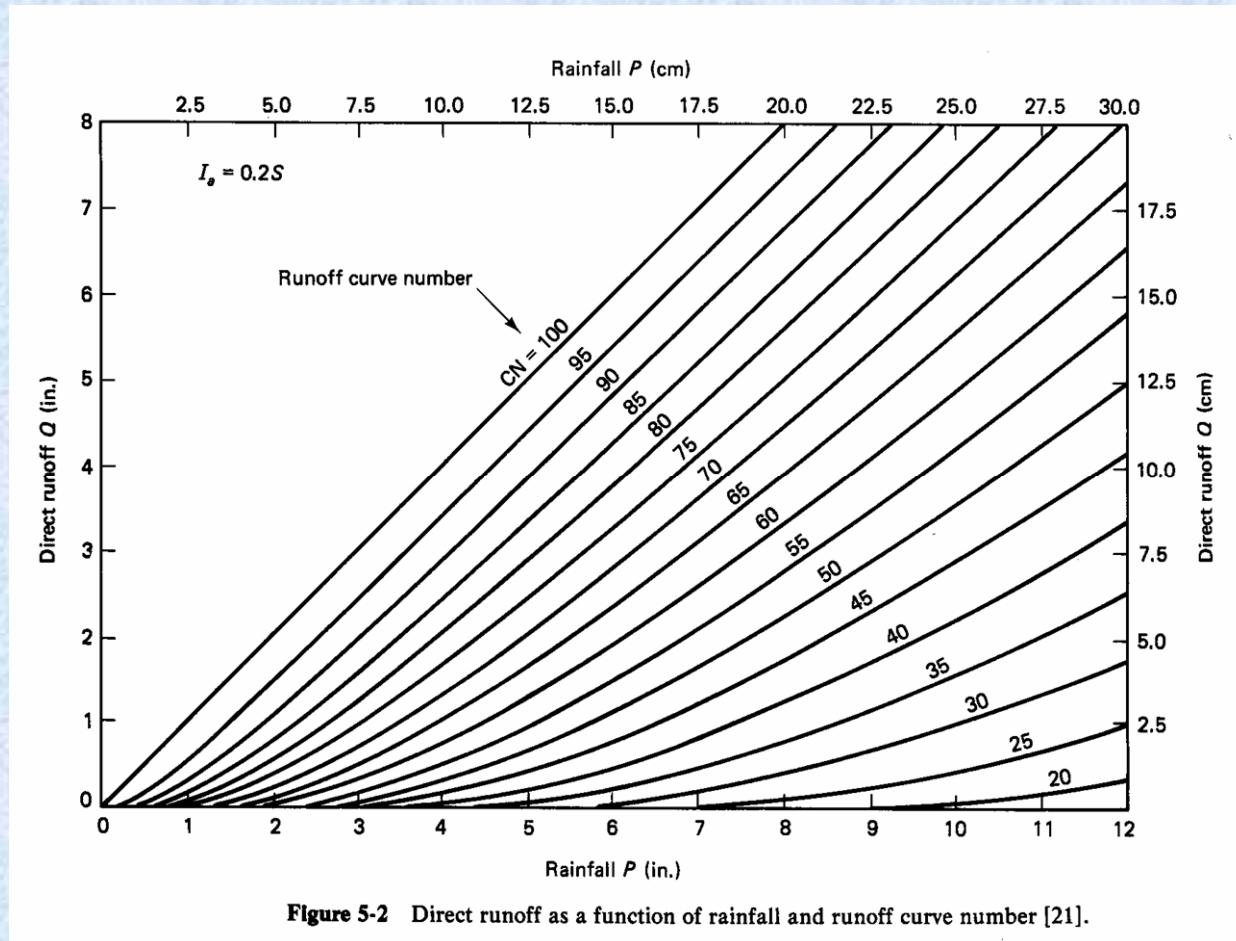
Expresión original
(en pulgadas):

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$



NÚMERO DE CURVA DE ESCORRENTÍA

- Representa una relación empírica entre la precipitación y la escorrentía generada por esa precipitación



V. M. Ponce (1989)



NÚMERO DE CURVA DE ESCORRENTÍA

- Es un parámetro adimensional, cuyos valores oscilan teóricamente entre 1 y 100
- $CN=1$ significa una capacidad de retención máxima en la cuenca ($Q=0$)
- $CN=100$ significa una capacidad de retención nula ($Q=P$)
- En la práctica, los valores más frecuentes están comprendidos entre 40 y 80

El número de curva depende de:

- Tipo de suelo (según su capacidad de infiltración)
- Tipo de cubierta vegetal y uso del suelo
- Tratamiento del suelo (condiciones de infiltración)
- Estado de humedad precedente



TIPOS HIDROLÓGICOS DE SUELOS

Soil Group	Characteristics
A	Low overland-flow potential; high minimum infiltration capacity even when thoroughly wetted ($>0.30 \text{ in. h}^{-1} = 0.76 \text{ cm h}^{-1}$). Deep, well- to excessively drained sands and gravels.
B	Moderate minimum infiltration capacity when thoroughly wetted ($0.15 \text{ to } 0.30 \text{ in. h}^{-1} = 0.38 \text{ to } 0.76 \text{ cm h}^{-1}$). Moderately deep to deep, moderately to well-drained, moderately fine- to moderately coarse-grained (e.g., sandy loam).
C	Low minimum infiltration capacity when thoroughly wetted ($0.05 \text{ to } 0.15 \text{ in. h}^{-1} = 0.13 \text{ to } 0.38 \text{ cm h}^{-1}$). Moderately fine- to fine-grained soils or soils with an impeding layer (fragipan).
D	High overland-flow potential; very low minimum infiltration capacity when thoroughly wetted ($<0.05 \text{ in. h}^{-1} = 0.13 \text{ cm h}^{-1}$). Clay soils with high swelling potential, soils with permanent high-water table, soils with a clay layer near the surface, shallow soils over impervious bedrock.

^aMinimum infiltration capacities given should approximate saturated hydraulic conductivities. (See Section 6.6.2.)

V. M. Ponce (1989)



TABLE 5-2(a) RUNOFF CURVE NUMBERS FOR URBAN AREAS¹ [22]

Cover Description	Curve Numbers for Hydrologic Soil Group:				
	Average Percent Impervious Area ²	A	B	C	D
<i>Fully developed urban areas (vegetation established)</i>					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) ³ :					
Poor condition (grass cover less than 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50 to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover greater than 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curves and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) ⁴		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-in. sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
$\frac{1}{8}$ ac. or less (town houses)	65	77	85	90	92
$\frac{1}{4}$ ac.	38	61	75	83	87
$\frac{1}{3}$ ac.	30	57	72	81	86
$\frac{1}{2}$ ac.	25	54	70	80	85
1 ac.	20	51	68	79	84
2 ac.	12	46	65	77	82
<i>Developing urban areas</i>					
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation) ⁵		77	86	91	94
Idle lands (curve numbers (CNs) are determined using cover types similar to those in Table 5-2(c)).					

V. M. Ponce (1989)



TABLE 5-2(b) RUNOFF CURVE NUMBERS FOR CULTIVATED AGRICULTURAL LANDS¹ [22]

Cover Description			Curve Numbers for Hydrologic Soil Group:			
Cover Type	Treatment ²	Hydrologic Condition ³	A	B	C	D
Fallow	Bare soil	—	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured and terraced (C&T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
	C&T + CR	Poor	65	73	79	81
		Good	61	70	77	80
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C&T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	C&T + CR	Poor	60	71	78	81
		Good	58	69	77	80
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C&T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

V. M. Ponce (1989)



TABLE 5-2(c) RUNOFF CURVE NUMBERS FOR OTHER AGRICULTURAL LANDS¹ [22]

Cover Description		Curve Numbers for Hydrologic Soil Group:			
		A	B	C	D
Cover Type	Hydrologic Condition				
Pasture, grassland, or range-continuous forage for grazing ²	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow-continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed grass mixture with brush being the major element ³	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 ⁴	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm) ⁵	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. ⁶	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 ⁴	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86

V. M. Ponce (1989)



TABLE 5-2(d) RUNOFF CURVE NUMBERS FOR ARID AND SEMIARID RANGELANDS¹ [22]

Cover Description	Curve Numbers for Hydrologic Soil Group:					
	Cover Type	Hydrologic Condition ²	A ³	B	C	D
Herbaceous—mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	Poor			80	87	93
	Fair			71	81	89
	Good			62	74	85
Oak-aspen—mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush.	Poor			66	74	79
	Fair			48	57	63
	Good			30	41	48
Pinyon-juniper—pinyon, juniper, or both; grass understory.	Poor			75	85	89
	Fair			58	73	80
	Good			41	61	71
Sagebrush with grass understory.	Poor			67	80	85
	Fair			51	63	70
	Good			35	47	55
Desert shrub—major plants include saltbrush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	Poor	63		77	85	88
	Fair	55		72	81	86
	Good	49		68	79	84

V. M. Ponce (1989)



ESTADO DE HUMEDAD PRECEDENTE

El método del número de curva reconoce tres estados de humedad precedentes, normal (II), muy seco (I) y muy húmedo (III), según la lluvia caída en los días anteriores.

Las tablas originales se refieren a condiciones normales de humedad (II).

Para cambiar el número de curva a otras condiciones, se proponen las siguientes expresiones:

$$\frac{S_I}{S_{II}} \approx \frac{S_{II}}{S_{III}} \approx 2,3$$

Para condición seca:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2,3 - 0,013CN_{II}}$$

Para condición húmeda:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0,43 + 0,0057CN_{II}}$$



ESTADO DE HUMEDAD PRECEDENTE

El método del número de curva reconoce tres estados de humedad precedentes, normal (II), muy seco (I) y muy húmedo (III), según la lluvia caída en los días anteriores.

TABLE 5-1 SEASONAL RAINFALL LIMITS FOR THREE LEVELS OF ANTECEDENT MOISTURE CONDITION (AMC) [21]

AMC	Total 5-d Antecedent Rainfall (cm)	
	Dormant Season	Growing Season
I	Less than 1.3	Less than 3.6
II	1.3 to 2.8	3.6 to 5.3
III	More than 2.8	More than 5.3

Note: This table was developed using data from the midwestern United States. Therefore, caution is recommended when using the values supplied in this table for AMC determinations in other geographic or climatic regions.

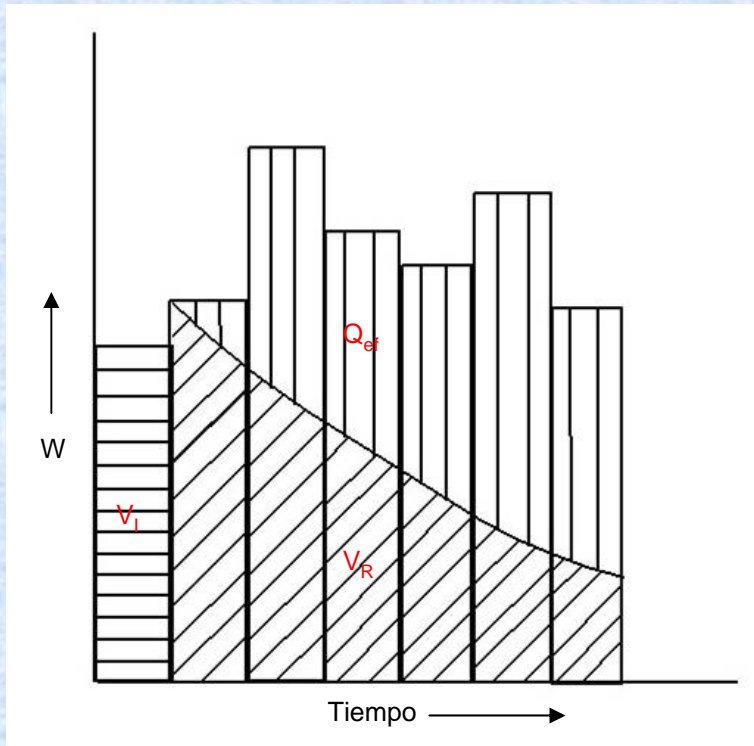
V. M. Ponce (1989)



Cálculo del volumen de escorrentía:

$$Q = \frac{P^2}{P + S}$$

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$



$I_a =$ Abstracciones iniciales = $0,2S$
(en la figura adjunta = V_i)

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)}$$

Definiciones de la abstracciones iniciales (V_i), infiltración (V_R) y escorrentía de la tormenta (Q_{ef}), en el método SCS.

MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA : VALORACIÓN DEL MÉTODO

- Es un método relativamente sencillo, cuyo uso se ha estandarizado en todas las regiones de Estados Unidos y en numerosos países.
- Se incluye en la mayoría de los modelos hidrológicos comerciales (paquetes informáticos) de mayor utilización en el campo de la Hidrología aplicada a la ingeniería.
- Tiene en cuenta las variables que tienen mayor influencia en la generación de escorrentías y dispone de una amplia bibliografía de carácter empírico.
- No tiene en cuenta la intensidad de la lluvia, utilizando exclusivamente el dato de altura P (mm).
- En sus resultados, tiende a sobreestimar el volumen de escorrentía, al ser muy sensible al parámetro “número de curva”.
- Las tablas empíricas para asignar el número de curva a cada situación, no han sido suficientemente contrastadas fuera de Estados Unidos, en regiones (ej. Europa) donde la historia de uso del suelo, de mucha mayor antigüedad, puede tener una gran influencia sobre la formación de escorrentía.



CUENCAS DE TAMAÑO MEDIO

- Superficie vertiente: Inferior a 100 km²
- El cálculo de caudales máximos se realiza en dos etapas:
 - 1^a.- Cálculo de la escorrentía que produce la tormenta (yetograma de lluvia efectiva). (Método del número de curva de escorrentía)
 - 2^a.- Estimación del hidrograma de la avenida correspondiente. (Teoría del hidrograma unitario)



CÁLCULO DEL HIDROGRAMA PRODUCIDO POR UNA TORMENTA

TEORÍA DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Concepto de Hidrograma Unitario

- El Hidrograma Unitario es el hidrograma generado por la unidad de escorrentía.
- Su duración D se refiere a la de la tormenta que produce dicha unidad de escorrentía, cuya intensidad uniforme en D es $1/D$.
- Se trata de un hidrograma unitario o “patrón”, que sirve para calcular el hidrograma de una tormenta dada, partiendo de una serie de hipótesis de cálculo.
- Fue propuesto por Sherman en 1932, y desde entonces es el procedimiento más frecuentemente utilizado para calcular los hidrogramas de avenidas, siendo recomendada su aplicación en cuencas de tamaño medio.



TEORÍA DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Hipótesis de partida:

1ª.- La cuenca vertiente responde como un sistema **lineal**.

Si una tormenta de 1 mm de escorrentía produce un caudal punta de q m³/s, una tormenta de n mm producirá un caudal punta de $n*q$ m³/s

La forma del hidrograma depende únicamente de la duración de la tormenta. Los hidrogramas producidos por tormentas de la misma duración, varían únicamente en su escala vertical, la cual es proporcional a la altura de escorrentía de cada tormenta.

2ª.- La cuenca vertiente responde como un sistema **independiente del tiempo**.

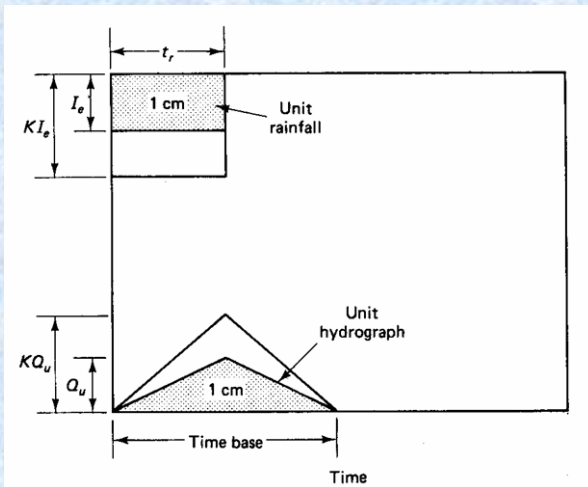
Los hidrogramas generados por una determinada escorrentía no dependen de lo sucedido anteriormente, ni del momento en que se producen.



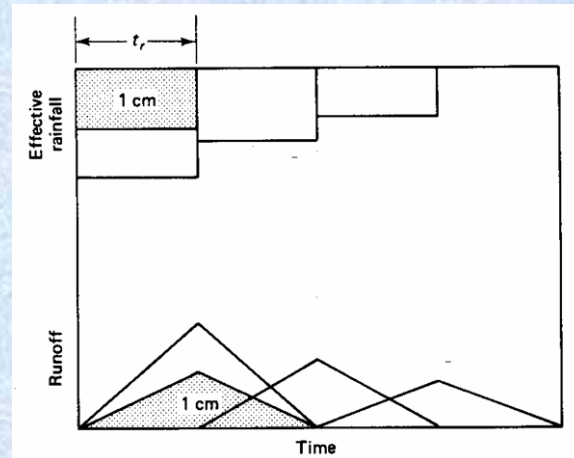
TEORÍA DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Aplicando la teoría del hidrograma unitario, se puede obtener el hidrograma correspondiente a cualquier tormenta, por “convolución de hidrogramas”:

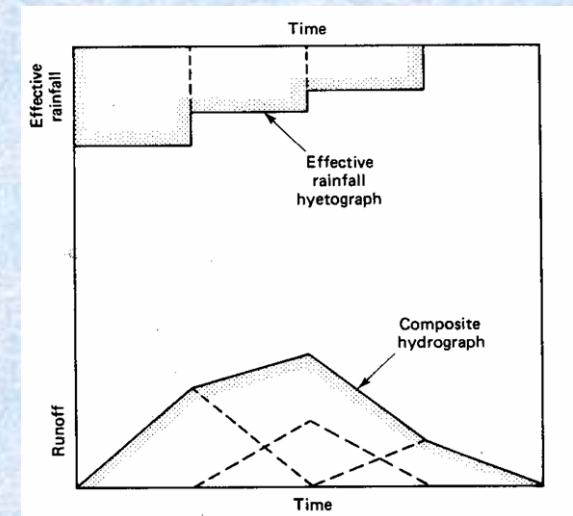
Superposición de hidrogramas (*principio de independencia del tiempo*), cada uno de ellos producto del hidrograma unitario (*principio de linealidad*) por la altura de escorrentía de cada intervalo en que se ha descompuesto el yetograma de cálculo de la avenida correspondiente.



a: Linealidad



b: Superposición



c: Convolución

V. M. Ponce (1989)



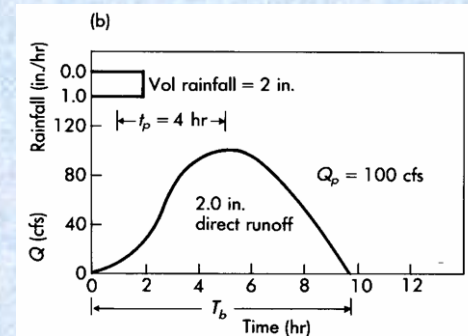
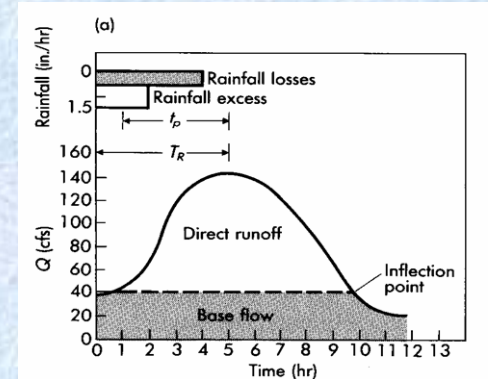
OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO

A) Cuencas aforadas: Disponibilidad de datos Precipitaciones - Caudal

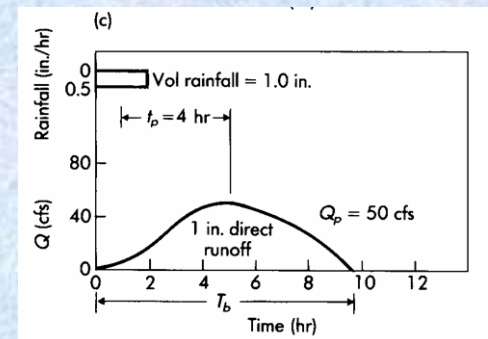
1º.- Separación de escorrentías. Obtención del hidrograma correspondiente a la escorrentía de tormenta y relación con el yetograma correspondiente.

2º.- Estimación de la altura de escorrentía de la tormenta, integrando el área del hidrograma de tormenta (volumen de escorrentía) y dividiéndolo por la superficie de la cuenca vertiente.

3º.- Obtención del hidrograma unitario, dividiendo las ordenadas del hidrograma de tormenta por la altura de escorrentía de dicha tormenta.



Bedient
y Huber (1992)



OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO

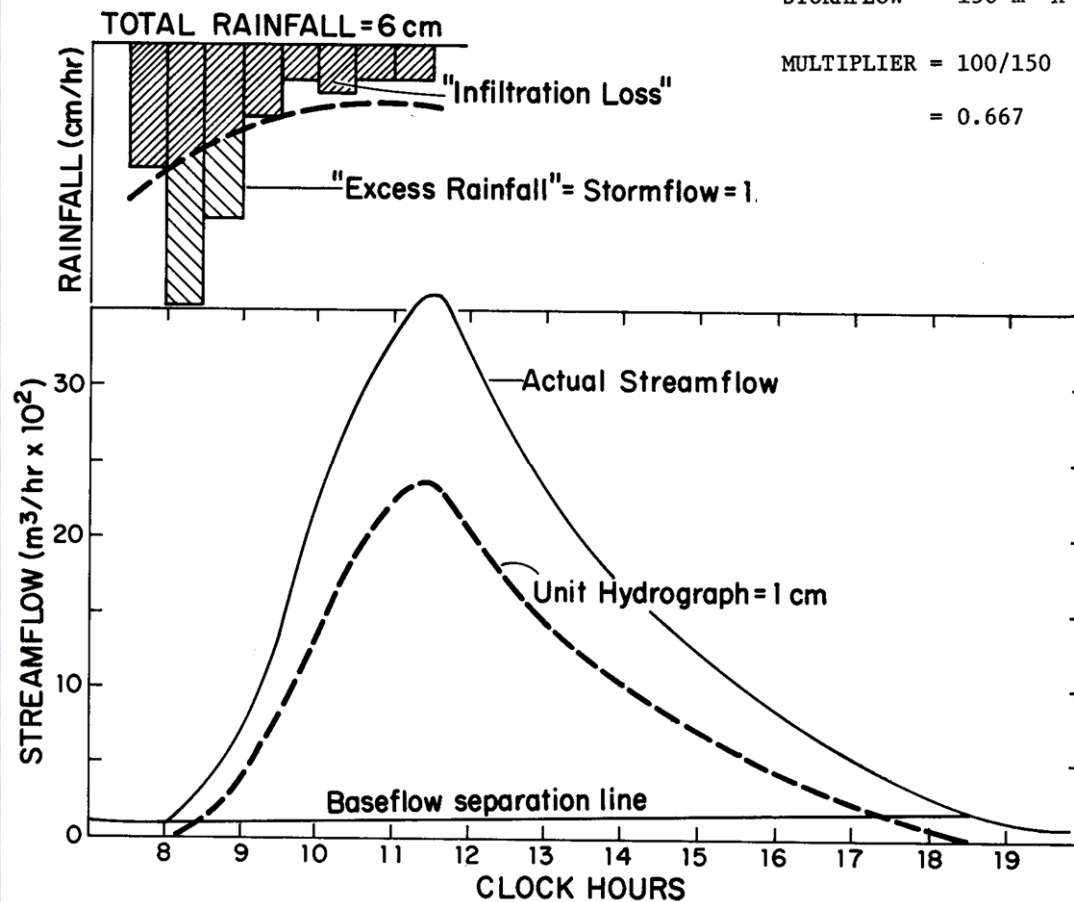
BASIN AREA = 100 hectares

UNIT GRAPH = $100 \text{ m}^3 \times 10^2$

STORMFLOW = $150 \text{ m}^3 \times 10^2$

MULTIPLIER = $100/150$
= 0.667

Clock Time (from-to) hr	Actual Stream-flow	Base-flow	Storm-flow	Unit Graph Ordinate
7 - 8	1.0	1.0	0	0
8 - 9	3.3	1.1	2.2	1.5
9 -10	13.2	1.2	12.0	8.0
10 -11	29.7	1.3	28.4	18.9
11 -12	35.6	1.4	34.2	22.8
12 -13	26.8	1.5	25.3	16.9
13 -14	20.2	1.6	18.6	12.4
14 -15	14.9	1.7	13.2	8.8
15 -16	10.5	1.8	8.7	5.8
16 -17	7.0	1.9	5.1	3.4
17 -18	4.3	2.0	2.3	1.5
18 -19	2.0	-	0	0
			150.0	100.0



Hewlett (1982)



OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO

B) Cuencas no aforadas: No existen datos de caudales relacionados con lluvias

En este caso se utilizan **Hidrogramas Unitarios Sintéticos**

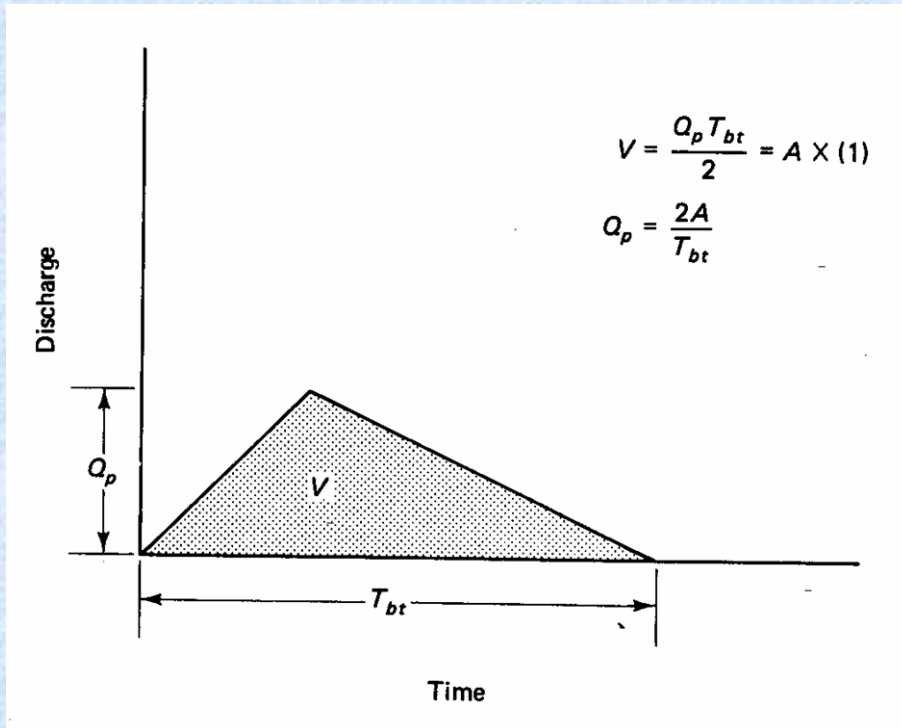
Un Hidrograma Unitario Sintético es aquél derivado de fórmulas empíricas, que se puede utilizar en cuencas donde no existen datos de aforos.

Existen diferentes procedimientos o métodos para definir hidrogramas unitarios sintéticos, siendo uno de los más utilizados el propuesto por el Soil Conservation Service de Estados Unidos (1950).

En general, los hidrogramas unitarios sintéticos tratan de establecer el tiempo base y el tiempo punta de este hidrograma en función de variables geomorfológicas de la cuenca vertiente, cuyo valor es fácilmente obtenible a partir de cartografía.



HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR



El hidrograma unitario triangular queda definido al definir su tiempo base.

V. M. Ponce (1989)

El S.C.S define este tiempo base según las siguientes relaciones empíricas, establecidas a través del análisis de numerosos casos:

$$T_{bt} = \frac{8}{3} t_p$$

$$T_b = 5 t_p$$

HIDROGRAMA UNITARIO DEL S.C.S. (USDA, 1985)

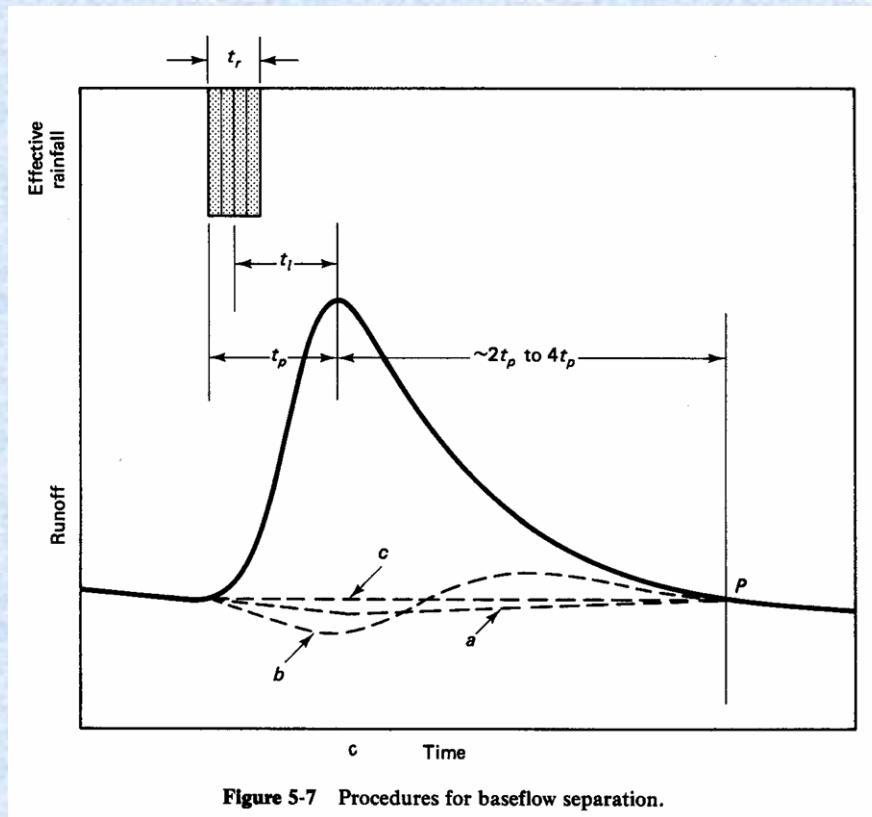
Expresiones analíticas:

$$t_l = 0,6t_c \quad \frac{t_p}{t_r} = 5$$

$$t_p = \frac{1}{2}t_r + t_l = \frac{1}{2}t_r + 0,6t_c$$

$$T_{bt} = \frac{8}{3}t_p$$

$$q_p = \frac{1 * A}{\frac{1}{2}T_{bt}} = \frac{2A}{\frac{8}{3}t_p} = \frac{0,75A}{t_p}$$



V. M. Ponce (1989)

HIDROGRAMA UNITARIO DEL S.C.S. (USDA, 1985)

Expresión analítica:

$$q_p = \frac{0,75A}{t_p}$$

En unidades métricas:

$$q_p = \frac{0,208A}{t_p}$$

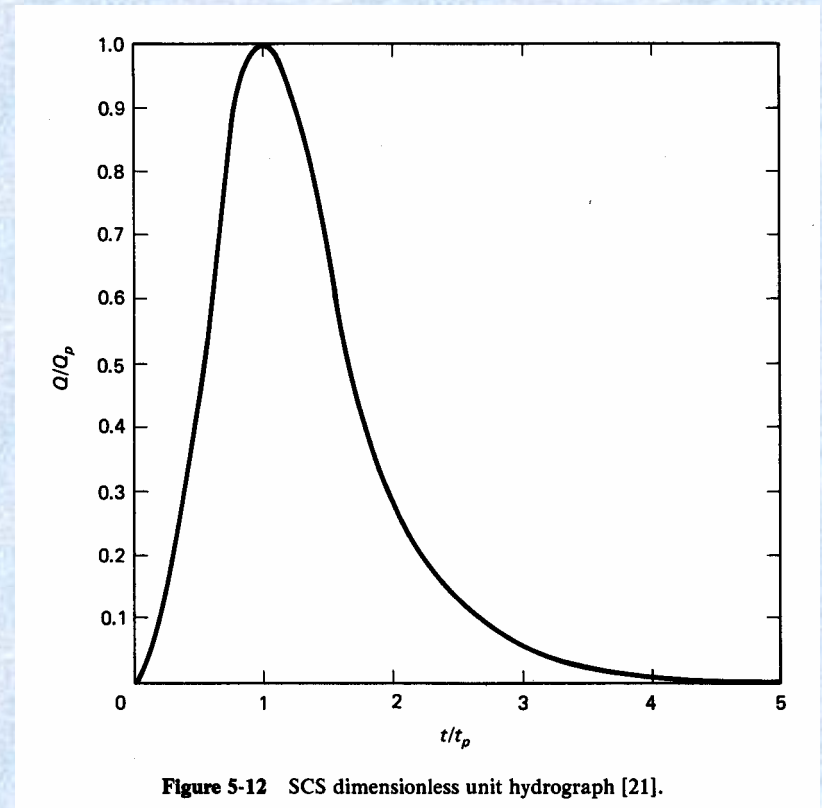
q_p (m³/s)

A (km²)

t_p (horas)

Q (mm)

Expresión gráfica:



V. M. Ponce (1989)

HIDROGRAMA UNITARIO DEL S.C.S. (USDA, 1985)

El hidrograma “adimensional” sirve para definir la forma de cualquier hidrograma, conociendo su t_p y su q_p

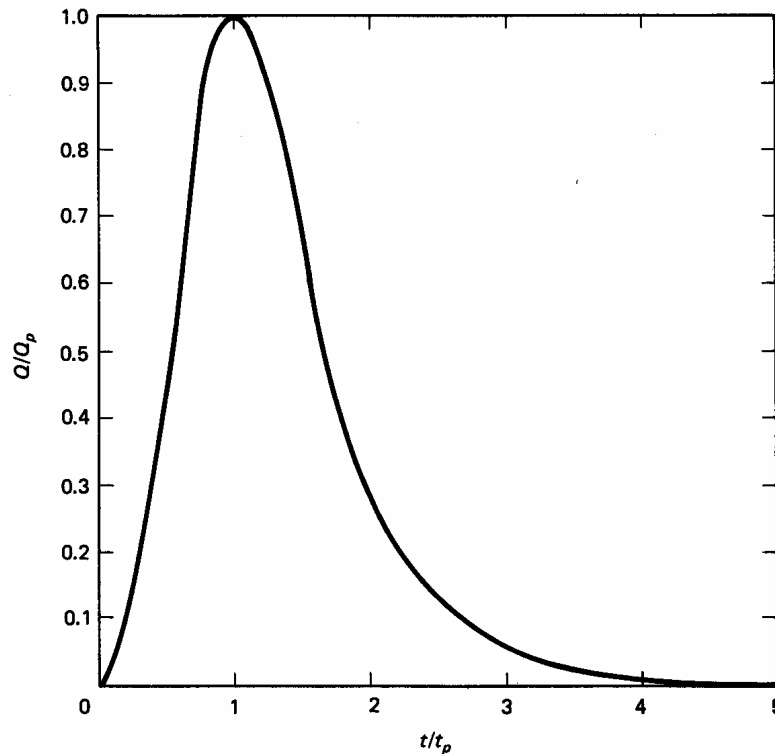


Figure 5-12 SCS dimensionless unit hydrograph [21].

TABLE 5-7 UNIT HYDROGRAPH ORDINATES:
EXAMPLE 5-4

($Q_p = 6.68 \text{ m}^3/\text{s}$; $t_p = 2 \text{ h}$)

t/t_p	Q/Q_p	t (h)	Q (m^3/s)
0.0	0.00	0.0	0.000
0.2	0.10	0.4	0.668
0.4	0.31	0.8	2.071
0.6	0.66	1.2	4.410
0.8	0.93	1.6	6.212
1.0	1.00	2.0	6.680
1.2	0.93	2.4	6.212
1.4	0.78	2.8	5.210
1.6	0.56	3.2	3.740
1.8	0.39	3.6	2.605
2.0	0.28	4.0	1.870
2.2	0.207	4.4	1.382
2.4	0.147	4.8	0.982
2.6	0.107	5.2	0.714
2.8	0.077	5.6	0.514
3.0	0.055	6.0	0.367
3.2	0.040	6.4	0.267
3.4	0.029	6.8	0.194
3.6	0.021	7.2	0.140
3.8	0.015	7.6	0.100
4.0	0.011	8.0	0.073
4.2	0.010	8.4	0.067
4.4	0.007	8.8	0.047
4.6	0.003	9.2	0.020
4.8	0.0015	9.6	0.010
5.0	0.0000	10.0	0.000

CAMBIO DE LA DURACIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Sea D la duración del hidrograma unitario disponible, y D' la nueva duración deseada.

1º.- D' es múltiplo de D

El cambio de duración del hidrograma unitario se puede hacer por *superposición de hidrogramas*.

Ejemplo: Cambiar el H.U. de D h en un H.U. de nD h ($D=1$, $n=2,3$)

Superponer el H.U. de D h n veces, desplazando cada H.U. del anterior D h.

Por convolución, tenemos un H. de n unidades de escorrentía, en nD h.

Dividimos las ordenadas del nuevo H. por n , para obtener el H.U. de nD h.

TABLE 5-8 CHANGE IN UNIT HYDROGRAPH DURATION, SUPERPOSITION METHOD: EXAMPLE 5-5

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Time (h)	1-h UH	Lagged 1 h	Lagged 2 h	2-h UH	3-h UH
0	0	0	0	0	0
1	100	0	0	50	33
2	200	100	0	150	100
3	400	200	100	300	233
4	800	400	200	600	467
5	700	800	400	750	633
6	600	700	800	650	700
7	500	600	700	550	600
8	400	500	600	450	500
9	300	400	500	350	400
10	200	300	400	250	300
11	100	200	300	150	200
12	0	100	200	50	100
13	0	0	100	0	33
14	0	0	0	0	0
Sum	4300			4300	4299

V. M. Ponce (1989)



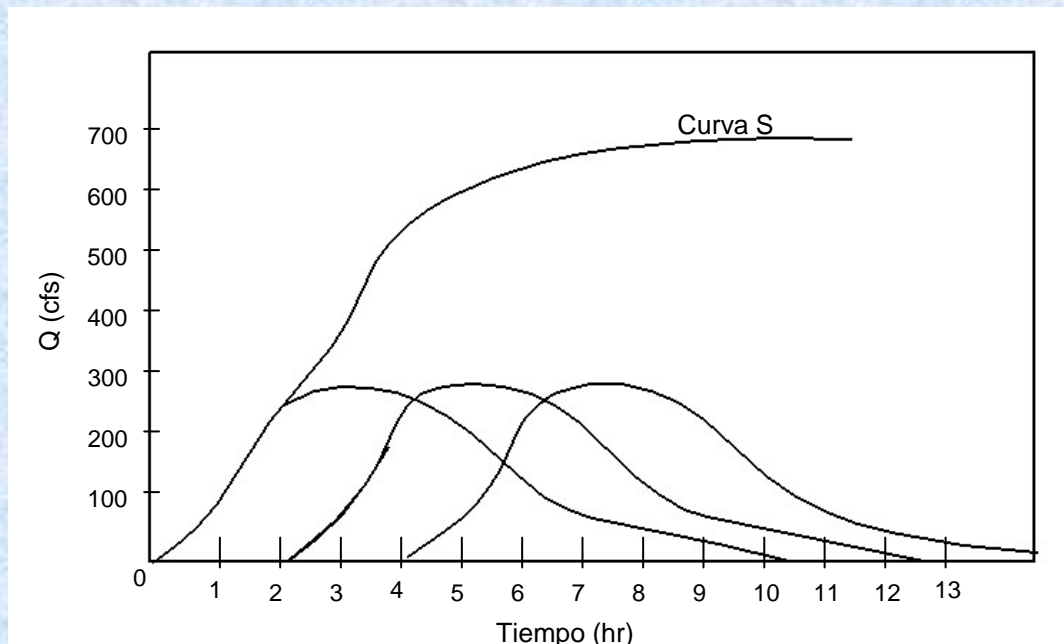
CAMBIO DE LA DURACIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Sea D la duración del hidrograma unitario disponible, y D' la nueva duración deseada.

1º.- D' no es múltiplo de D

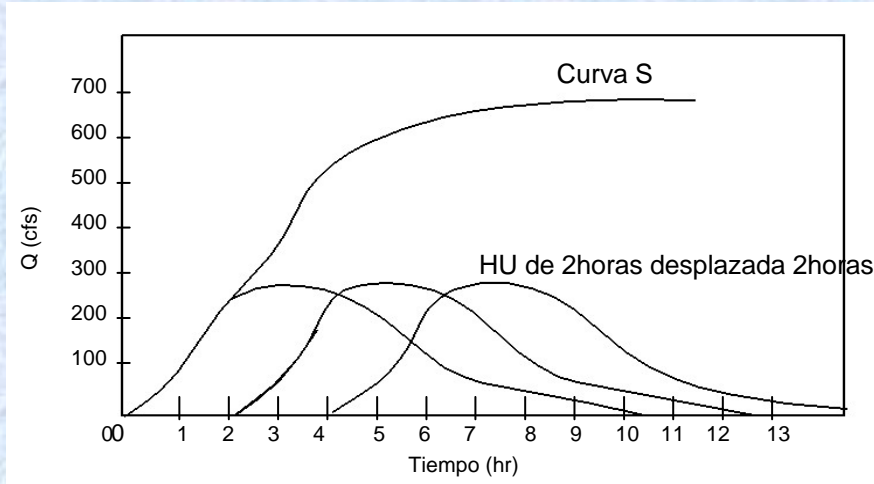
El cambio de duración del hidrograma unitario se puede hacer a través de la *curva S*.

La Curva S, obtenida al superponer un hidrograma unitario de D horas durante un tiempo indefinido, representa un hidrograma de duración infinita, correspondiente a una escorrentía de intensidad $1/D$.

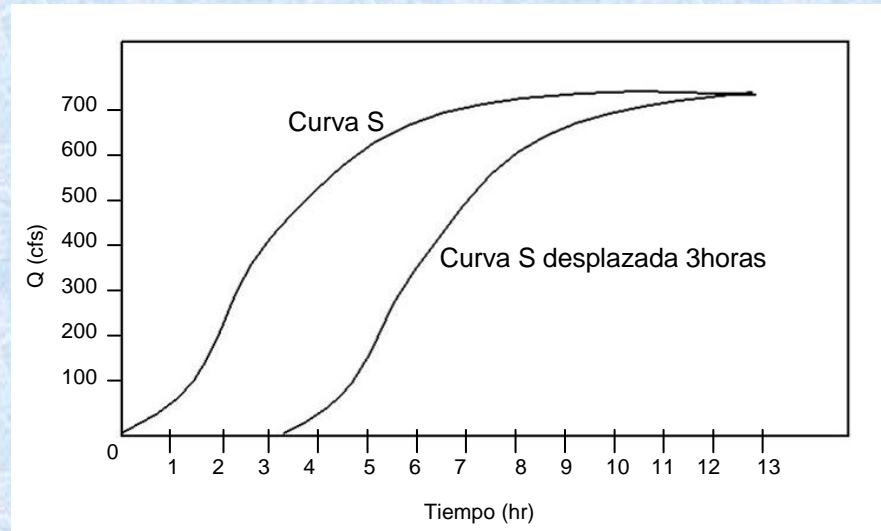


CAMBIO DE DURACIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO: CURVA S

1º. Obtención de la curva S para el H.U. de D horas



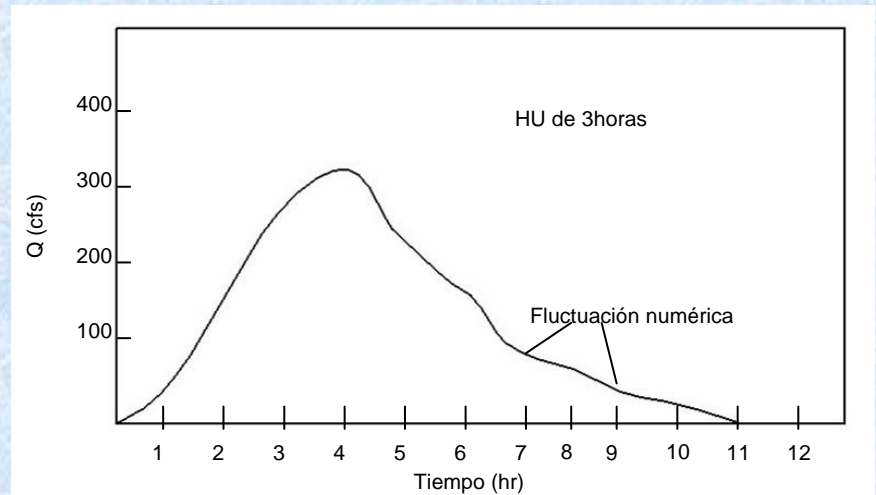
2º. Desplazar la curva S D´ horas



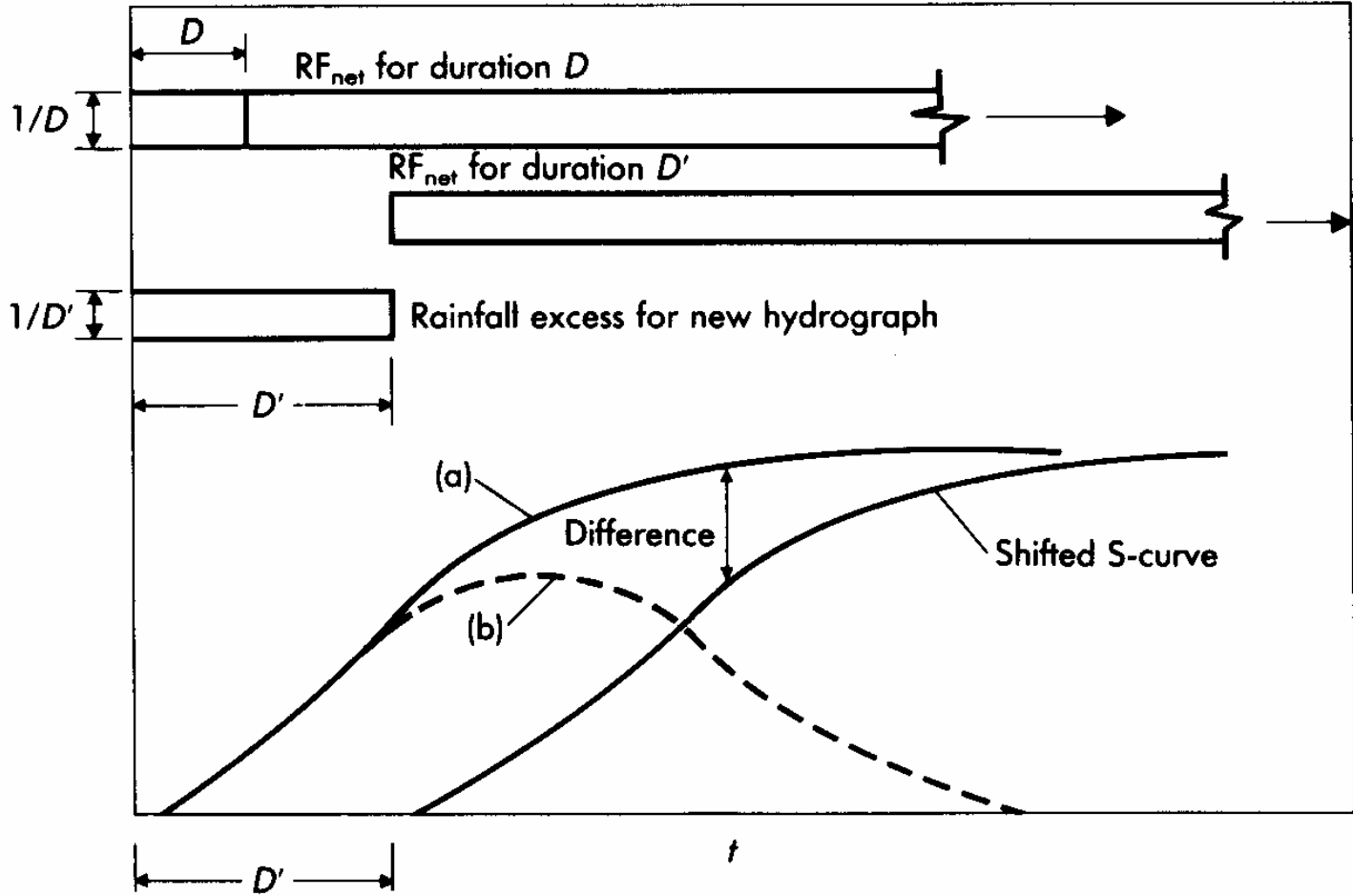
3º. Restar a la curva S primera, la curva S segunda

4º. Multiplicar el hidrograma resultante por la relación D/D' .

Bedient y Huber (1992)



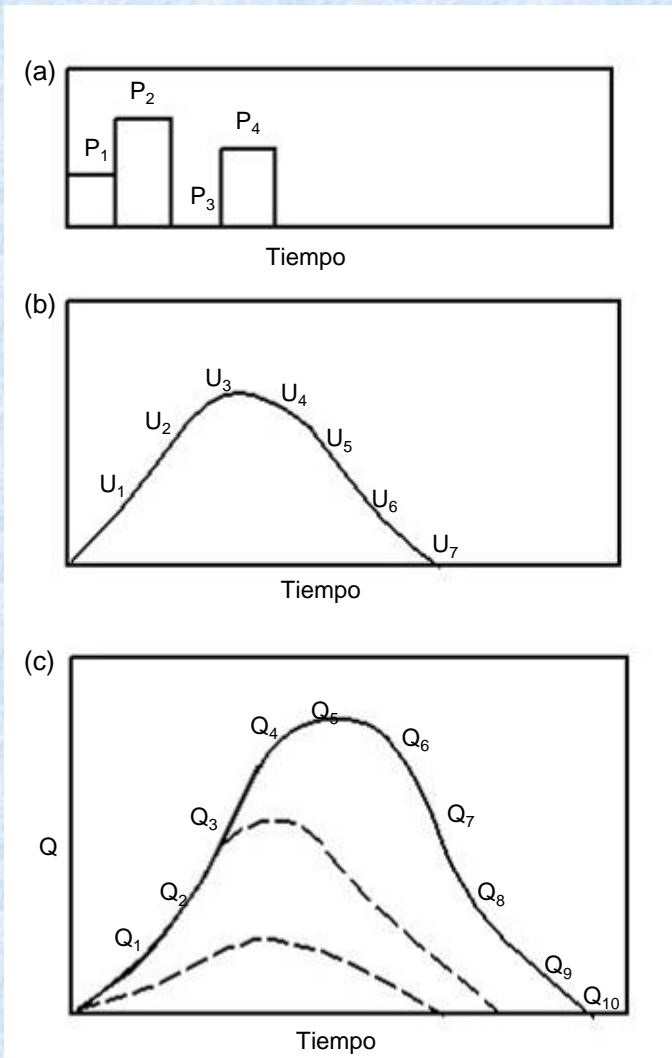
CAMBIO DE LA DURACIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO: CURVA S



Bedient y Huber (1992)



OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA DE TORMENTA: CONVOLUCIÓN DE HIDROGRAMAS



- (a) Yetograma de cálculo;
- (b) Hidrograma Unitario;
- (c) Hidrograma de la tormenta

Obtención de las ordenadas del hidrograma de la tormenta de cálculo:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= P_1 U_1, \\
 Q_2 &= P_2 U_1 + P_1 U_2, \\
 Q_3 &= P_3 U_1 + P_2 U_2 + P_1 U_3, \\
 Q_4 &= P_4 U_1 + P_3 U_2 + P_2 U_3 + P_1 U_4, \\
 Q_5 &= P_4 U_2 + P_3 U_3 + P_2 U_4 + P_1 U_5, \\
 Q_6 &= P_4 U_3 + P_3 U_4 + P_2 U_5 + P_1 U_6, \\
 Q_7 &= P_4 U_4 + P_3 U_5 + P_2 U_6 + P_1 U_7, \\
 Q_8 &= P_4 U_5 + P_3 U_6 + P_2 U_7, \\
 Q_9 &= P_4 U_6 + P_3 U_7, \\
 Q_{10} &= P_4 U_7.
 \end{aligned}$$

OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA DE TORMENTA: CONVOLUCIÓN DE HIDROGRAMAS

**TABLE 5-10 COMPOSITE HYDROGRAPH BY CONVOLUTION:
EXAMPLE 5-7**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Time (h)	UH (m ³ /s)	0.1× UH	0.8× UH	1.6× UH	1.2× UH	0.9× UH	0.4× UH	Composite Hydrograph
0	0	0	—	—	—	—	—	0
1	100	10	0	—	—	—	—	10
2	200	20	80	0	—	—	—	100
3	400	40	160	160	0	—	—	360
4	800	80	320	320	120	0	—	840
5	600	60	640	640	240	90	0	1670
6	400	40	480	1280	480	180	40	2500
7	200	20	320	960	960	360	80	2700
8	100	10	160	640	720	720	160	2410
9	0	0	80	320	480	540	320	1740
10	—	—	0	160	240	360	240	1000
11	—	—	—	0	120	180	160	460
12	—	—	—	—	0	90	80	170
13	—	—	—	—	—	0	40	40
14	—	—	—	—	—	—	0	0
Sum	2800							14,000



OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA DE TORMENTA: CONVOLUCIÓN DE HIDROGRAMAS

TABLE 5-10 COMPOSITE HYDROGRAPH BY CONVOLUTION:
EXAMPLE 5-7

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Time (h)	UH (m ³ /s)	0.1× UH	0.8× UH	1.6× UH	1.2× UH	0.9× UH	0.4× UH	Composite Hydrograph
0	0	0	—	—	—	—	—	0
1	100	10	0	—	—	—	—	10
2	200	20	80	0	—	—	—	100
3	400	40	160	160	0	—	—	360
4	800	80	320	320	120	0	—	840
5	600	60	640	640	240	90	0	1670
6	400	40	480	1280	480	180	40	2500
7	200	20	320	960	960	360	80	2700
8	100	10	160	640	720	720	160	2410
9	0	0	80	320	480	540	320	1740
10	—	—	0	160	240	360	240	1000
11	—	—	—	0	120	180	160	460
12	—	—	—	—	0	90	80	170
13	—	—	—	—	—	0	40	40
14	—	—	—	—	—	—	0	0
Sum	2800							14,000

V. M. Ponce (1989)

$$T_{base} = t_{baseH.U.} + (n - 1)D$$

n: número de intervalos de
escorrentía

D: duración del H.U.

$$Q_1 = P_1U_1,$$

$$Q_2 = P_2U_1 + P_1U_2,$$

$$Q_3 = P_3U_1 + P_2U_2 + P_1U_3,$$

$$Q_4 = P_4U_1 + P_3U_2 + P_2U_3 + P_1U_4,$$

$$Q_5 = P_4U_2 + P_3U_3 + P_2U_4 + P_1U_5,$$

$$Q_6 = P_4U_3 + P_3U_4 + P_2U_5 + P_1U_6,$$

$$Q_7 = P_4U_4 + P_3U_5 + P_2U_6 + P_1U_7,$$

$$Q_8 = P_4U_5 + P_3U_6 + P_2U_7,$$

$$Q_9 = P_4U_6 + P_3U_7,$$

$$Q_{10} = P_4U_7.$$



HIDROGRAMA UNITARIO: VALORACIÓN DEL MÉTODO

Es un procedimiento relativamente sencillo y con fundamento físico, que permite obtener el hidrograma relativo a cualquier tormenta, a partir del yetograma de escorrentía.

Existe una gran experiencia y bibliografía en su aplicación, siendo el método más frecuentemente utilizado en la hidrología aplicada.

Asume el comportamiento lineal de la cuenca vertiente, manteniendo la escala de tiempos de los hidrogramas, siempre que se refieran a tormentas de la misma duración.

En la práctica, esta escala de tiempos no solo depende de la duración de la escorrentía, sino también de su intensidad.

Debe utilizarse para duraciones de tormentas pequeñas, ya que considera que la intensidad de escorrentía es uniforme en esa duración ($= 1/D$); y en cuencas de tamaño medio, disminuyendo su precisión según aumenta el tamaño de la cuenca en que se aplica.

