

# HIDROLOGÍA

## INFILTRACIÓN

### Parte I

Julián David Rojo Hdz.

I.C. Msc. Recursos Hidráulicos

# INFILTRACIÓN

- **Infiltración:** flujo descendente del agua desde al superficie a través del perfil del suelo.
- **Capacidad de infiltración:** ( $f_p$ ) Cantidad de agua que puede absorber el suelo por unidad de tiempo.
- **Tasa de infiltración:**  $f(t)$  medida del agua que penetra en el suelo, se expresa en

# CONSIDERACIONES (I)

- Dos fuerzas son responsables del movimiento del agua en las columnas de suelo. La succión del suelo y la gravedad.

**Succión:** tensión capilar que depende del tamaño de los poros (vacíos) del suelo

**Gravedad:** movimiento vertical descendente del agua

# CONSIDERACIONES (II)

- Suponga que al inicio de una tormenta el suelo está completamente seco de forma tal que la cantidad de agua que puede absorber por unidad de tiempo (*capacidad de infiltración*) es mayor que la intensidad de la lluvia en esos primeros instantes.

$$i < f_p \quad f(t) = i$$

En esta parte del proceso las fuerzas capilares (succión) predominan sobre las gravitacionales, y la

# CONSIDERACIONES (III)

- Al avanzar el tiempo, si la lluvia es suficientemente intensa, el contenido de humedad del suelo aumenta hasta que *su superficie alcanza la saturación*. En ese momento se comienzan a llenar las depresiones del terreno, es decir se generan **charcos**. A ese instante se le conoce con el nombre de tiempo de encharcamiento ( $t_p$ )

# CONSIDERACIONES (IV)

Después del tiempo de encharcamiento, si la lluvia sigue siendo intensa, las fuerzas capilares pierden importancia frente a las gravitacionales pues el contenido de humedad aumenta y la capacidad de infiltración disminuye. *La infiltración se hace independiente de la variación de la intensidad de la lluvia con el tiempo y ahora depende de la capacidad de transmisión del suelo.*

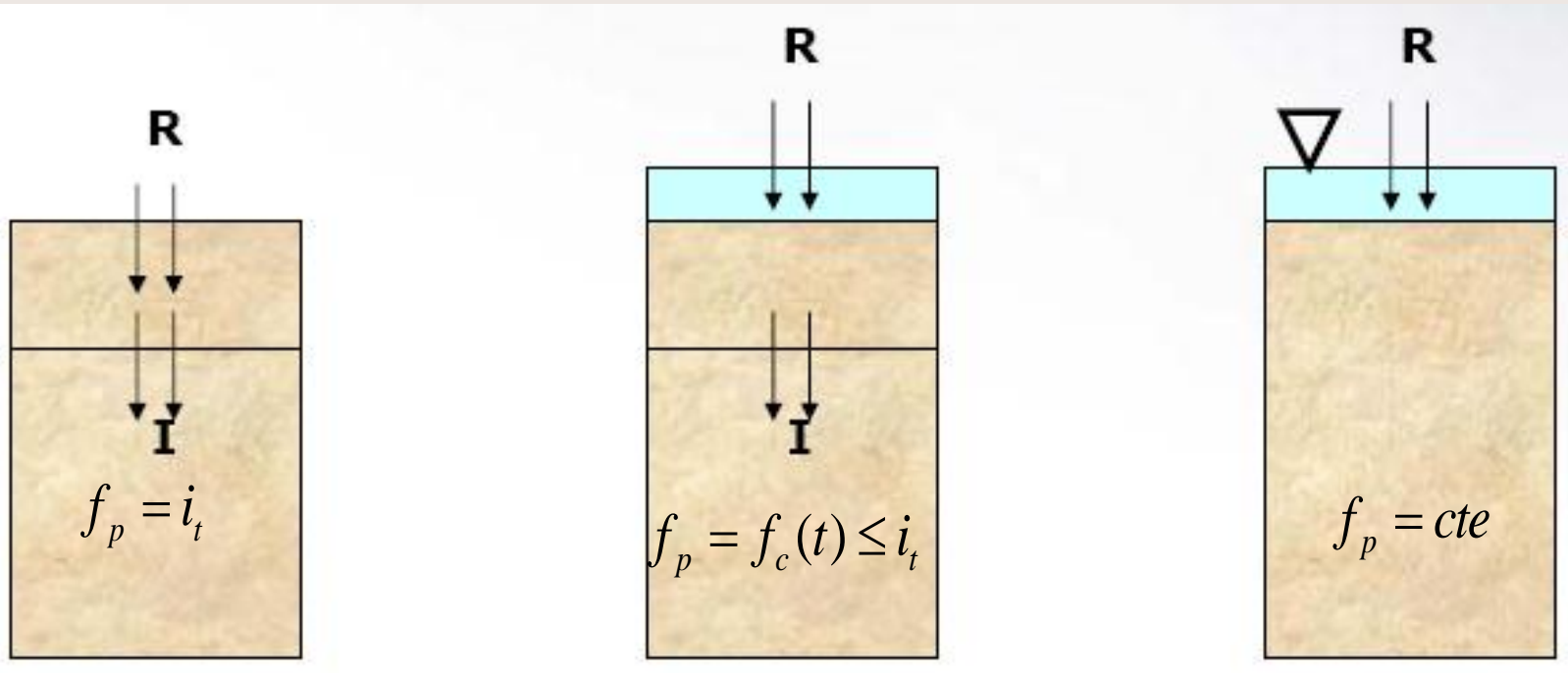
$$i > f_p \quad t > t_p \quad f(t) = f_p$$

# CONSIDERACIONES (V)

Bajo las consideraciones anteriores, la capa saturada ( que en el tiempo de encharcamiento era muy delgada y estaba ubicada en la superficie del terreno), se ensancha a medida que su limite inferior, *denominado frente húmedo*, baja.

Cada vez una mayor parte del suelo está saturada, y llegará un momento en el cual todo el medio esté saturado donde el movimiento del agua solo se produce por acción de la gravedad y la tasa de infiltración se vuelve constante.

# FASES DE LA INFILTRACIÓN



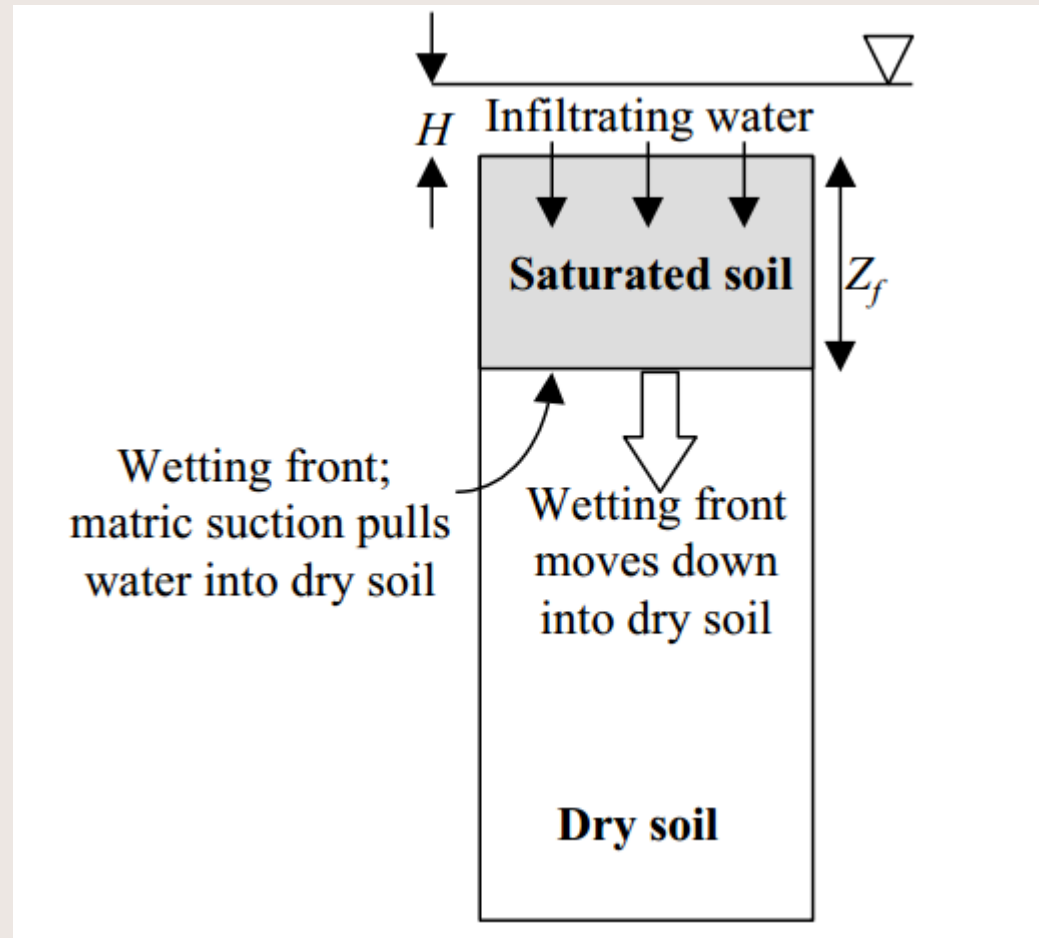
Sin Encharcamiento  
Controla la lluvia

Con Encharcamiento  
Controla el suelo  
Avance del frente  
humedo

En el largo plazo la  
tasa de infiltración es  
constante



# AVANCE DEL FRENTE HÚMEDO



# VARIABLES A CONSIDERAR

- Cobertura vegetal, contenido radicular, desarrollo de materia orgánica.
- Intensidad de la precipitación y profundidad de los encharcamientos.
- Contenido inicial de humedad en el suelo.
- Textura y tipo de suelo ( conductividad y permeabilidad).
- Topografía y pendiente del terreno.

# PERDIDAS DE PRECIPITACIÓN

La diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre por su salida recibe el nombre genérico de pérdidas.

## **Perdidas:**

- Interceptación en el follaje de las plantas.
- Retención en depresiones o charcos
- Evaporación
- Infiltración

**La porción mas grande de las pérdidas esta dada por la infiltración**

# PRECIPITACIÓN EFECTIVA

- Supóngase que se dispone de un hietograma que refleja la precipitación total caída, obtenido directamente de un pluviografo. El objetivo es **separar la parte de esa precipitación que ha generado escorrentía directa**. A esa parte la llamamos *precipitación efectiva o exceso de precipitación*

The image shows a spiral-bound notebook with a brown cover and a white page. The spiral binding is on the left side. The text is centered on the page.

# **METODOS EMPIRICOS PARA DETERMINAR LA INFILTRACIÓN**

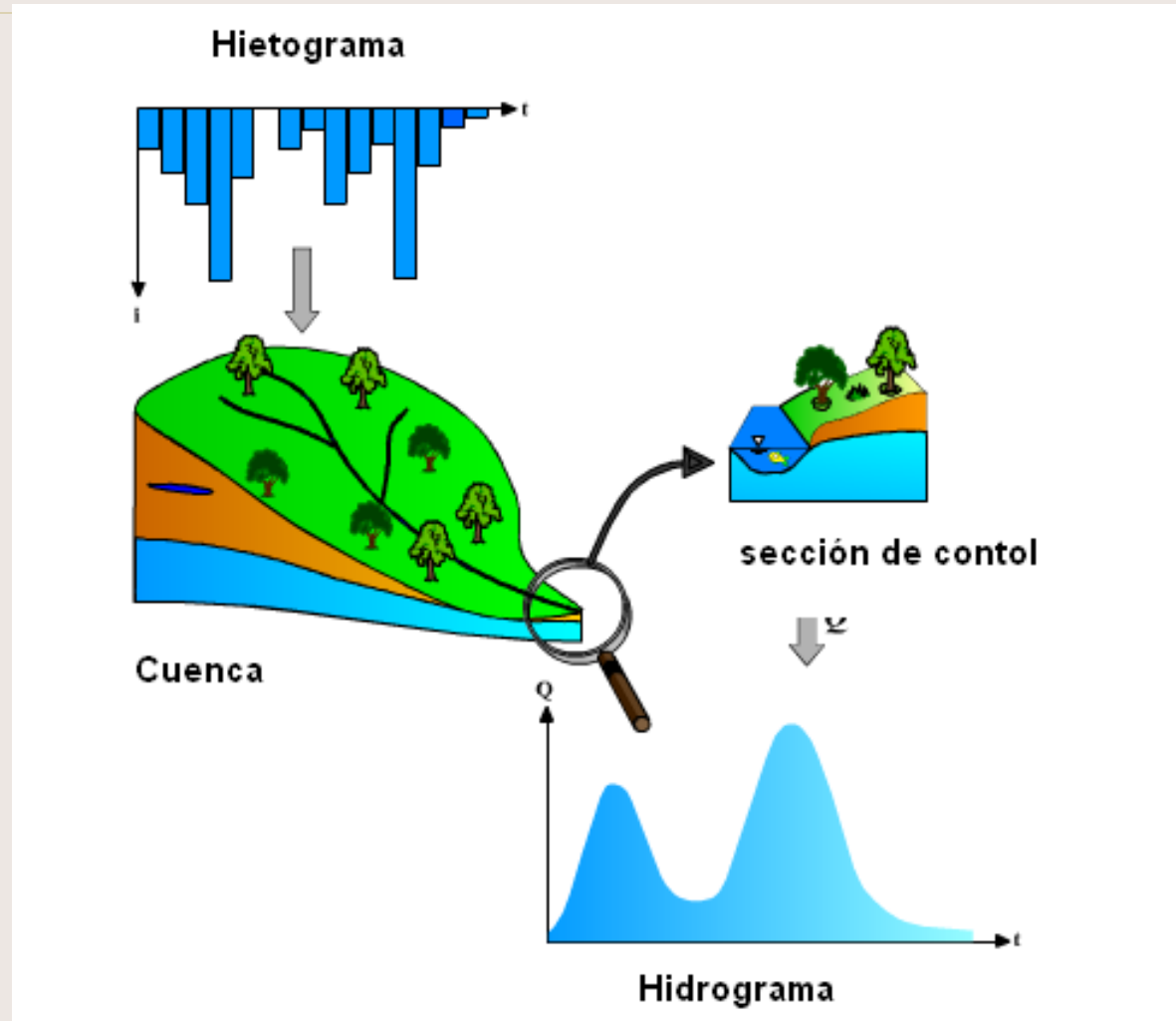
# **Capacidad de infiltración media**

**(El índice de infiltración media  $\phi$ )**

# CAPACIDAD DE INFILTRACION MEDIA (I)

- Este criterio supone que la capacidad de infiltración es constante durante toda la tormenta, dicha constante se conoce como  $\phi$  y representa la capacidad de infiltración media de una cuenca.

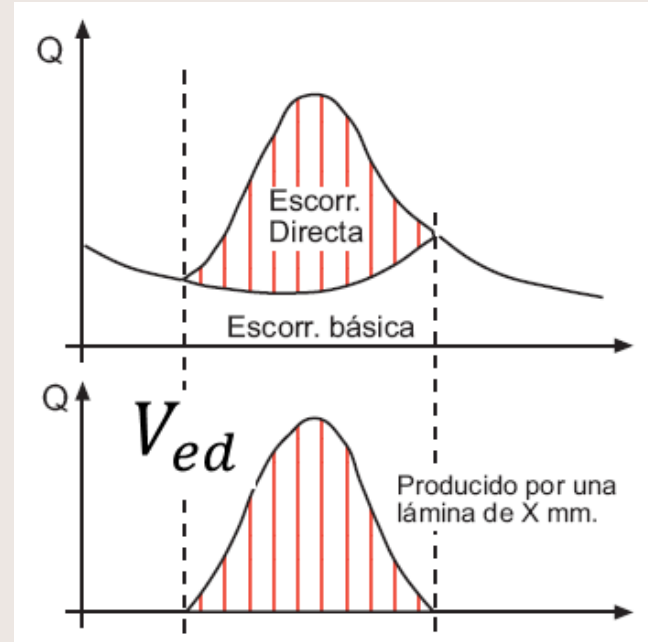
# INFORMACIÓN NECESARIA





# CAPACIDAD DE INFILTRACION MEDIA (II)

- **Paso 1:** Separar del hidrograma el flujo base y estimar el volumen de escorrentía directa  $V_{ed}$  (Área bajo la curva del hidrograma)



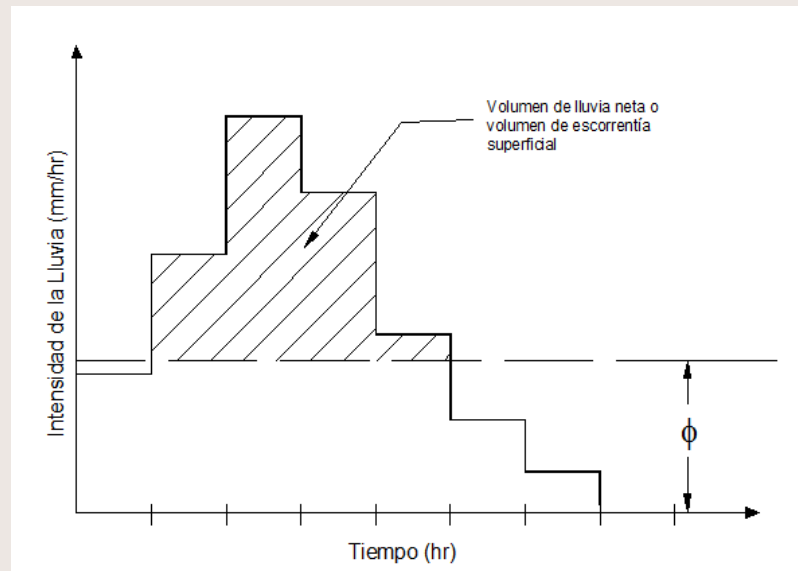
# CAPACIDAD DE INFILTRACION MEDIA (III)

- **Paso 2:** Estimar la lamina de lluvia en exceso o efectiva  $h_{pe}$  como el volumen de escorrentía directa dividido por el área de la cuenca.

$$h_{pe} = \frac{V_{ed}}{A}$$

# CAPACIDAD DE INFILTRACION MEDIA (IV)

- **Paso 3:** Se calcula el índice de infiltración media  $\phi$  trazando una línea horizontal en el hietograma de la tormenta, de tal manera que la sumatoria de las alturas de precipitación que queden arriba de la línea trazada sea igual a la altura de precipitación efectiva  $h_{pe}$



# CAPACIDAD DE INFILTRACION MEDIA (IV)

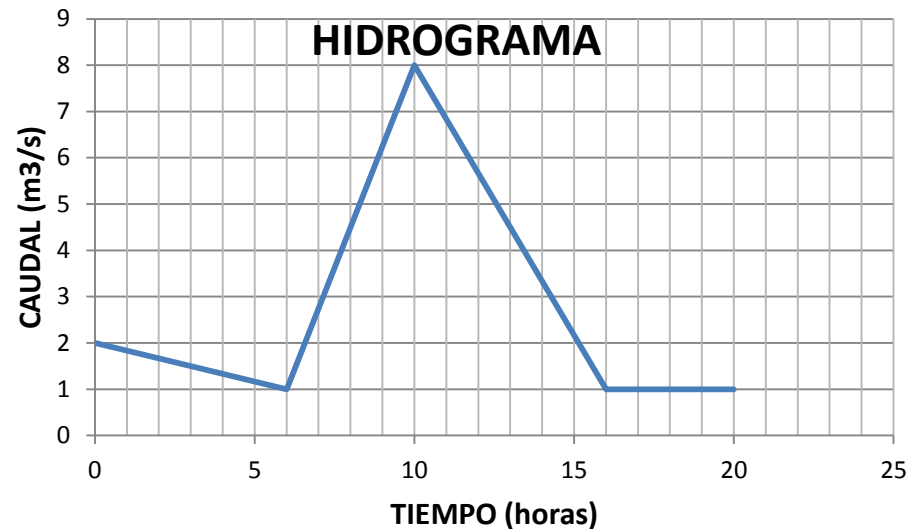
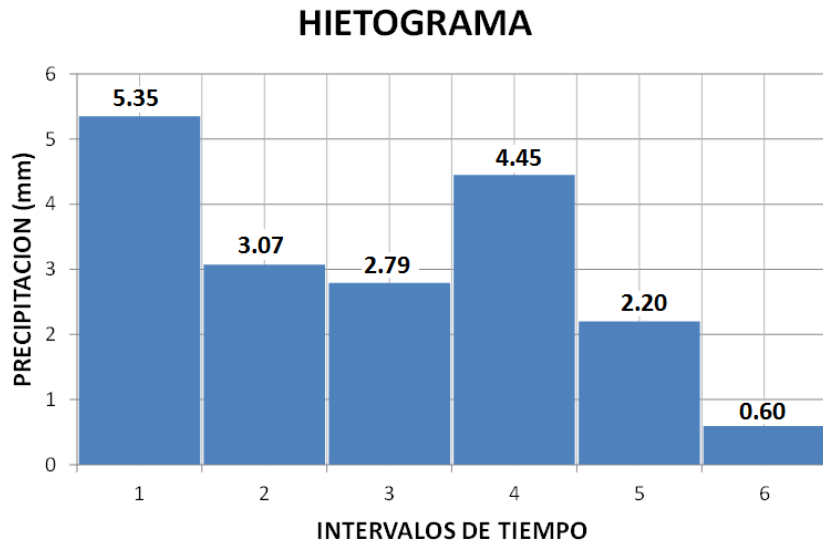
- Para calcular el índice  $\phi$  se requieren iteraciones sucesivas hasta igualar el valor de las precipitaciones por encima de la línea horizontal al  $h_{pe}$ .
- El valor del índice de infiltración media  $\phi$  será igual a la altura de precipitación correspondiente a la línea horizontal dividida entre el intervalo de tiempo  $\Delta t$  que dura cada barra del hietograma.
- Recordar que el índice  $\phi$  es una medida global de las

# CAPACIDAD DE INFILTRACION MEDIA (IV)

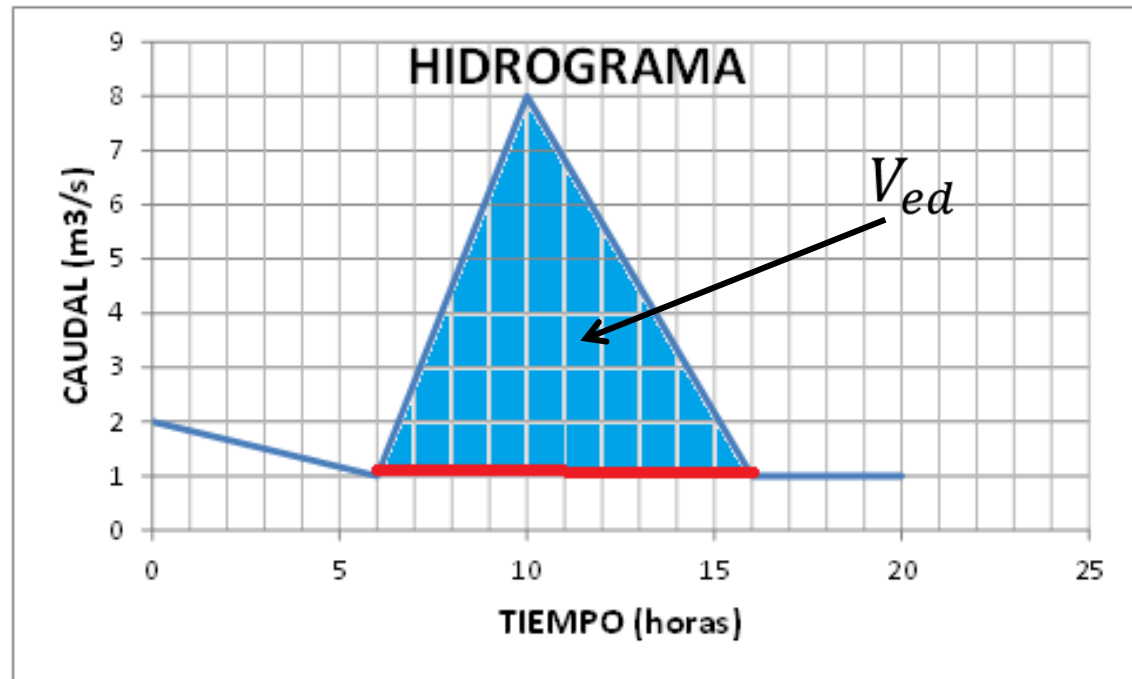
- Para calcular el índice  $\phi$  se requieren iteraciones sucesivas hasta igualar el valor de las precipitaciones por encima de la línea horizontal al  $h_{pe}$ .
- El valor del índice de infiltración media  $\phi$  será igual a la altura de precipitación correspondiente a la línea horizontal dividida entre el intervalo de tiempo  $\Delta t$  que dura cada barra del hietograma.
- Recordar que el índice  $\phi$  es una medida global de las

# Ejemplo

- En una cuenca de  $36 \text{ km}^2$  se midieron el hidrograma y el hietograma que se presentan en la figura para una determinada tormenta. Determinar el índice de infiltración media  $\phi$ .



# Ejemplo

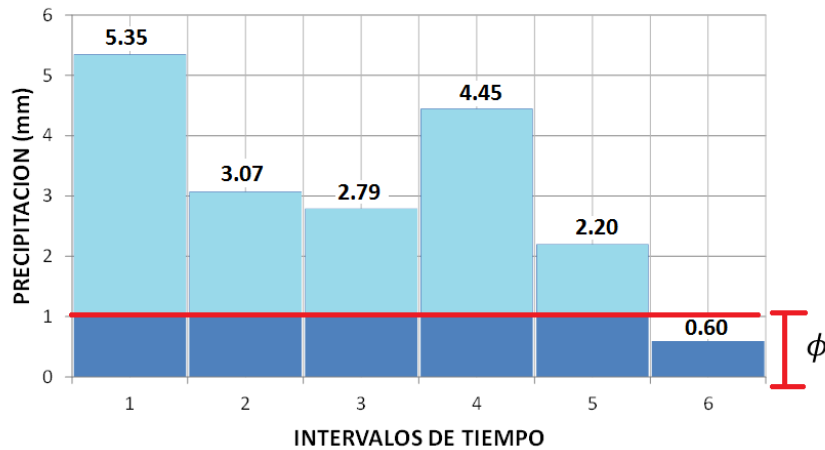


$$V_{ed} = \frac{10 \times 3600 \times 7}{2} = 126000 m^3$$

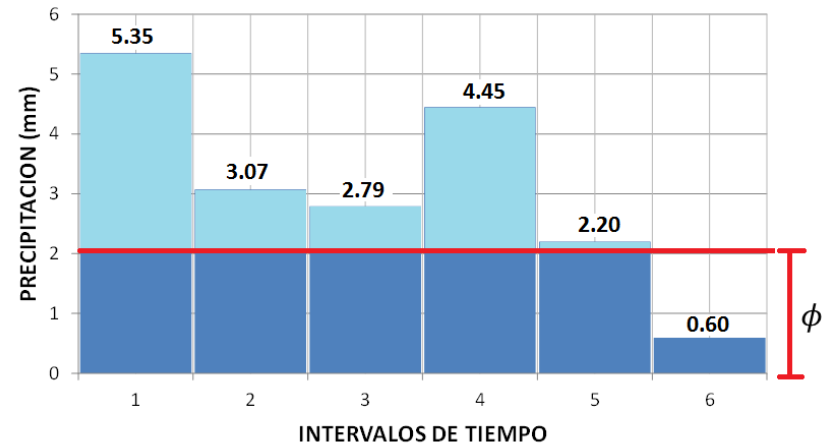
$$h_{pe} = \frac{126000}{36 \times 10^6} = 0.0035 m = 3.5 mm$$

# Iteraciones

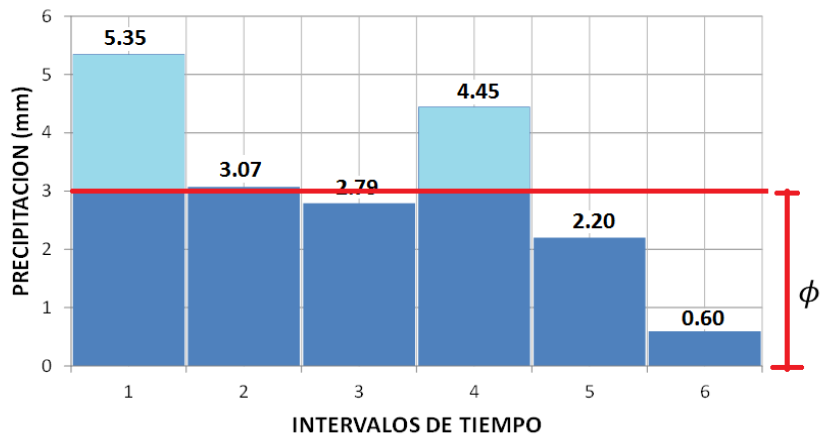
## HIETOGRAMA



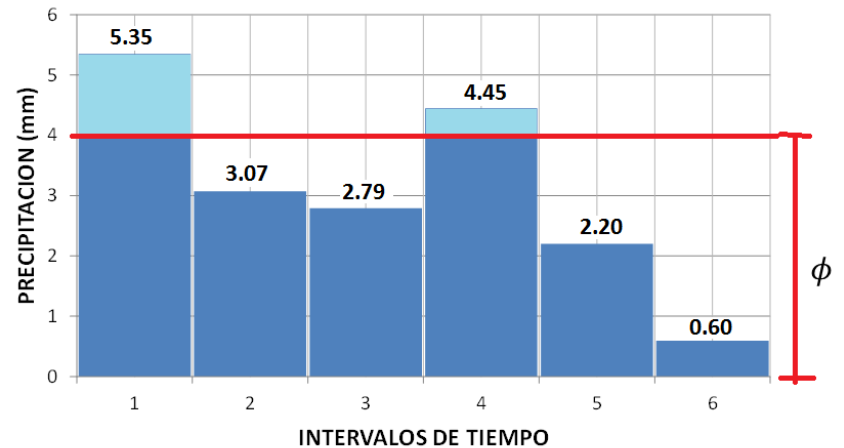
## HIETOGRAMA



## HIETOGRAMA



## HIETOGRAMA





# Resultados iteraciones

$\phi$	$h_{pe1}$	$h_{pe2}$	$h_{pe3}$	$h_{pe4}$	$h_{pe5}$	$h_{pe6}$	suma
0	5.35	3.07	2.79	4.45	2.2	0.6	18.46
1	4.35	2.07	1.79	3.45	1.2	0	12.86
2	3.35	1.07	0.79	2.45	0.2	0	7.86
3	2.35	0.07	0	1.45	0	0	3.87
4	1.35	0	0	0.45	0	0	1.8
3.1	2.25	0	0	1.35	0	0	3.6
3.11	2.24	0	0	1.34	0	0	3.58
3.12	2.23	0	0	1.33	0	0	3.56
3.13	2.22	0	0	1.32	0	0	3.54
3.14	2.21	0	0	1.31	0	0	3.52
<b>3.15</b>	<b>2.2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1.3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3.5</b>

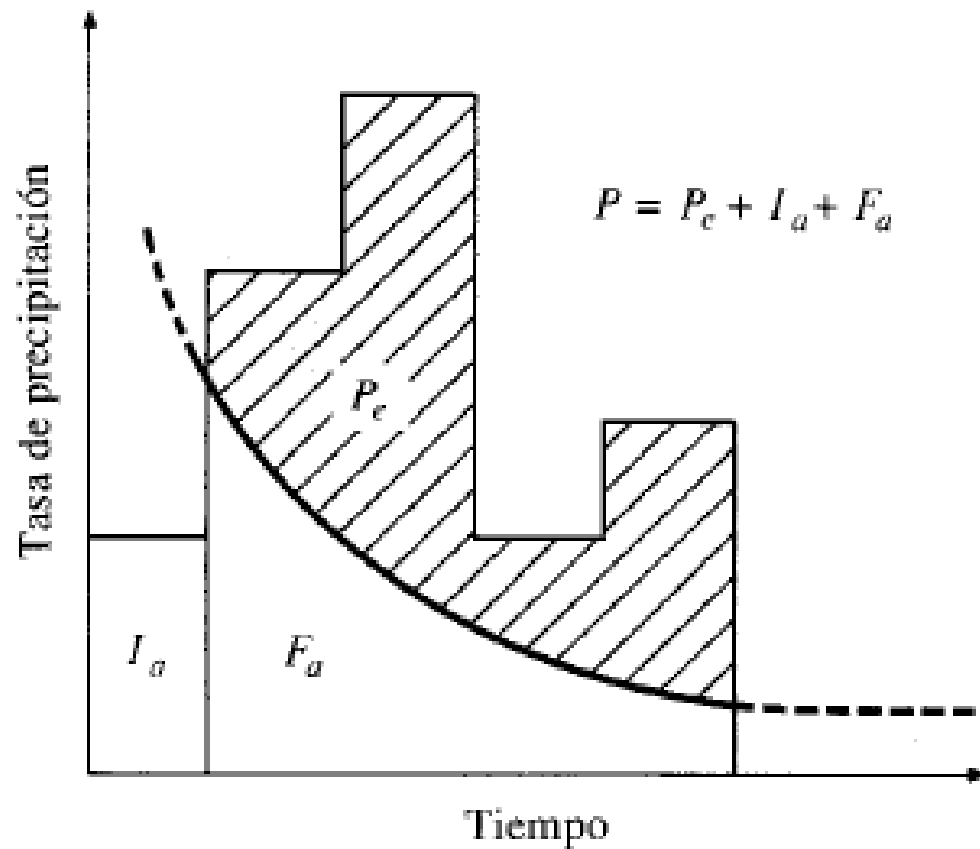
A spiral-bound notebook with a brown cover and a white page. The spiral binding is on the left side. The page is mostly blank, with a horizontal line near the top. The title is centered on the page.

# **MÉTODO DEL SCS PARA ABSTRACCIONES**

# MÉTODO DEL SCS

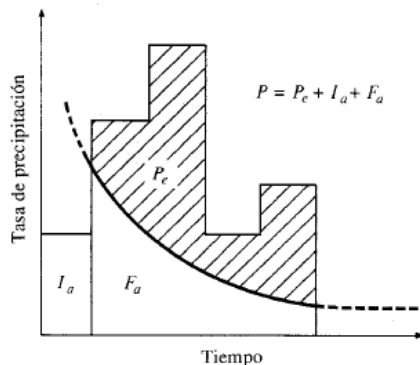
- El denominado método del número de curva (CN) ha sido el más ampliamente utilizado desde los años 70 cuando fue desarrollado por el servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos (SCS) con el objeto de clasificar la escorrentía potencial para diferentes combinaciones de suelo, cobertura vegetal, tratamiento del suelo y condiciones de humedad antecedente.
- Es el mas utilizado a nivel mundial por su sencillez y alto valor conceptual.

# CONSERVACION DE LA MASA EN EL SCS



# HIPOTESIS BÁSICA DEL SCS

- Para la tormenta como un todo, la precipitación efectiva  $P_e$  siempre es menor o igual que la precipitación total  $P$ . De manera similar la cantidad total de agua infiltrada  $F$  siempre es menor o igual a la capacidad máxima de almacenamiento de agua de la cuenca  $S$ . Una cierta cantidad de precipitación será absorbida directamente por el suelo antes del tiempo de encharcamiento, dicha cantidad se conoce como abstracción inicial  $I_a$ , luego la esorrentía potencial será  $P - I_a$ . Para el SCS las relaciones entre las dos cantidades potenciales y las dos cantidades reales son iguales, es decir:



$$\frac{F}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

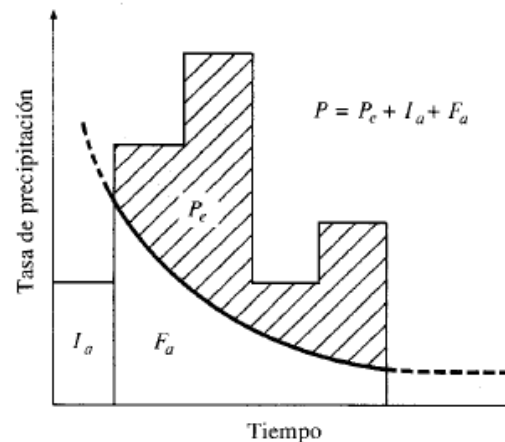
# ECUACIONES DEL MÉTODO DEL SCS

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Ecuación de continuidad

Empíricamente:  $I_a = 0.2S$

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



Para estandarizar los cálculos se establece una "curva número", que indica la permeabilidad de la superficie

$0 < CN < 100$

-> suelos impermeables  $CN=100$

-> suelos naturales  $CN < 100$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \text{ (pulg.)}$$

# MÉTODO DEL SCS

- El método relaciona la escorrentía superficial (precipitación efectiva) ( $Pe$ ) con la precipitación total ( $P$ ) y la capacidad de almacenamiento ( $S_{max}$ ) mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \qquad I_a = 0.2S$$

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

# EL NÚMERO DE CURVA

- El intervalo del número de curva CN es de 0 a 100 y es función de la textura del suelo, la cobertura del suelo y los antecedentes de humedad. Entre menor es el número de curva más bajo es el potencial de escorrentía; las condiciones del suelo están clasificadas en cuatro grupos hidrológicos con base en la textura y la estructura del suelo y con base en la humedad antecedente se definen tres grupos AMC. Entre mas altas sean las condiciones de humedad antecedente mayor será el potencial de escorrentía.



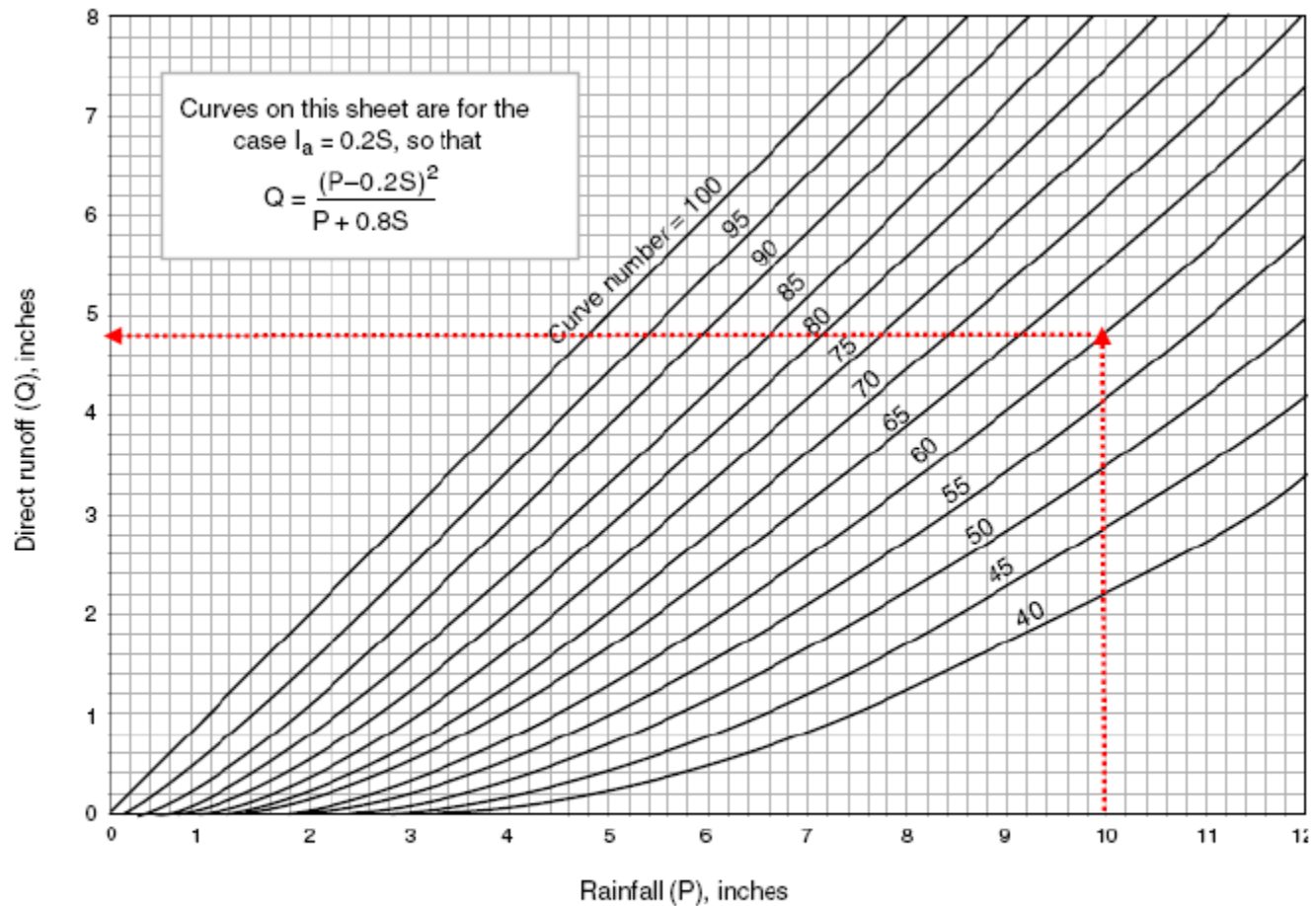


Gráfico original con las curvas numeradas (CN), tomado de NRSC (1986).

Se indica un ejemplo: 10 pulgadas de precipitación, sobre una cuenca a la que correspondía la curva número 60, generaría una escorrentía equivalente a 4,8 pulgadas

# VALORES DE TASAS DE INFILTRACIÓN PARA DIFERENTES GRUPOS DE SUELO

Grupo de suelo	Descripción	Rangos de Tasas de pérdida [mm/h]
A	Arenas profundas, loess profundos, limos agregados.	7.62 – 11.43
B	Loess superficial, Marga arenosa.	3.8 – 7.62
C	Arcillas Margosas, Margas arenosas superficiales, Suelos con bajo contenido de materia orgánica y suelos con alto contenido de arcillas.	1.27 – 3.81
D	Suelos que se ablandan significativamente cuando están húmedos, Arcillas de alta plasticidad y ciertos suelos salinos 0.00-0.05	0 – 1.27

# GRUPOS AMC

Seco

Normal

Húmeda

	Precipitación total en los 5 días anteriores	
Humedad previa	Plantas en periodo latente	Plantas en periodo de crecimiento
I (seco)	Menos de 13 mm	menos de 35 mm
II (normal)	De 13 a 32 mm	De 35 a 52 mm
III (húmedo)	Más de 32 mm	Más de 52 mm

# VALORES DE CN (CONDICIONES NORMALES)

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Tipo de suelo			
		A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	77	86	91	94
Cultivos en surcos	Surcos rectos	72	81	88	91
	Contorneo	70	79	84	88
	Terrazas	66	74	80	82
Cereales	Surcos rectos	65	76	84	88
	Contorneo	63	74	82	85
	Terrazas	61	72	79	82
	Terrazas	59	70	78	81
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos rectos	66	77	85	89
	Contorneo	64	75	83	85
	Terrazas	63	73	80	83
Pastizales	-----	68	79	86	89
	Contorneo	47	67	81	88
<b>Bosques naturales</b>	-----				
Muy ralo	-----	56	75	86	91
Ralo		46	68	78	84
Normal		36	60	70	77
Espeso	-----	26	52	62	69
Muy espeso	-----	15	44	54	61
<b>Caminos</b>					
De terracería		72	82	87	89
De superficie dura		74	84	90	92

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, subur-bana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II,  $I_n = 0.2S$ )

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada <sup>1</sup> : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena <sup>2</sup>	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Dístritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial <sup>3</sup> :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable <sup>4</sup>			
1/8 acre o menos	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. <sup>5</sup>	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados <sup>5</sup>	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

# CORRECCIÓN DEL CN POR HUMEDAD ANTECEDENTE

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$