

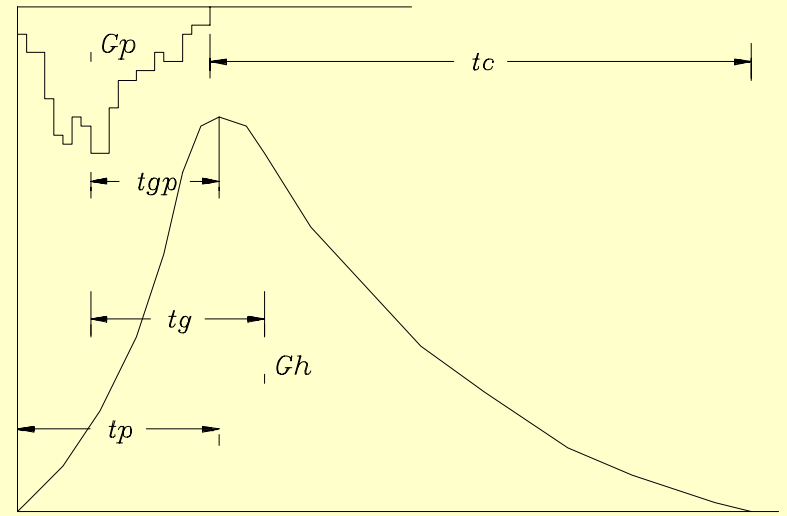
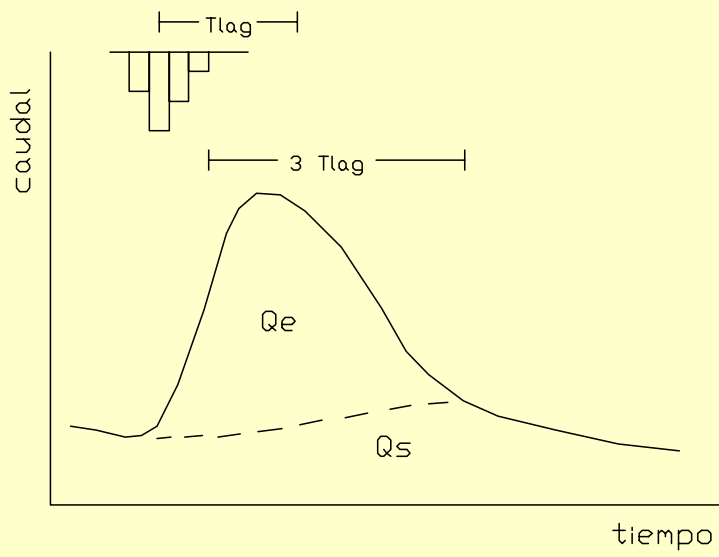


POLITÉCNICA

ESTIMACIÓN DE CAUDALES EXTRAORDINARIOS



JOSÉ CARLOS ROBREDO SÁNCHEZ
PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD
UNIDAD DOCENTE DE HIDRÁULICA E HIDROLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA FORESTAL
E.T.S. DE INGENIEROS DE MONTES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



$$t_c = \left(\frac{0.87 \cdot L^3}{H} \right)^{0.385}$$

MÉTODOS DE CÁLCULO:

- **FÓRMULAS EMPÍRICAS**
- **ISOCRONAS**
- **FÓRMULA RACIONAL**
- **HIDROGRAMA UNITARIO**
- **MÉTODOS DISTRIBUIDOS**

FÓRMULAS EMPÍRICAS

GARCÍA NÁJERA:

$$q_p = \frac{a \cdot p \cdot (42 + 0.525 \cdot A) \cdot A}{(1 + A) \cdot (1 + 0.025 \cdot A) \cdot (0.5 + \sqrt{A})} \quad (A < 0.4 \text{Km}^2)$$

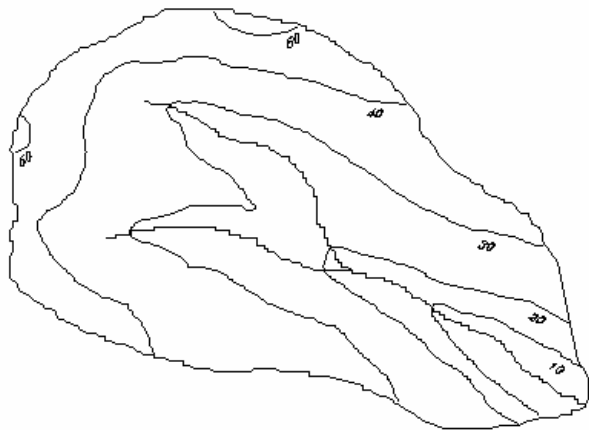
$$q_p = a \cdot p \cdot (12.21 \cdot A + 5.74) \quad (0.4 < A < 2.5 \text{Km}^2)$$

$$q_p = \frac{a \cdot p \cdot (42 + 0.525 \cdot A) \cdot A^2}{(1 + A) \cdot (1 + 0.025 \cdot A) \cdot (0.5 + \sqrt{A})} \quad (A > 2.5 \text{Km}^2)$$

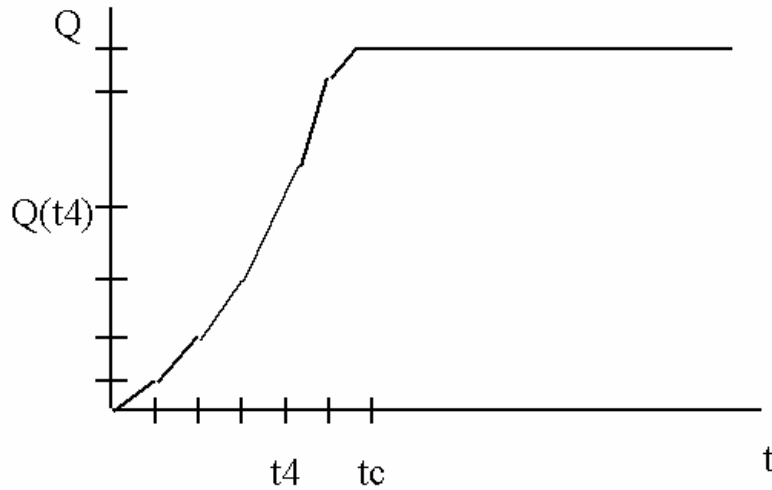
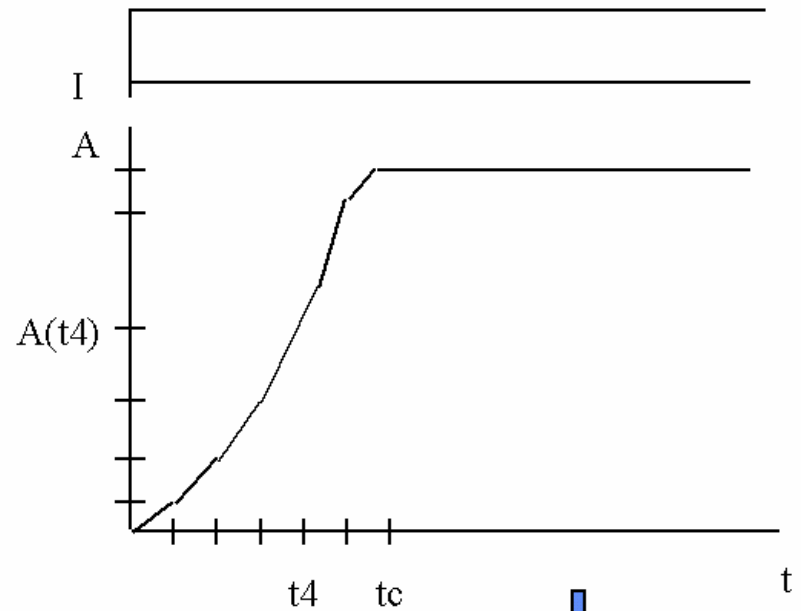
a, depende de la vegetación

p, depende del relieve

UTILIZACIÓN DE LÍNEAS ISOCRONAS



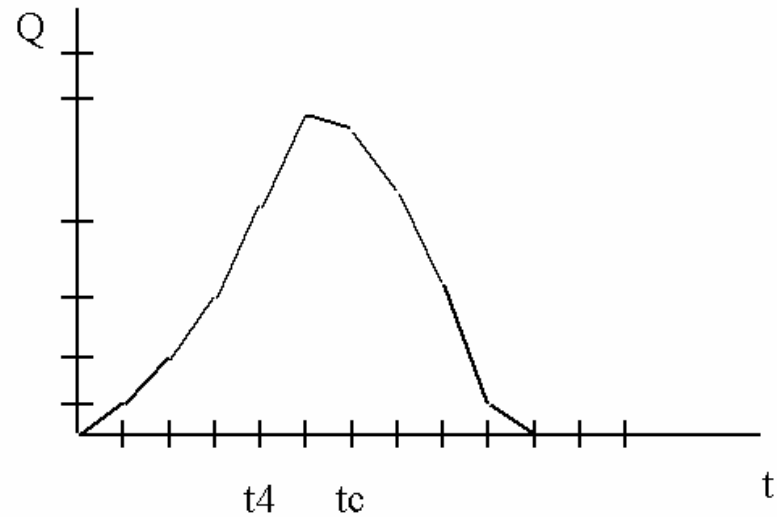
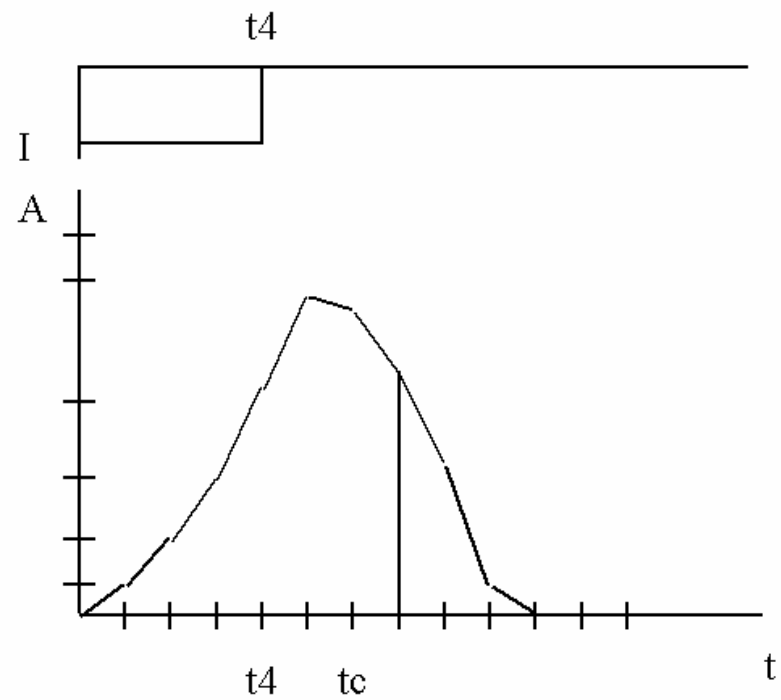
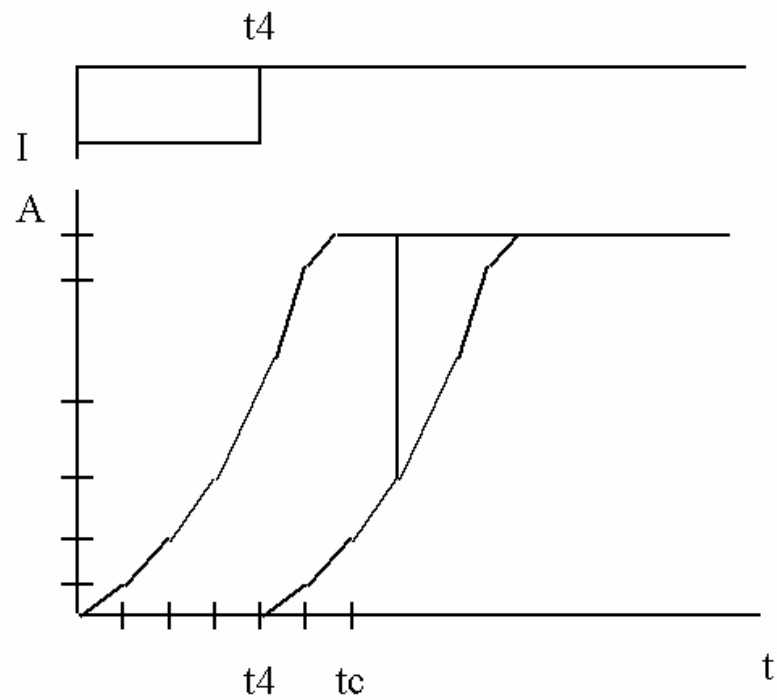
- A(0-t1)
- A(t1-t2)
- A(t2-t3)
- A(t3-t4)
- A(t4-t5)
- A(t5-tc)



↓

$$Q(t) = \frac{C \cdot I \cdot A(t)}{3.6}$$

←

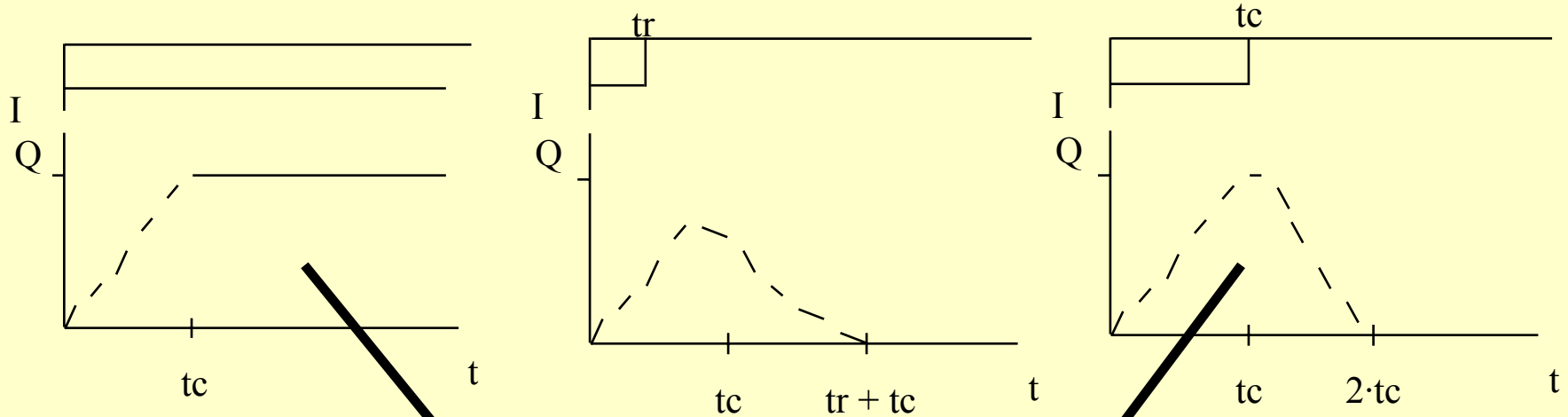


↓

← $Q(t) = \frac{C \cdot I \cdot A(t)}{3.6}$

FÓRMULA RACIONAL

Escorrentía = $C \cdot I$ constante durante toda la precipitación



$$q_p = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

Coeficiente de escorrentía C

		Arenas Margas	Arcillas y margas	Arcillas impermeables
Bosque	Llano	0.10	0.30	0.40
	Ondulado	0.25	0.35	0.50
	Accidentado	0.30	0.50	0.60
Pastos	Llano	0.10	0.30	0.40
	Ondulado	0.16	0.36	0.55
	Accidentado	0.22	0.42	0.60
Cultivo	Llano	0.30	0.50	0.60
	Ondulado	0.40	0.60	0.70
	Accidentado	0.52	0.72	0.82

Schwab, Frevert, Edminster y Barnes en 1971

J.R. TÉMEZ, "Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales"

$$C = \frac{(P_{24} - P_o) \cdot (P_{24} + 23 \cdot P_o)}{(P_{24} + 11 \cdot P_o)^2}$$

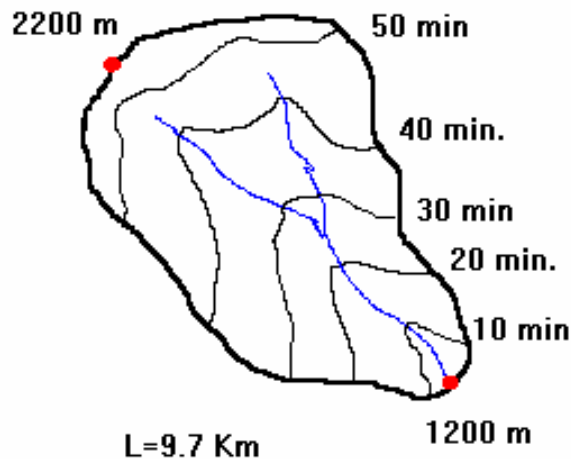
$$q_p = K \cdot \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6}$$

$$K \approx 1.2$$

$$P'_o = P_o \cdot k$$



MULTIPLICADOR REGIONAL DEL PARAMETRO P_0 .



Tiempo	t(h)	S(Ha)
0	0	0
10	0.17	175
20	0.33	276
30	0.50	1130
40	0.67	1350
50	0.83	635
60	1.00	34



- ① Cultivos, 570 ha. NC 90
- ② Rep. For. 1900 ha. NC 65
- ③ Matorral 1130 ha. NC 80

	NC(II)	Sup.	%		
Cultivos	90	570	0.16	14.25	
Rep. for.	65	1900	0.53	34.31	
Matorral	80	1130	0.31	25.11	
total		3600		73.67	
Hmáx.	2200	m			
Hmín.	1200	m			
Lmáx.	9.7	Km			
Area	3600	Hectáreas		NCmII	73.67
	36	Km2		CONDICION	2
tc	0.92	h		NCm	73.67
	55	min.		S	90.80 mm
IId	10			Po	18.16 mm

$$K=1$$

$$k(P_o)=1$$

K	1		k(Po)	1
P24	126	mm		
P'o =	18.16	mm		
C =	0.55			
I _{tc} =	55.27	mm/h		
qp =	305.39	m ³ /s	Para tc y toda la cuenca (Temez)	

$$K=1.2$$

$$k(P_o)=1$$

K	1.2		k(Po)	1
P24	126	mm		
P'o =	18.16	mm		
C =	0.55			
I _{tc} =	55.27	mm/h		
qp =	366.47	m ³ /s	Para tc y toda la cuenca (Temez)	

$$K=1$$

$$k(P_o)=3$$

K	1		k(Po)	3
P24	126	mm		
P'o =	54.48	mm		
C =	0.19			
I _{tc} =	55.27	mm/h		
qp =	103.64	m ³ /s	Para tc y toda la cuenca (Temez)	

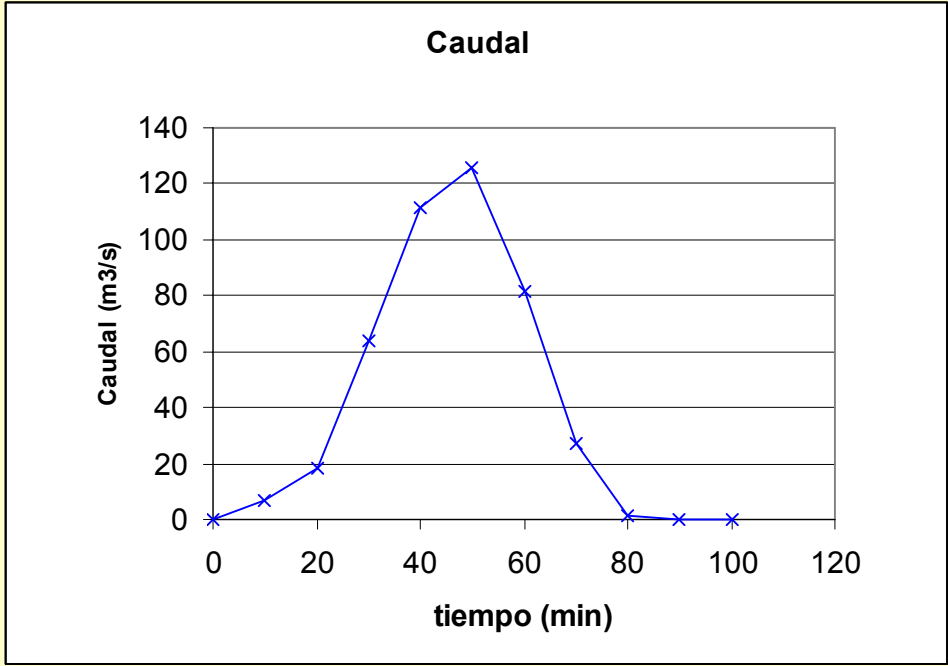
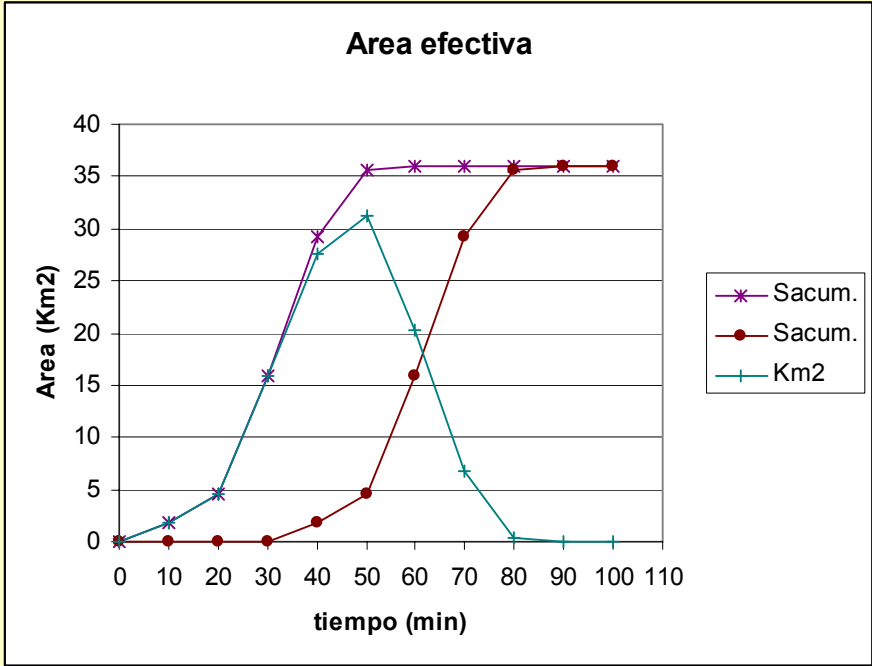
$$K=1.2$$

$$k(P_o)=3$$

K	1.2		k(Po)	3
P24	126	mm		
P'o =	54.48	mm		
C =	0.19			
I _{tc} =	55.27	mm/h		
qp =	124.37	m ³ /s	Para tc y toda la cuenca (Temez)	

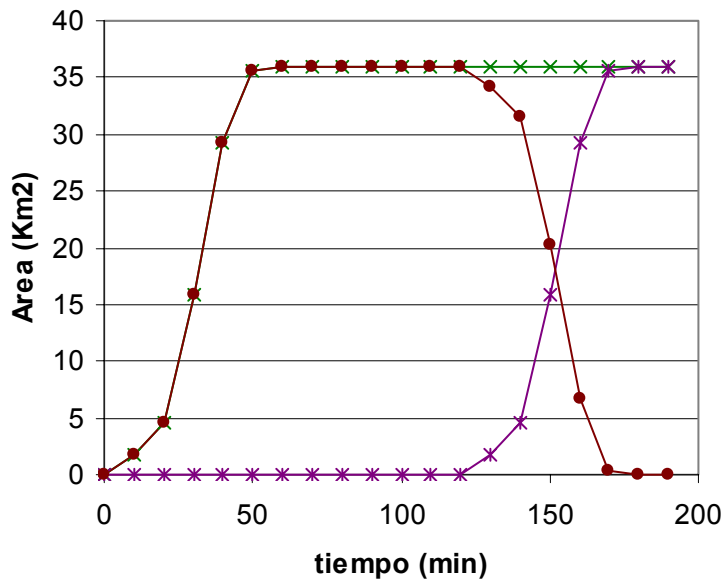
Lluvia	0.5	horas (30.00	min.)			
Imáx. =	77.54	mm/h					
Iut. =	77.54	mm/h					
qp =	125.81	m3/s	Para la duración e intensidad prefijada				
Duración del intervalo en minutos							
10 min.							
		Aumento S efec.		Disminución S efec.		A.efec.	
Tiempo	t(h)	S(Ha)	Sacum.	S(Ha)	Sacum.	Km2	Caudal
0	0	0	0	0	0	0	0.00
10	0.17	175	1.75	0	0.00	1.75	7.07
20	0.33	276	4.51	0	0.00	4.51	18.21
30	0.50	1130	15.81	0	0.00	15.81	63.85
40	0.67	1350	29.31	175	1.75	27.56	111.31
50	0.83	635	35.66	276	4.51	31.15	125.81
60	1.00	34	36.00	1130	15.81	20.19	81.54
70	1.17	0	36.00	1350	29.31	6.69	27.02
80	1.33	0	36.00	635	35.66	0.34	1.37
90	1.50	0	36.00	34	36.00	0.00	0.00
100	1.67	0	36.00	0	36.00	0.00	0.00

$$k(P_o)=3$$

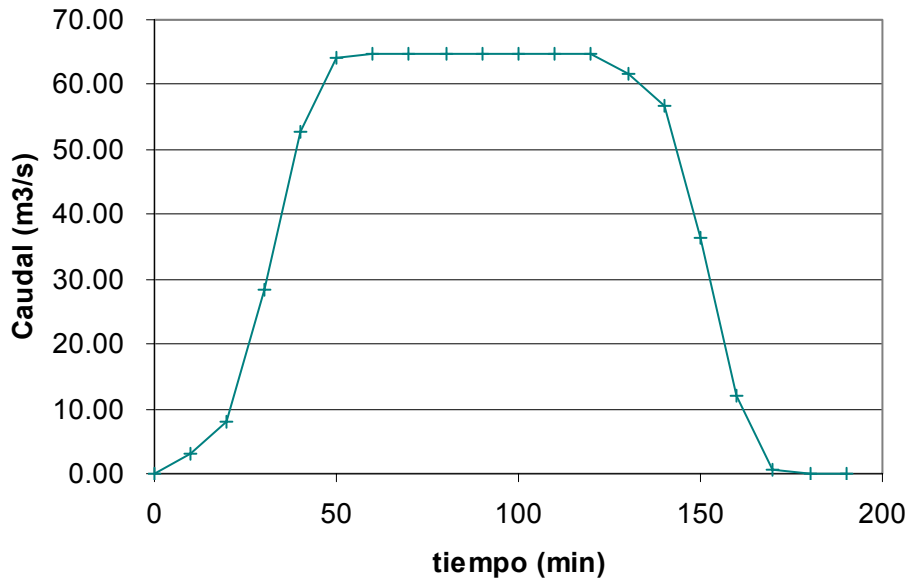


Lluvia	2 horas (120.00 min.)					
Imáx. =	34.57 mm/h						$k(P_o)=3$
Iut. =	34.57 mm/h						
qp =	64.82 m3/s	Para la duración e intensidad prefijada					
Duración del intervalo en minutos							
10 min.							
		Aumento S efec.		Disminución S efec.		Á.efec.	
Tiempo	t(h)	S(Ha)	Sacum.	S(Ha)	Sacum.	Km2	Caudal
0	0	0	0	0	0	0	0.00
10	0.17	175	1.75	0	0.00	1.75	3.15
20	0.33	276	4.51	0	0.00	4.51	8.12
30	0.50	1130	15.81	0	0.00	15.81	28.47
40	0.67	1350	29.31	0	0.00	29.31	52.78
50	0.83	635	35.66	0	0.00	35.66	64.21
60	1.00	34	36.00	0	0.00	36.00	64.82
70	1.17	0	36.00	0	0.00	36.00	64.82
80	1.33	0	36.00	0	0.00	36.00	64.82
90	1.50	0	36.00	0	0.00	36.00	64.82
100	1.67	0	36.00	0	0.00	36.00	64.82
110	1.83	0	36.00	0	0.00	36.00	64.82
120	2.00	0	36.00	0	0.00	36.00	64.82
130	2.17	0	36.00	175	1.75	34.25	61.67
140	2.33	0	36.00	276	4.51	31.49	56.70
150	2.50	0	36.00	1130	15.81	20.19	36.35
160	2.67	0	36.00	1350	29.31	6.69	12.05
170	2.83	0	36.00	635	35.66	0.34	0.61
180	3.00	0	36.00	34	36.00	0.00	0.00
190	3.17	0	36.00	0	36.00	0.00	0.00

Area efectiva



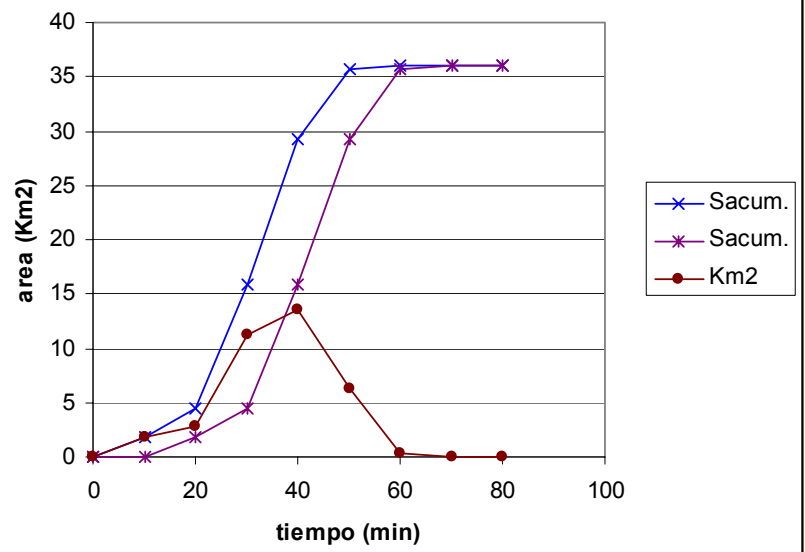
Caudal



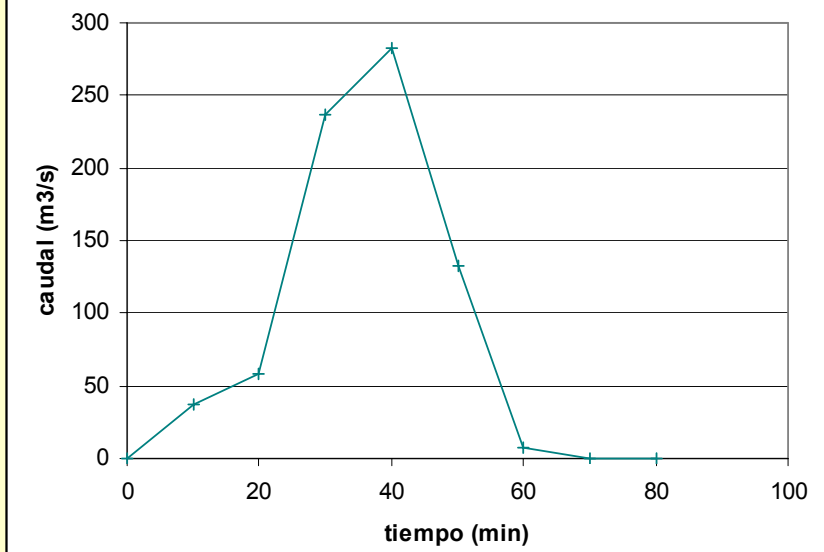
Lluvia	0.16666666	horas (10.00	min.)				
Imáx. =	136.45	mm/h						
Iut. =	136.45	mm/h						
qp =	282.71	m3/s	Para la duración e intensidad prefijada					
Duración del intervalo en minutos								
10 min.								
		Aumento S efec.		Disminución S efec.		A.efec.		
Tiempo	t(h)	S(Ha)	Sacum.	S(Ha)	Sacum.	Km2	Caudal	
0	0	0	0	0	0	0	0.00	
10	0.17	175	1.75	0	0.00	1.75	36.65	
20	0.33	276	4.51	175	1.75	2.76	57.80	
30	0.50	1130	15.81	276	4.51	11.30	236.64	
40	0.67	1350	29.31	1130	15.81	13.50	282.71	
50	0.83	635	35.66	1350	29.31	6.35	132.98	
60	1.00	34	36.00	635	35.66	0.34	7.12	
70	1.17	0	36.00	34	36.00	0.00	0.00	
80	1.33	0	36.00	0	36.00	0.00	0.00	

$$k(P_0)=1$$

Area efectiva



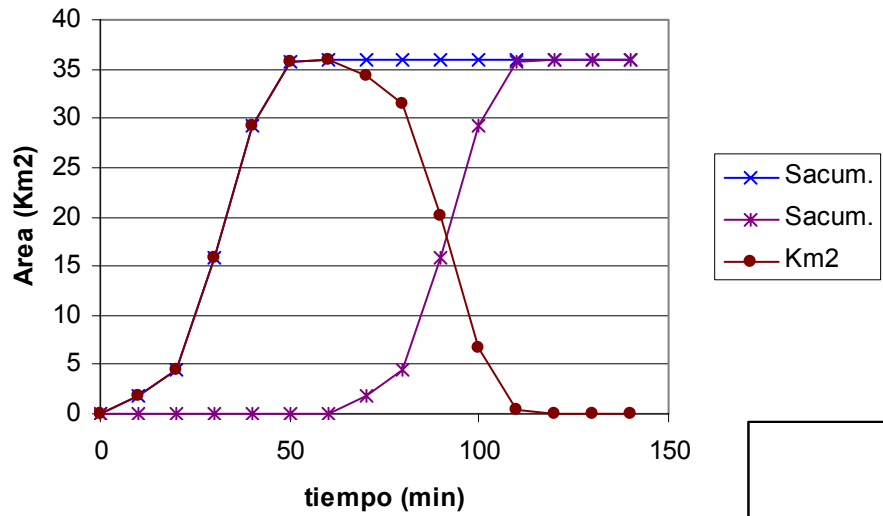
Caudal



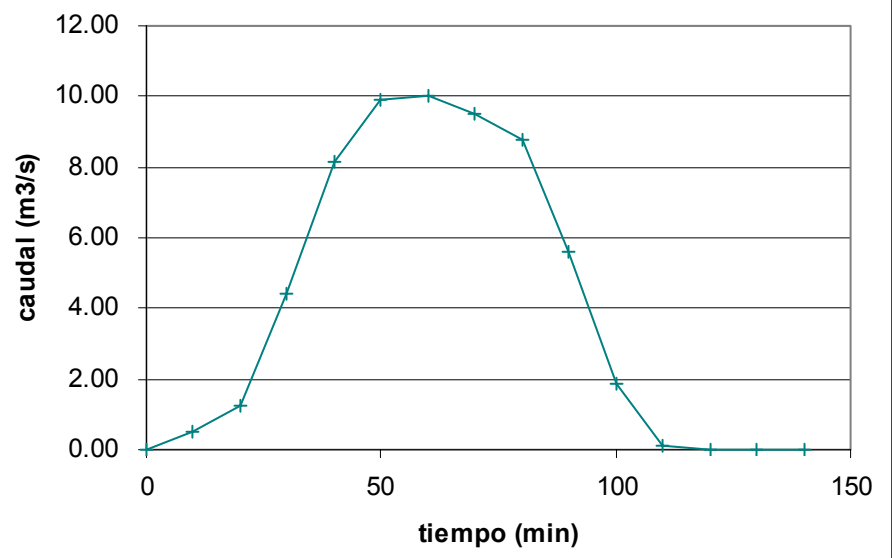
$$\text{Escorrentía} = C \cdot I \cdot D = 0.55 \cdot 1.8099 \cdot 1 = 1 \text{ mm} \longrightarrow \text{H.U.}$$

Lluvia	1 horas	(60.00 min.)				
Imáx. =	52.50 mm/h							
Iut. =	1.80992854 mm/h							
qp =	10.00 m3/s	Para la duración e intensidad prefijada						
Duración del intervalo en minutos								
	10 min.							
		Aumento S efec.		Disminución S efec.		A.efec.		
Tiempo	t(h)	S(Ha)	Sacum.	S(Ha)	Sacum.	Km2	Caudal	
0	0	0	0	0	0	0	0.00	
10	0.17	175	1.75	0	0.00	1.75	0.49	
20	0.33	276	4.51	0	0.00	4.51	1.25	
30	0.50	1130	15.81	0	0.00	15.81	4.39	
40	0.67	1350	29.31	0	0.00	29.31	8.14	
50	0.83	635	35.66	0	0.00	35.66	9.91	
60	1.00	34	36.00	0	0.00	36.00	10.00	
70	1.17	0	36.00	175	1.75	34.25	9.51	
80	1.33	0	36.00	276	4.51	31.49	8.75	
90	1.50	0	36.00	1130	15.81	20.19	5.61	
100	1.67	0	36.00	1350	29.31	6.69	1.86	
110	1.83	0	36.00	635	35.66	0.34	0.09	
120	2.00	0	36.00	34	36.00	0.00	0.00	
130	2.17	0	36.00	0	36.00	0.00	0.00	
140	2.33	0	36.00	0	36.00	0.00	0.00	

Area efectiva



Caudal - Hidrograma Unitario



FORMULA RACIONAL					
complejo	NC(II)	Sup.	%		
Cultivos	90	570	0.05	4.42	
Rep. for.	65	6900	0.59	38.66	
Matorral	80	4130	0.36	28.48	
total		11600		71.57	
Hmáx.	2200	m			
Hmín.	1200	m			
Lmáx.	25	Km			
Area	11600	Hectáreas		NCmII	71.57
	116	Km2		CONDICION	2
tc	2.73	h		NCm	71.57
	164	min.		S	100.90 mm
I1Id	10			Po	20.18 mm

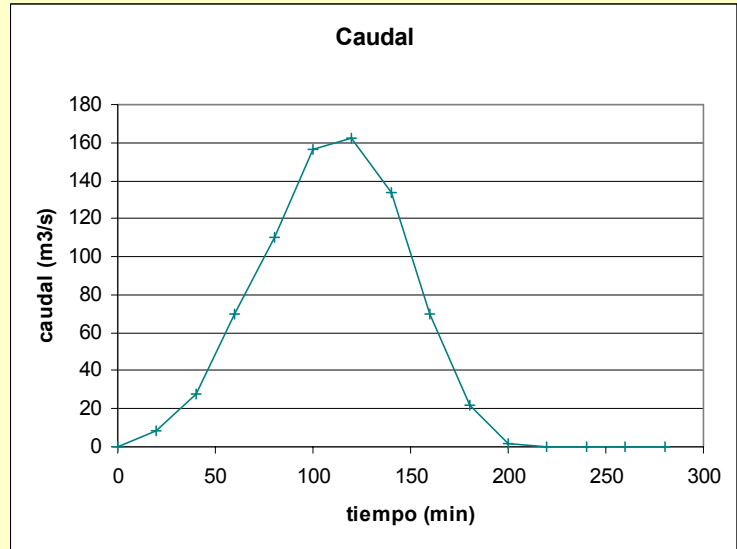
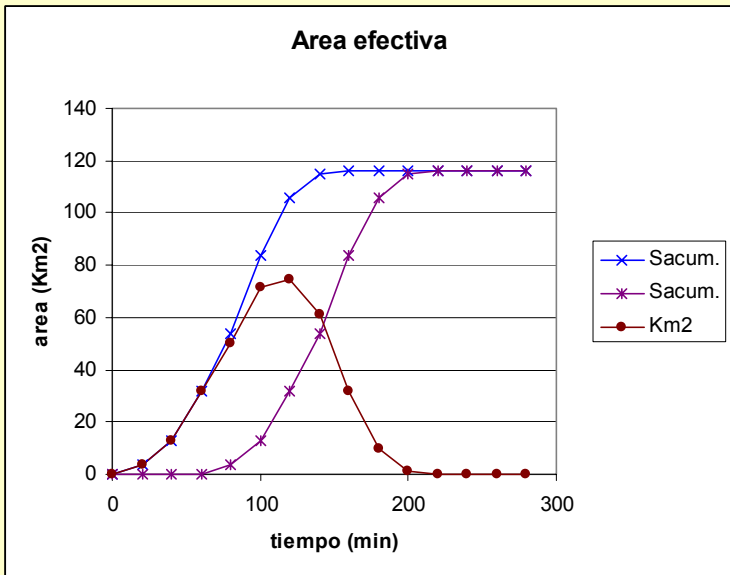
$$K=1.2$$

$$k(P_o)=2$$

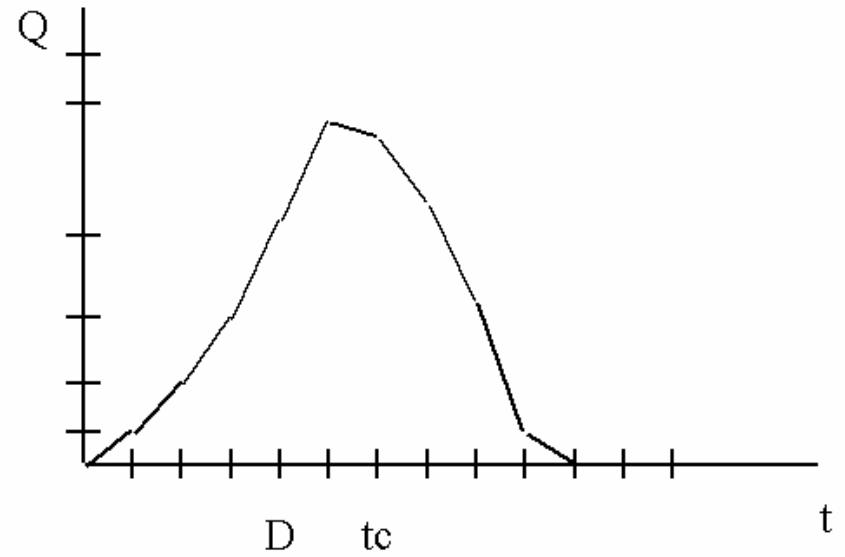
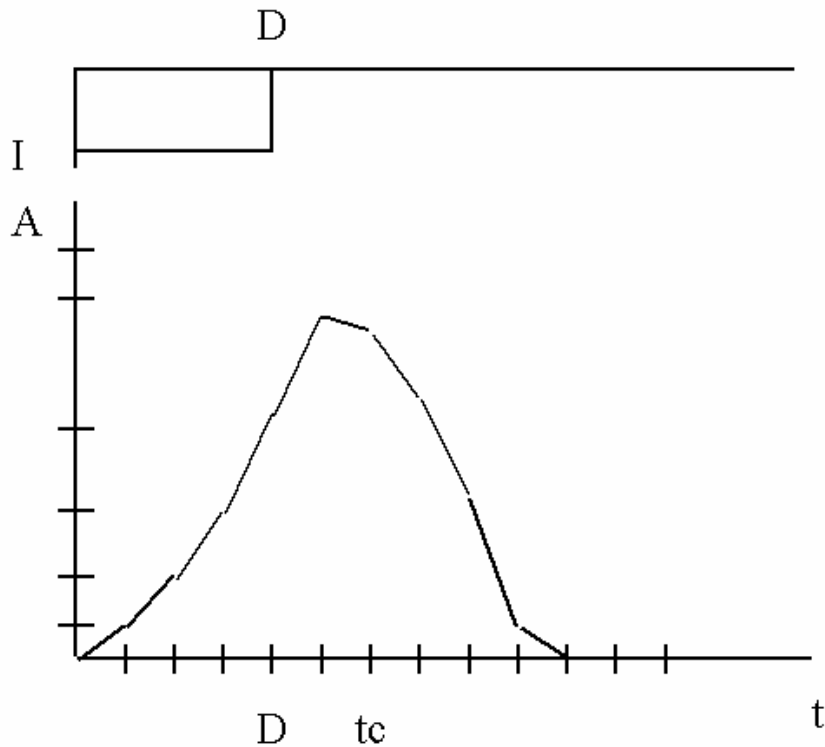
K	1.2		k(Po)	2	
P24	126	mm			
P'o =	40.36	mm			
C =	0.28				
Itc =	28.37	mm/h			
qp =	304.91	m3/s	Para tc y toda la cuenca (Temez)		

Lluvia	1	horas (60.00	min.)			
Imáx. =	52.50	mm/h					
Iut. =	28.37	mm/h					
qp =	162.76	m3/s	Para la duración e intensidad prefijada				
Duración del intervalo en minutos							
20 min.							
		Aumento S efec.		Disminución S efec.		A. efec.	
Tiempo	t(h)	S(Ha)	Sacum.	S(Ha)	Sacum.	Km2	Caudal
0	0	0	0	0	0	0	0.00
20	0.33	375	3.75	0	0.00	3.75	8.21
40	0.67	900	12.75	0	0.00	12.75	27.93
60	1.00	1900	31.75	0	0.00	31.75	69.54
80	1.33	2231	54.06	375	3.75	50.31	110.19
100	1.67	3000	84.06	900	12.75	71.31	156.18
120	2.00	2200	106.06	1900	31.75	74.31	162.76
140	2.33	900	115.06	2231	54.06	61.00	133.60
160	2.67	84	115.90	3000	84.06	31.84	69.74
180	3.00	10	116.00	2200	106.06	9.94	21.77
200	3.33	0	116.00	900	115.06	0.94	2.06
220	3.67	0	116.00	84	115.90	0.10	0.22
240	4.00	0	116.00	10	116.00	0.00	0.00
260	4.33	0	116.00	0	116.00	0.00	0.00
280	4.67	0	116.00	0	116.00	0.00	0.00

$$k(P_o)=2$$



HIDROGRAMA UNITARIO



$$C \cdot I \cdot D = E = 1 \text{ mm.}$$



$$Q(t) = HU(t) = \frac{A(t)}{3.6 \cdot D}$$

Proporcionalidad en la respuesta de la cuenca. Por ejemplo: una escorrentía de 4 mm. origina, en todo momento, un caudal dos veces superior que el que originaría una escorrentía de 2 mm.

Superposición de hidrogramas. El hidrograma resultante de una precipitación es la suma, ordenada a ordenada, de los hidrogramas producidos por partes de esta precipitación consideradas por separado.

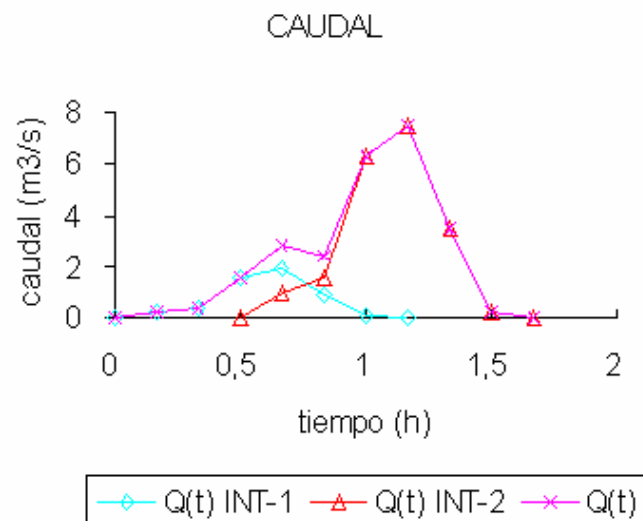
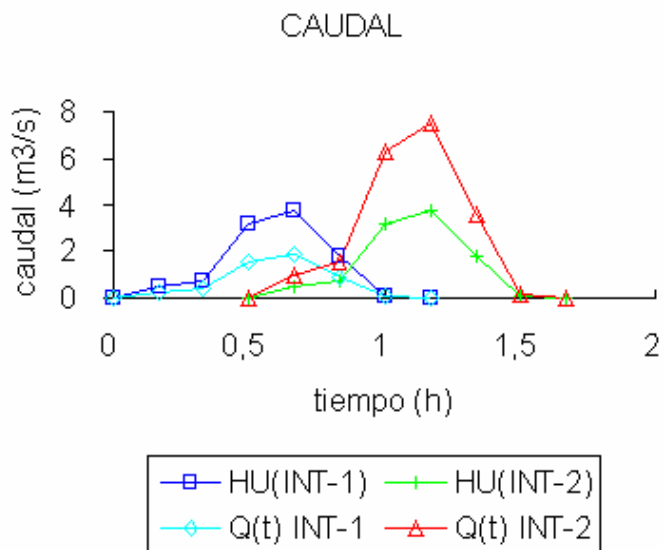
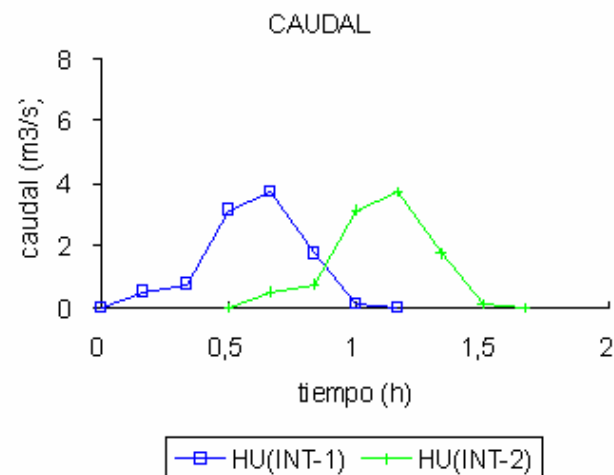
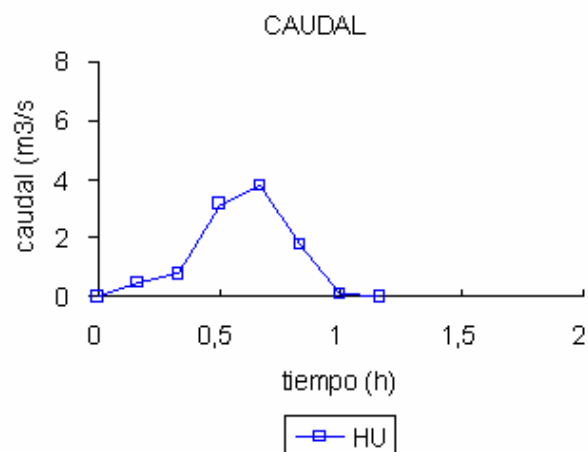
Invariabilidad en el tiempo. El H.U. no depende de la escorrentía, sino sólo de las características morfológicas de la cuenca. Dos escorrentías iguales siempre darán dos hidrogramas iguales.

HIETOGRAMA NETO:

Incrementos de tiempo:
2 intervalos de 0.5 horas

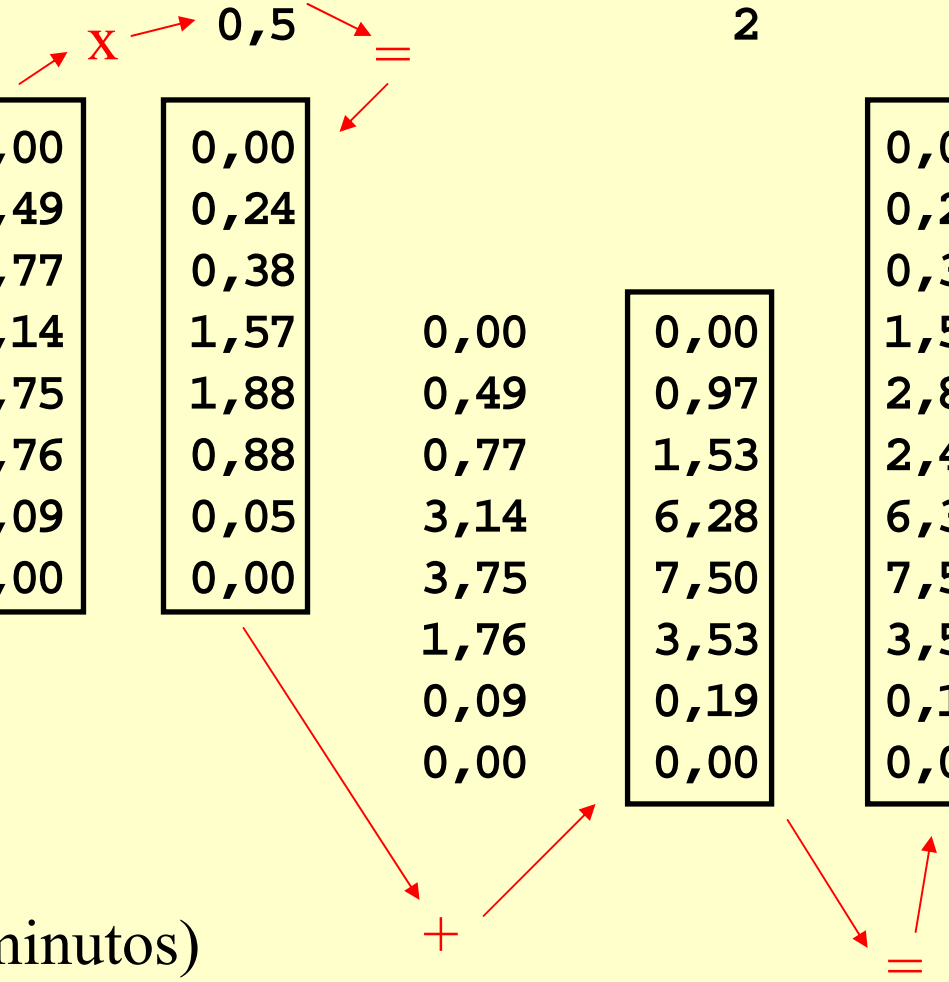
E1 = 0.5 mm.

E2 = 2.0 mm.

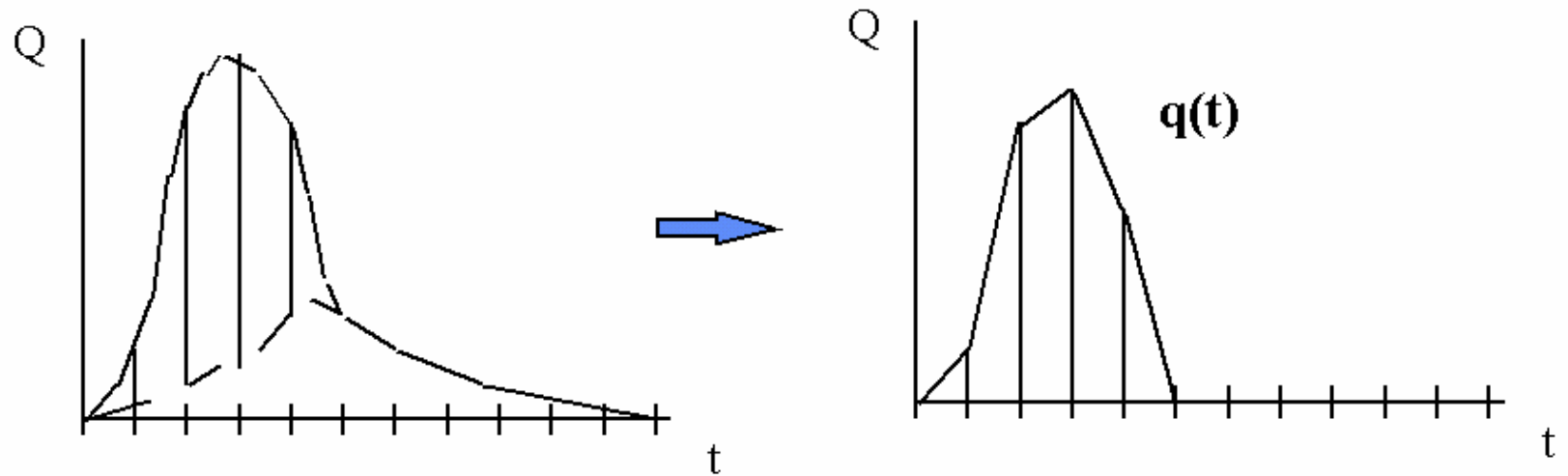


t(h)	HU1	E1	HU2	E2	Q(t)
		0,5		2	
0,00	0,00	0,00			0,00
0,17	0,49	0,24			0,24
0,33	0,77	0,38			0,38
0,50	3,14	1,57	0,00	0,00	1,57
0,67	3,75	1,88	0,49	0,97	2,85
0,83	1,76	0,88	0,77	1,53	2,42
1,00	0,09	0,05	3,14	6,28	6,33
1,17	0,00	0,00	3,75	7,50	7,50
1,33			1,76	3,53	3,53
1,50			0,09	0,19	0,19
1,67			0,00	0,00	0,00

(Intervalos de 10 minutos)



DEDUCCIÓN DEL HIDROGRAMA UNITARIO



SEPARACIÓN DEL HIDROGRAMA DE AVENIDA

$$P(k) \xrightarrow{\quad} E(k)$$

$k = 1 \dots n$

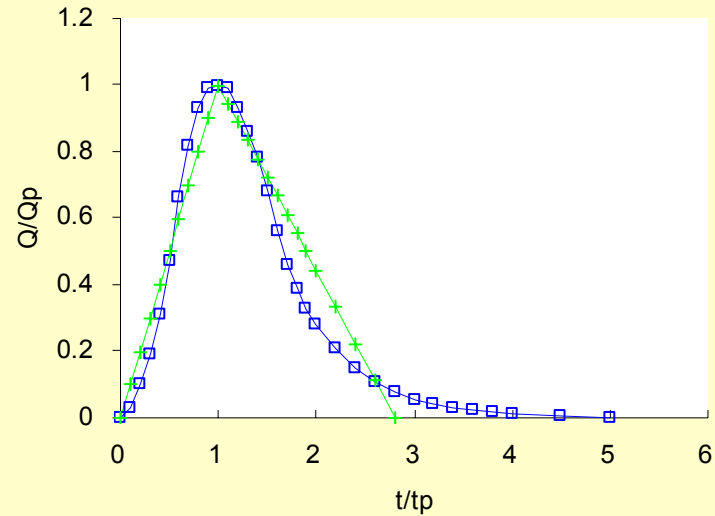
OBTENCIÓN DE
LA ESCORRENTÍA

$$q(t) = \sum_{j=1}^n E(j) \cdot HU_j(t)$$

DEDUCCIÓN DEL
HIDROGRAMA UNITARIO

H.U. USDA SOIL CONSERVATION SERVICE (1955, 1971)

t/tp	Q/Qp
0,10	0,03
0,20	0,10
0,30	0,19
0,40	0,31
0,50	0,47
0,60	0,66
0,70	0,82
0,80	0,93
0,90	0,99
1,00	1,00
1,10	0,99
1,20	0,93
1,30	0,86
1,40	0,78
1,50	0,68
1,60	0,56
1,70	0,46
1,80	0,39
1,90	0,33
2,00	0,28
2,20	0,21
2,40	0,15
2,60	0,11
2,80	0,08
3,00	0,06
3,20	0,04
3,40	0,03
3,60	0,02
3,80	0,02
4,00	0,01
4,50	0,01
5,00	-



$$t_1 = 0.6 \cdot t_c \text{ (utilizando la fórmula de California para } t_c)$$

$$t_p = D/2 + t_1$$

$$t_b = 2.67 \cdot t_p$$

$$q_p = 0.208 \cdot \frac{A}{t_p}$$

UNIDADES:

Tiempos, horas

A, Km²

q, m³/s

sup	NC
5000	80
5000	80 NCmed

63.5 S
12.7 Po

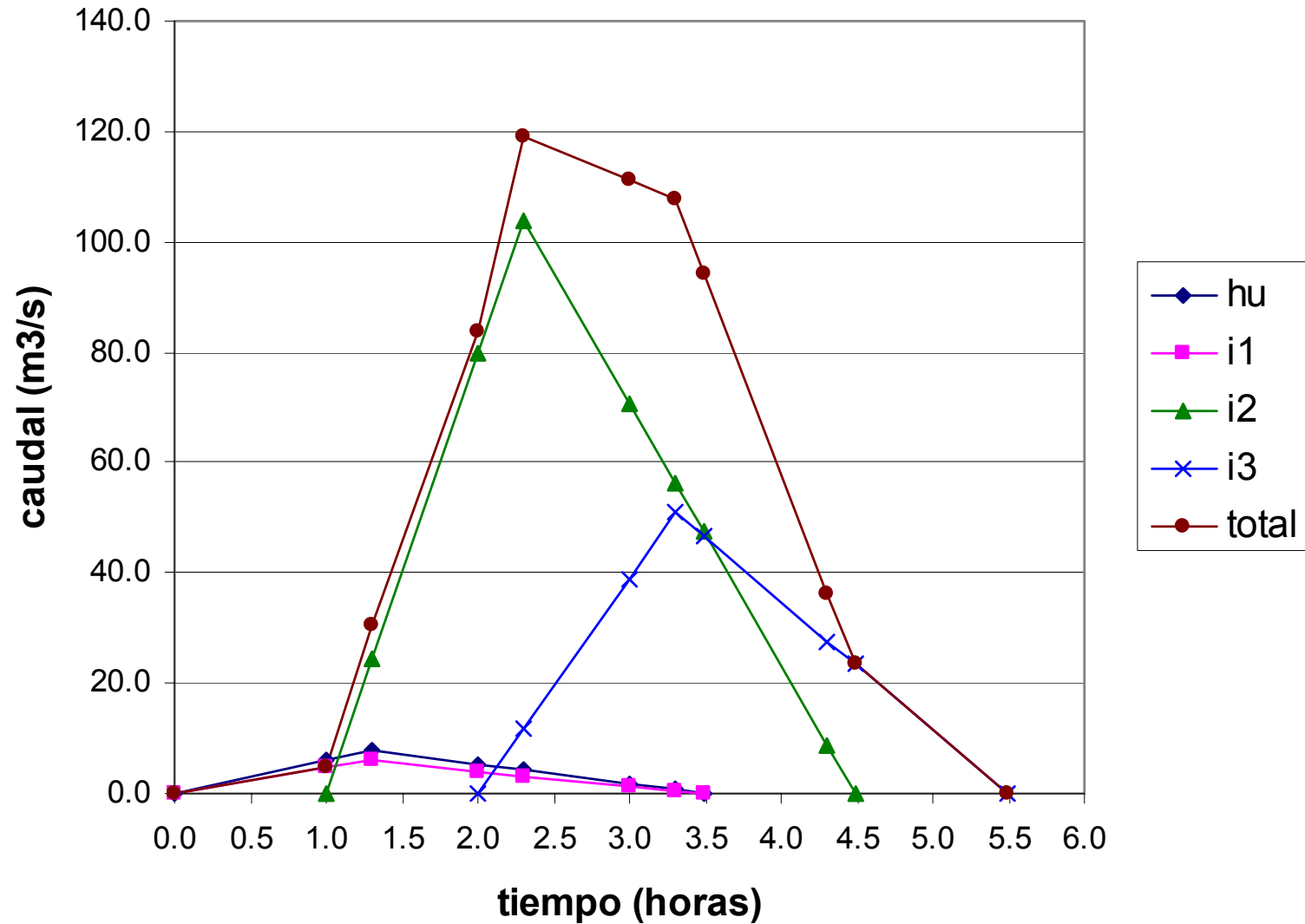
Hmax = 1300 m
Hmin = 600 m
L = 12 Km
tc = 1.34 horas
D = 1 horas
tp = 1.31 horas
tb = 3.49 horas
qpHU = 7.97 m³/s

0.6

int.	P	Pacum	Qacum	Q	qp(int)	tini	tp	tb
1	20.00	20.00	0.75	0.75	6.00	0	1.31	3.49
2	30.00	50.00	13.80	13.05	103.97	1	2.31	4.49
3	10.00	60.00	20.19	6.39	50.91	2	3.31	5.49

t	hu	i1	i2	i3	total
0.00	0.0	0.0			0.0
1.00	6.1	4.6	0.0		4.6
1.31	8.0	6.0	24.3		30.3
2.00	5.4	4.1	79.7	0.0	83.7
2.31	4.3	3.2	104.0	11.9	119.1
3.00	1.8	1.3	70.8	39.0	111.2
3.31	0.7	0.5	56.3	50.9	107.7
3.49	0.0	0.0	47.7	46.7	94.4
4.31			8.6	27.6	36.1
4.49			0.0	23.4	23.4
5.49				0.0	0.0

Obtención del hidrograma total



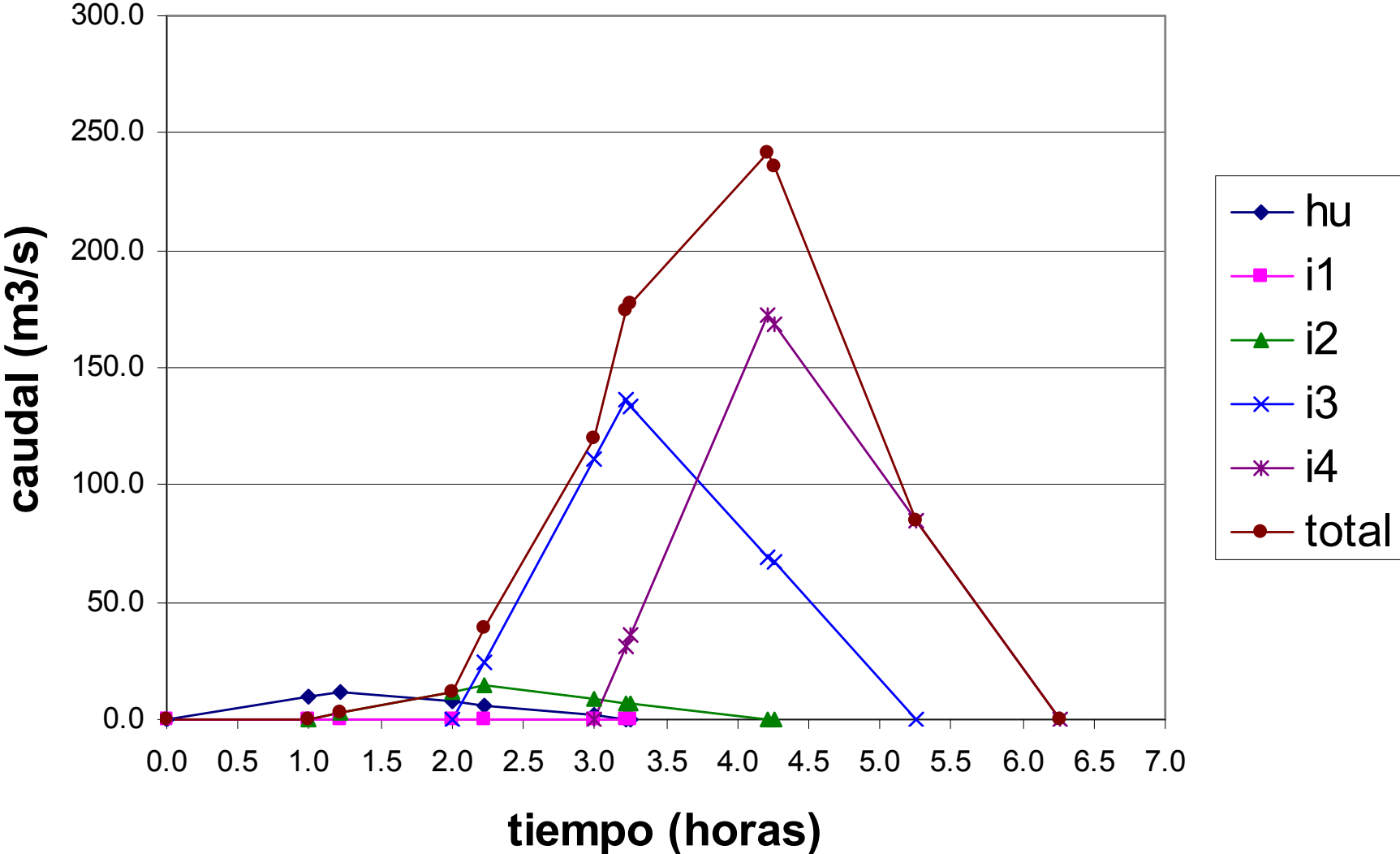
sup	NC	
7000	84.9	84.9
7000	84.9 NCmed	
	45.2 S	
	9.0 Po	

Hmax = 1300 m
 Hmin = 580 m
 L = 11 Km
 tc = 1.20 horas
 D = 1 horas
 tp = 1.22 horas 0.6
 tb = 3.26 horas
 qpHU = 11.93 m³/s

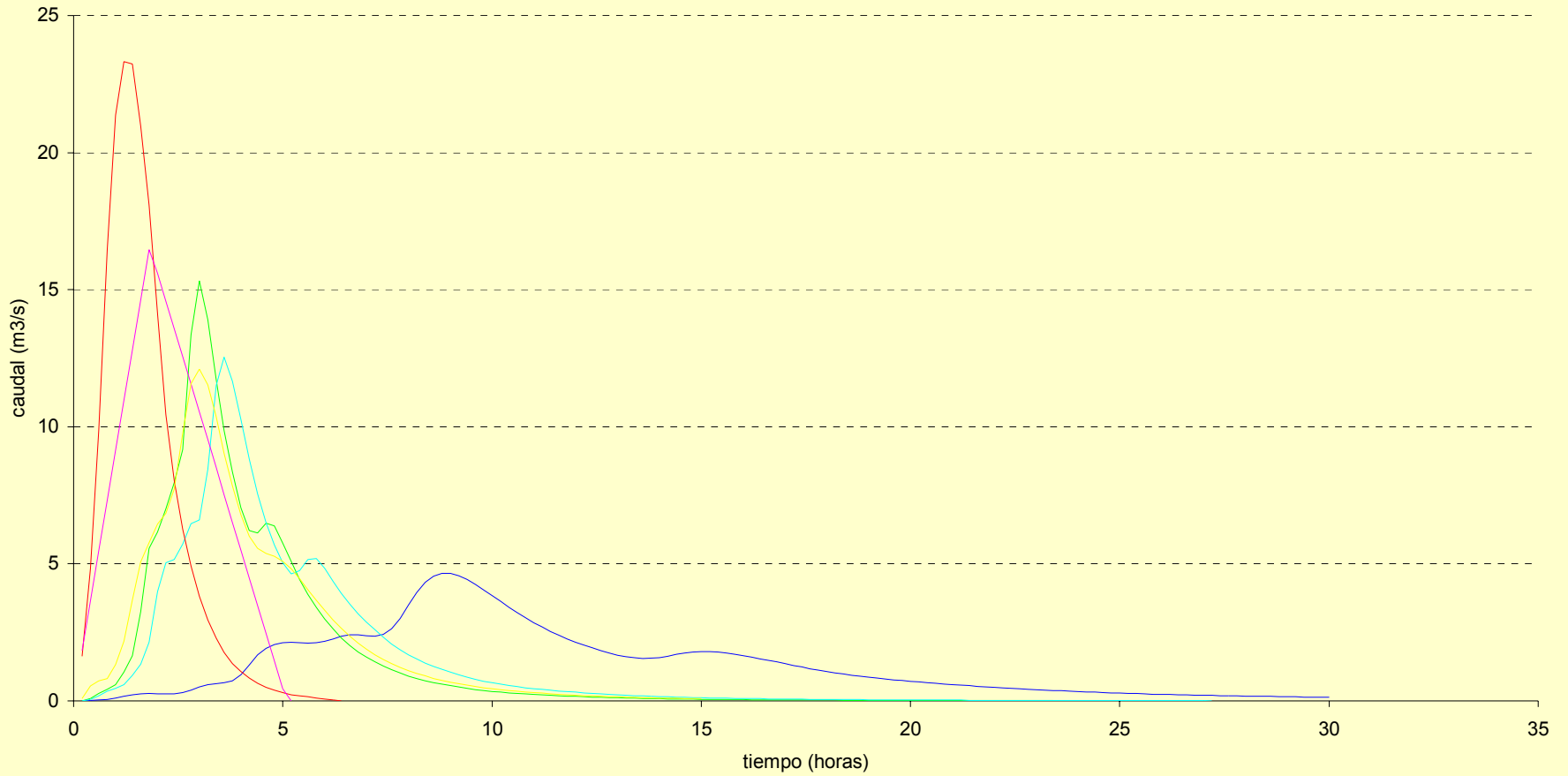
int.	P	Pacum	Qacum	Q	qp(int)	tini	tp	tb
1	5.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0	1.22	3.26
2	12.00	17.00	1.19	1.19	14.24	1	2.22	4.26
3	23.00	40.00	12.59	11.40	135.99	2	3.22	5.26
4	20.00	60.00	27.02	14.42	172.08	3	4.22	6.26

t	hu	i1	i2	i3	i4	total
0.00	0.0	0.0				0.0
1.00	9.8	0.0	0.0			0.0
1.22	11.9	0.0	2.6			2.6
2.00	7.4	0.0	11.7	0.0		11.7
2.22	6.1	0.0	14.2	24.6		38.8
3.00	1.5	0.0	8.8	111.4	0.0	120.2
3.22	0.2	0.0	7.3	136.0	31.1	174.3
3.26	0.0	0.0	7.0	133.4	36.5	176.9
4.22			0.3	69.3	172.1	241.6
4.26			0.0	66.7	168.9	235.6
5.26				0.0	84.4	84.4
6.26					0.0	0.0

Obtención del hidrograma total



HIDROGRAMA UNITARIO
Comparación de HU (D=1h)



— HU(Q=1mm) de P=1mm — HU(Q=1mm) de P=50mm — HU(Q=1mm) de P=25mm — HU adimen. SCS — HUT TEMEZ — HU P=50/D=0.2 (400)