



Objetivo



Estimar caudales máximos asociados a cierta probabilidad para diseñar:

- obras de evacuación y control (vertederos)
- obras de drenaje (puentes y alcantarillas de caminos, redes de aguas lluvias)
- obras de protección contra inundaciones (defensas ribereñas, encauzamiento)
- Pronóstico de crecidas a corto plazo para:
 - operación de compuertas en vertederos
 - tomar medidas de protección y salvataje de centros urbanos

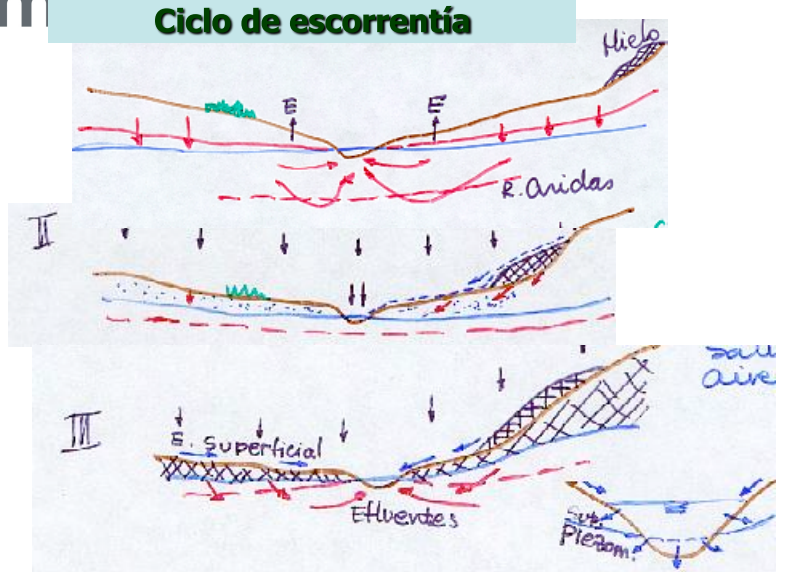


FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Objetivo



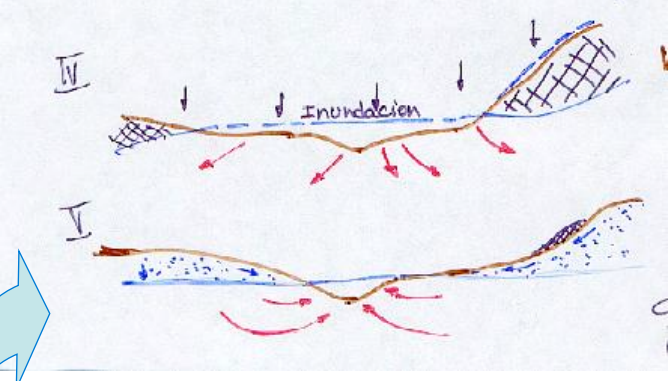
Ciclo de escorrentia





FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

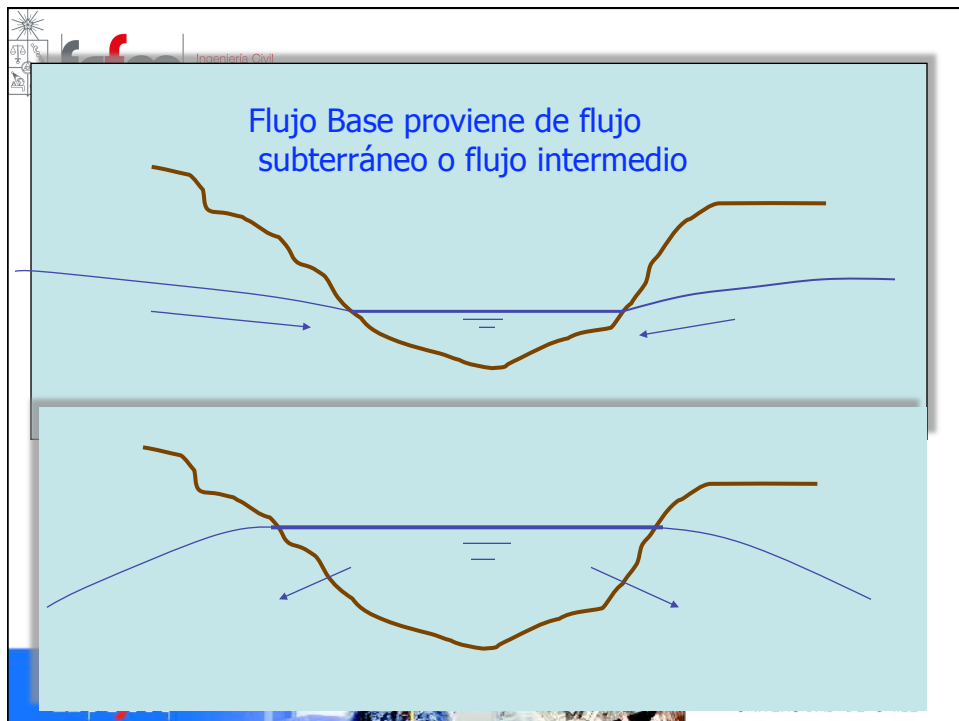

fcfm Ingeniería Civil
 FACULTAD DE CIENCIAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE

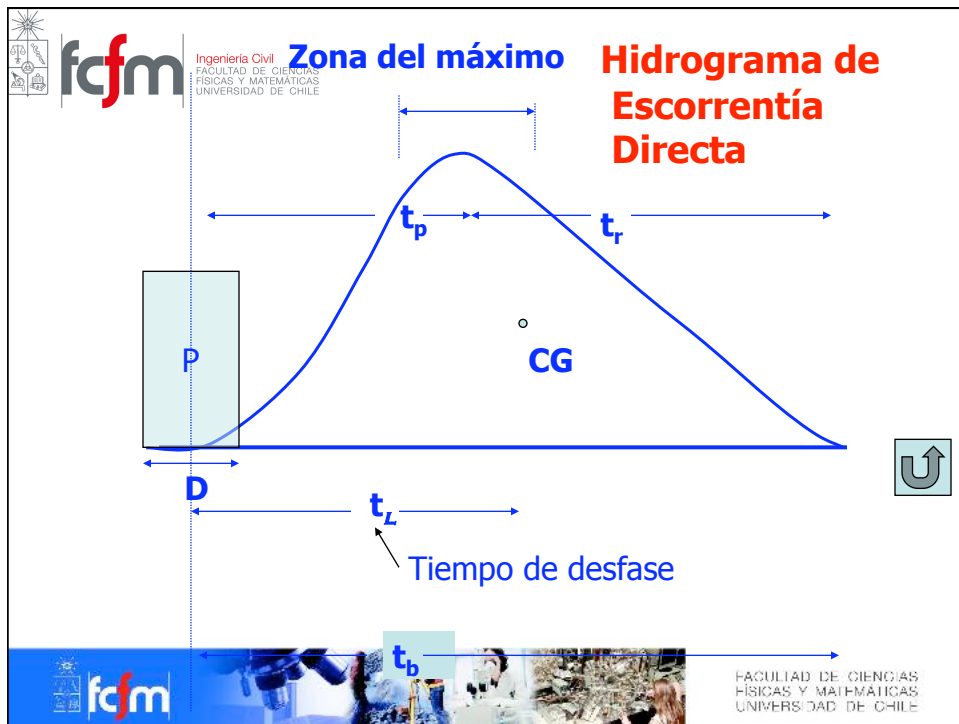


**Se agotan posibilidades de almacenamiento.
Contribuye escorrentía subsuperficial**

**Pp cesa. Agua de zona de aireación
pasa a cauces o acuíferos**

FACULTAD DE CIENCIAS
 FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE






Ingeniería Civil
 FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE

$I - Q \equiv \frac{dS}{dt}$

$Q = KS$
 $dQ = KdS$

$I - Q \equiv \frac{dQ}{K dt}$

$t=0 \quad Q=0$

$Q(t) \equiv I(1 - e^{-Kt})$







FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE


Ingeniería Civil
 FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE

No hay entrada, $I = 0$

$dQ = K'dS$

$Q \equiv \frac{dS}{dt} \equiv \frac{dQ}{K' dt}$

$t=t_0 \quad Q=Q_0$

$t' = t - t_0$

$Q(t) = Q_0 e^{-K't'}$





FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE



$$Q(t) = Q_o K^t$$

Varia con q y
estación

$$-\frac{dS}{dt} \equiv Q_t$$

$$-dS = Q_o K^t dt$$

$$-\int_{S_o}^{S_t} dS \equiv \int_{t_o}^t Q_t dt \equiv \int_{t_o}^t Q_o K^t dt$$

$$S_o - S_t \equiv \frac{Q_t - Q_o}{\ln(K)}$$



Almacenamiento Remanente

$$t=t_1 \quad Q_o=0, \quad S_o=0$$

$$S_{t1} \equiv \frac{-Q_{t1}}{\ln(K)}$$



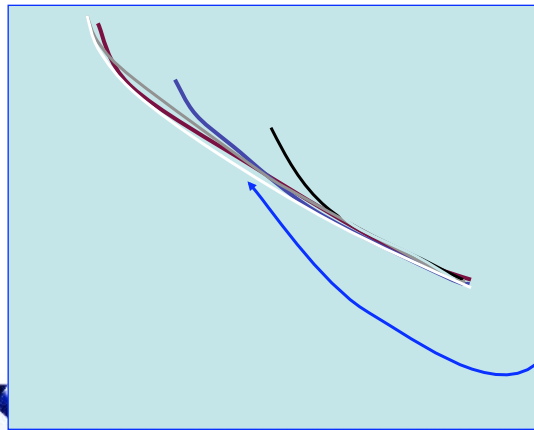


fcfm

Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Curva General de agotamiento

Análisis de curvas de recesión de varias crecidas homogéneas (sin lluvias en recesión, sin derretimiento, similar distribución espacial)



fcfm

Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



fcfm

Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

**SEPARACION DE LAS COMPONENTES DEL
HIDROGRAMA**

**FLUJO BASE (E. SUBTERRANEA Y FLUJO
INTERMEDIO LENTO)**

**ESCORRENTIA DIRECTA (FLUJO SUPERFICIAL E
INTERMEDIO RÁPIDO)**

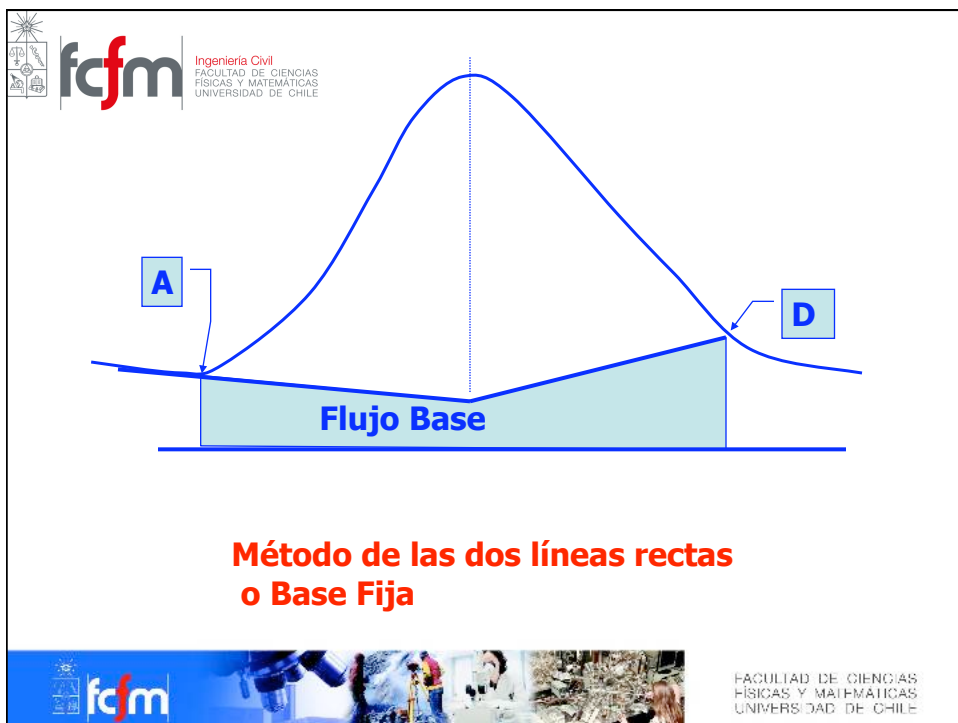
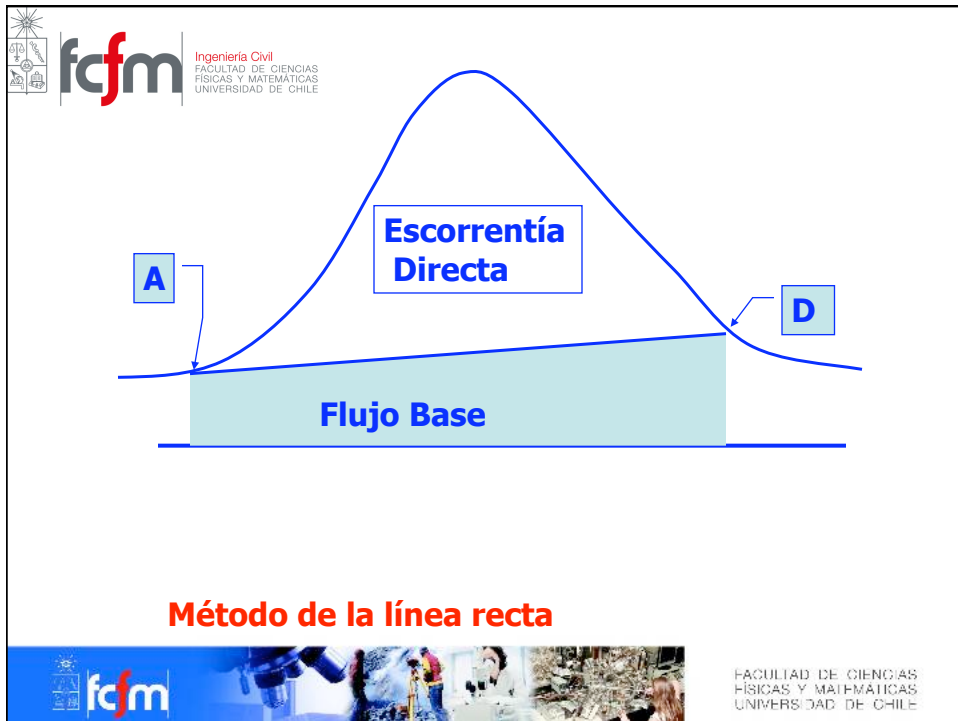
**SE SABE QUE PRECIPITACIÓN EFECTIVA ESTÁ
RELACIONADA DIRECTAMENTE CON HED**

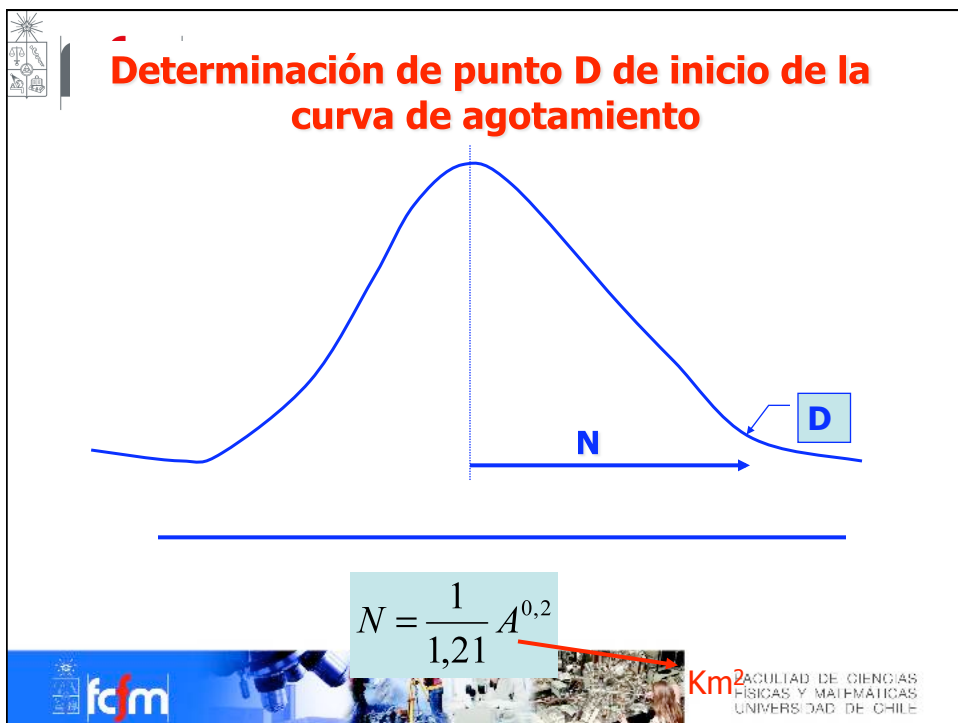
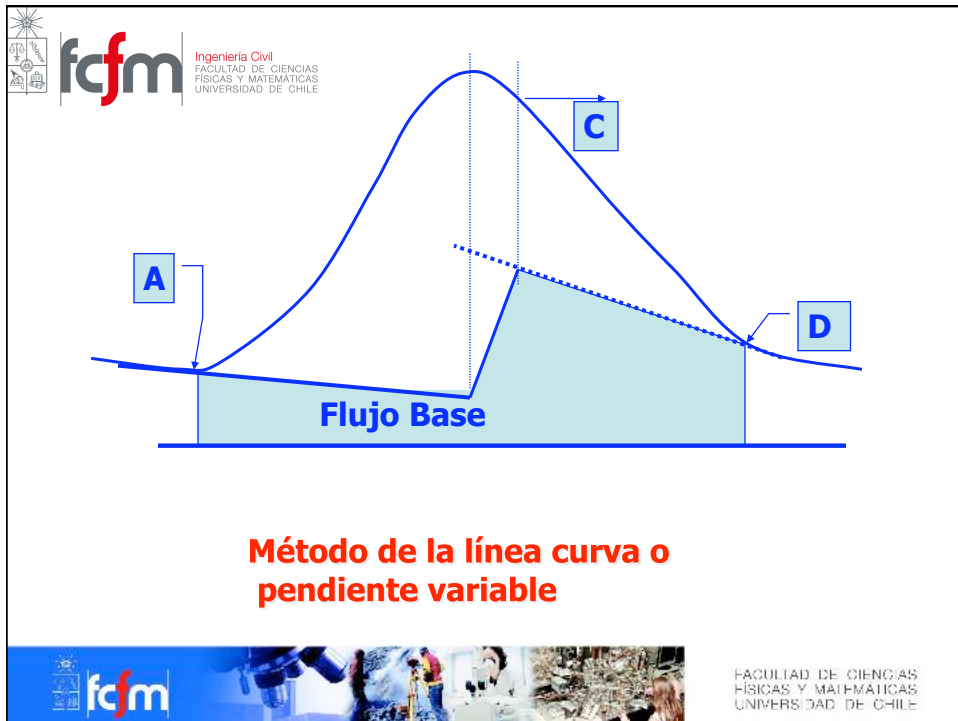


fcfm

Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE







fcfm

Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Método Gráfico

$$Q(t) = Q_o e^{-K't'}$$

$$K = \frac{1}{t'} \ln \left(\frac{Q_o}{Q} \right)$$



fcfm

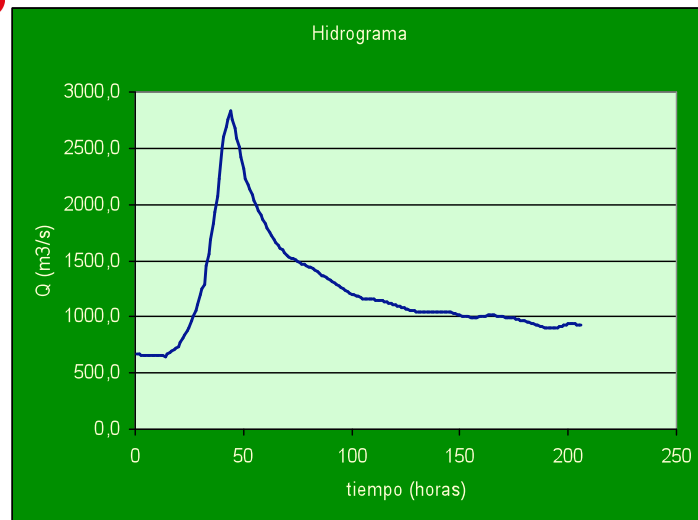


FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



fcfm

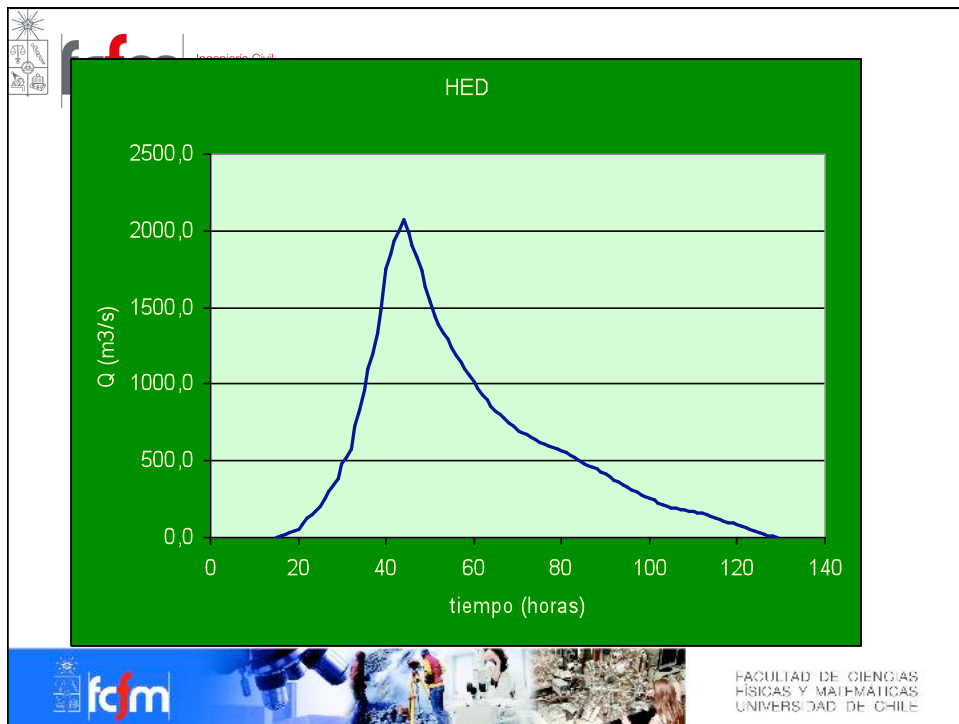
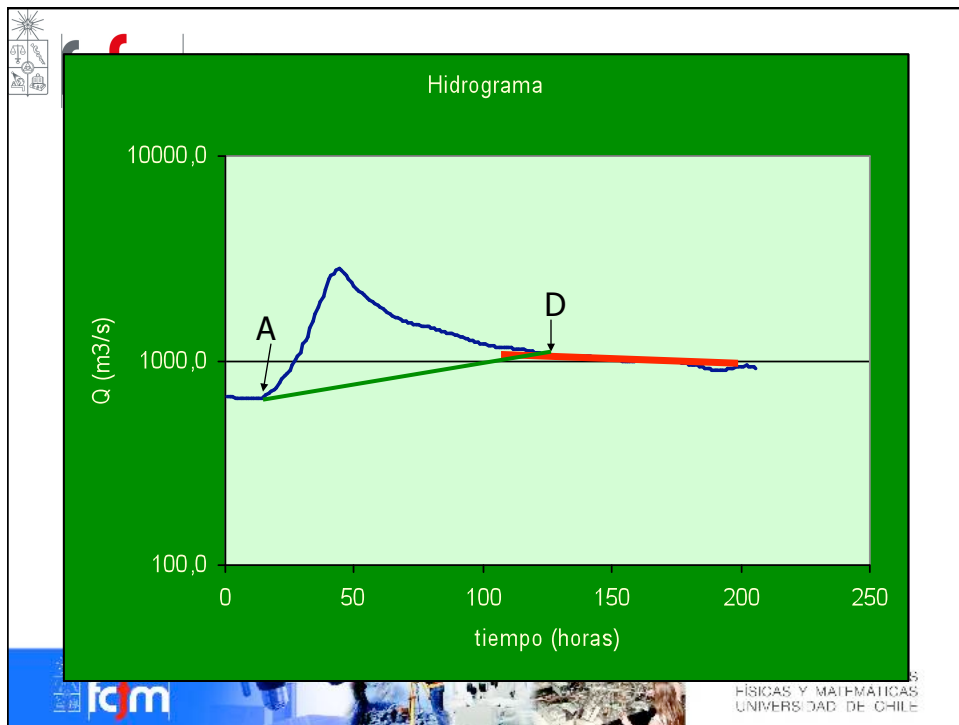
Ingeniería Civil
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

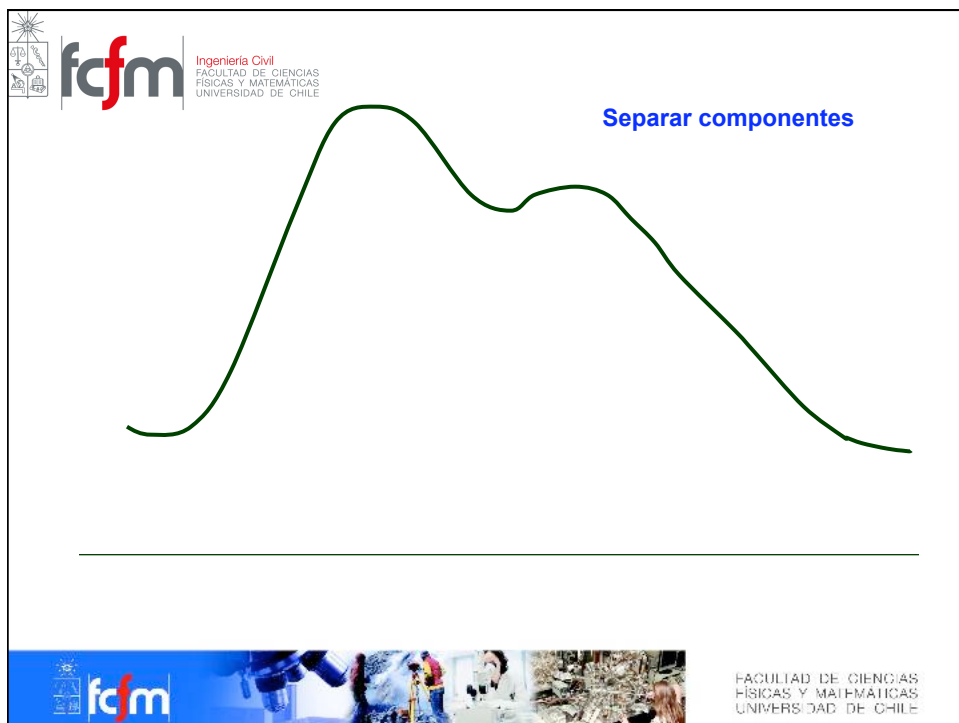
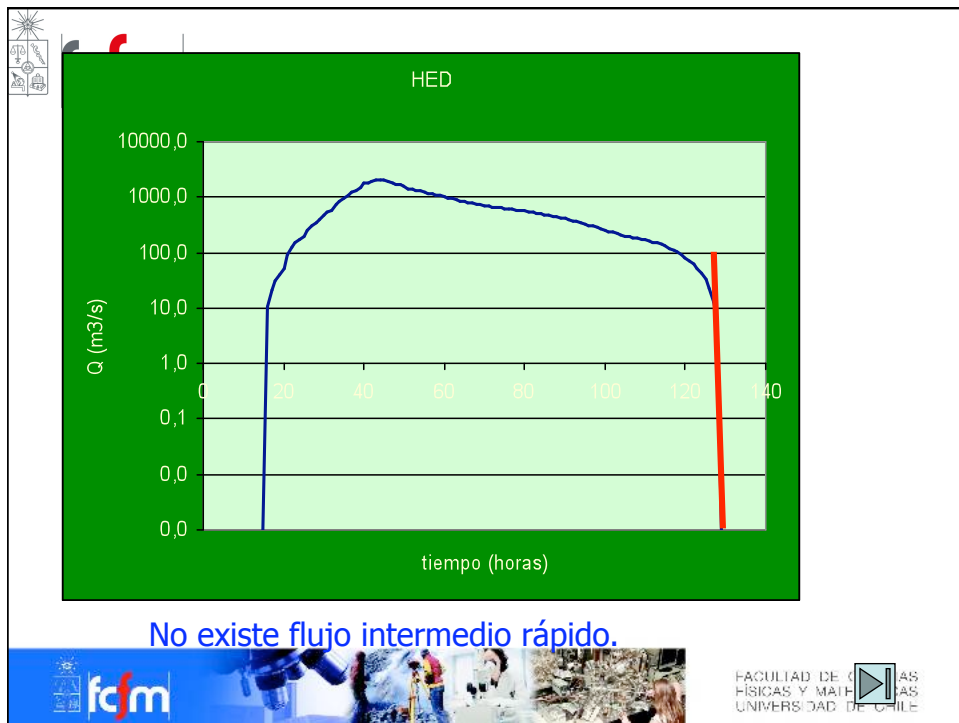


fcfm



FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE





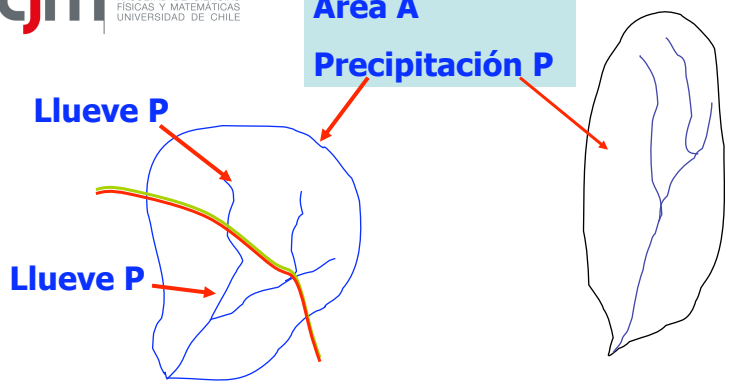

fcfm Ingeniería Civil
 FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE

Area A
Precipitación P

Llueve P

Llueve P

Diferencias de los hidrogramas




fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE


fcfm Ingeniería Civil
 FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE

Tiempo de concentración

California → $t_c = 0,95 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$

Giandotti → $t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}}$

$\frac{L}{3,6} \geq t_c \geq \frac{L}{5,4}$


fcfm

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE



<http://www.lmnoeng.com/Hydrology/TimeConc.htm>

Lag Method <http://www.hydrocad.net/6166b.htm>

$$T_c = \frac{L}{0,6}$$
$$L = \frac{l^{0,8} (S+1)^{0,7}}{1900 Y^{0,5}}$$

S: almacenamiento
potencial de agua en
el suelo (CN) (pies)

[http://
/
onlinetc.sdsu.ed
u/kerby.php](http://onlinetc.sdsu.edu/kerby.php)

Tc: tiempo de concentración [horas]
L: tiempo de desfase [horas]
l: longitud hidráulica de la cuenca
[pies]
Y: pendiente media de la cuenca [%]



FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



Análisis de Frecuencias

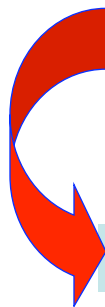
Análisis de Frecuencias Regional

Relaciones Precipitación-Escorrentía

Hidrograma Unitario

Fórmula Racional

Fórmula de Verni y King



$$Q = ciA$$



FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Coeficiente de Escorrentía

F(tipo de superficie, Periodo de retorno)

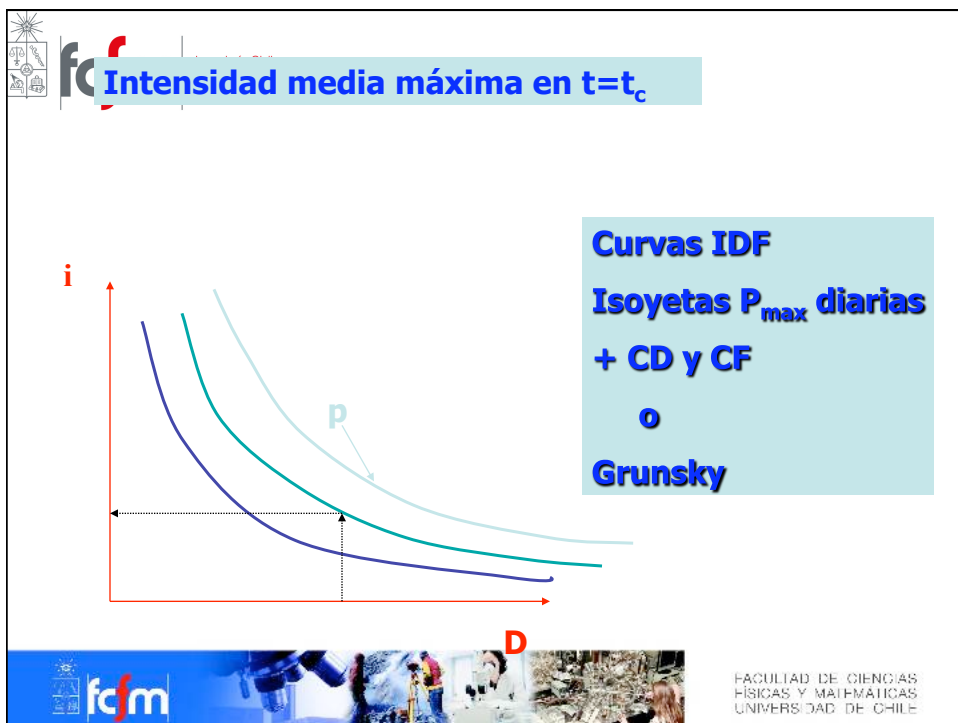
Terrenos Cultivados Terrenos Boscosos

Suelos arenosos o con altas tasas de infiltración

Suelos con tasas de infiltración bajas

	2	5	10	25....	100
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	1,00
Bosques	0,31	0,34	0,36	0,40	0,56

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE



fcfm

$t_c = t_{\text{entrada}} + t_{\text{flujo}}$

T_3 se calcula con i para t_c y $\text{área} = S_1 + S_3$

Manning

UNIVERSIDAD DE CHILE

fcfm Ingeniería Civil FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS UNIVERSIDAD DE CHILE

Fórmula de Verni y King (1977)

$$Q_T = 0,00615 P_{24}^{1,24} A^{0,88}$$

Area pluvial aportante

A base de análisis dimensional y con datos de estaciones de nuestro país.

Usar para períodos de retorno de más de 50 años

fcfm FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS UNIVERSIDAD DE CHILE



Fórmula racional modificada

Se determina el coeficiente de escorrentía
para T=10 años según tabla para cada
región. (en RM $c=0,29$)

Luego $c(T)/c(10)$ según tabla

Válido para cuencas entre 20 y 10.000 Km²

Fórmula de Verni y King modificada

$$Q_T = c(T) 0,00618 P_{24}^{1,24} A^{0,88}$$



TABLA 5
COEFICIENTE C (T=10 AÑOS)
FORMULA DE VERNI Y KING MODIFICADA

Región	C (T=10 años)
III	0,031
IV - Cuenca Elqui	0,060
IV - Cuenca Limarí	0,230
IV - Cuenca Choapa	0,230
V	0,29
VI	0,68
VII	0,71
VIII	0,79
IX	0,89





TABLA 7
COEFICIENTE (CT=10 AÑOS). FORMULA RACIONAL

Región	C(T=10 años)
III	0,011
IV - Cuenca Elqui	0,021
IV - Cuenca Limarí	0,080
IV - Cuenca Choapa	0,088
V	0,07
VI	0,27
VII	0,37
VIII	0,35
IX	0,26



TABLA 6
COEFICIENTES DE FORMULAS EMPIRICAS

PERIODO RETORNO T(años)	C(T) / C(T=10)								
	III Región	IV Elqui	IV Limarí	IV Choapa	V Región	VI Región	VII Región	VIII Región	IX Región
2	0.84	0.89	0.42	0.33	0.43	0.63	0.88	0.92	1.03
5	0.91	0.95	0.73	0.68	0.85	0.85	0.98	0.98	1.02
10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.10	1.06	1.29	1.38	1.16	1.15	1.01	1.00	0.98
25	1.14	1.10	1.41	1.54	1.25	1.20	1.01	1.00	0.98
50	1.24	1.16	1.71	2.00	1.43	1.33	1.01	1.01	0.97
100	1.36	1.23	2.05	2.56	1.66	1.55	1.00	1.01	0.93





Método del Hidrograma Unitario

Modelo General de un Sistema Hidrológico

$$\frac{dS}{dt} \equiv I - Q$$

$$S \equiv f\left(I, \frac{dI}{dt}, \frac{d^2I}{dt^2}, \dots, Q, \frac{dQ}{dt}, \frac{d^2Q}{dt^2}, \dots\right)$$

Sistema Lineal

$$S \equiv a_1 Q + a_2 \frac{dQ}{dt} + \dots + a_n \frac{d^{n-1}Q}{dt^{n-1}} + b_1 I + b_2 \frac{dI}{dt} + \dots + b_m \frac{d^{m-1}I}{dt^{m-1}}$$

$$\frac{dS}{dt} \equiv a_1 \frac{dQ}{dt} + a_2 \frac{d^2Q}{dt^2} + \dots$$

