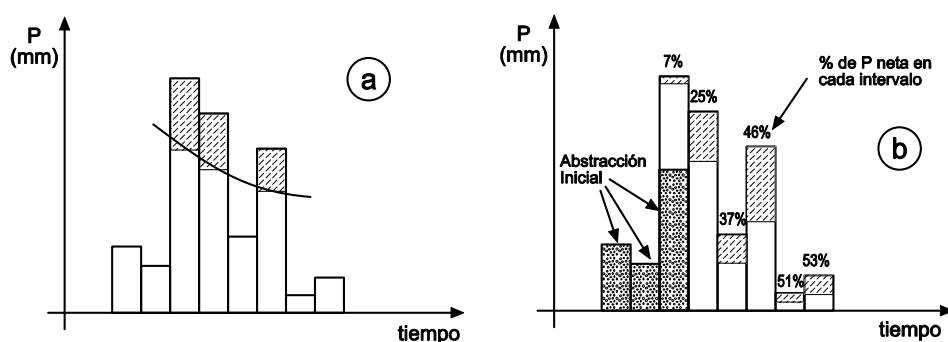


# Calculo de la Precipitación Neta mediante el método del S.C.S.<sup>1</sup>

## Introducción. Objetivos

Un pluviógrafo registra la precipitación total caída sobre la superficie. El objetivo es separar la parte de esa precipitación que ha generado escorrentía directa. A esa parte la llamamos *P neta*, *P efectiva* o *P en exceso*<sup>2</sup>. La *P* que no genera escorrentía queda como retención superficial o se infiltra. Posteriormente, este agua acabará evapotranspirándose o llegando a la escorrentía subterránea, pero esto no nos interesa en este momento: es agua perdida para la escorrentía directa, y la denominaremos *abstracciones*.



La Precipitación Neta (zona rayada) es el 20% en los casos (a) y (b):

(a) Las abstracciones disminuyen con el tiempo, una línea continua decreciente separa la *P neta*

(b) Después de un umbral inicial (o abstracción inicial), el porcentaje de precipitación neta aumenta progresivamente

La capacidad de infiltración del suelo va disminuyendo con el tiempo. Por esta razón, parece que la delimitación de la *P neta* debería seguir una curva descendente que refleje la disminución de la capacidad de infiltración del suelo (como se muestra en la figura 1.a).

El método práctico que vamos a exponer aquí supone que el suelo retiene una cierta cantidad caída al principio (por ej., los primeros 23 mm), y después de eso las abstracciones van disminuyendo progresivamente. Efectivamente, en la figura 1.b se aprecia que el porcentaje de precipitación que genera escorrentía va aumentando con el tiempo.

## Procedimiento de Cálculo

El procedimiento que estableció empíricamente el Servicio de Conservación de Suelos USA (Mockus, V., 1964) y se ajusta a la idea esbozada en la figura 1.b. Este organismo ha mantenido vigente el procedimiento (NRCS, 2004, 2009) y lo implementa en el modelo TR-55<sup>3</sup>. También se aplica en el modelo HMS (HEC, 2015).

<sup>1</sup> Soil Conservation Service, actualmente NRCS (National Resources Conservation Service)

<sup>2</sup> *P en exceso* procede de la traducción literal del inglés *excess rainfall*, y por ello es una denominación tan extendida. No parece adecuado decir que llueve en exceso (es decir: demasiado) si se trata de una cuenca que necesita agua en sus cauces superficiales.

*Precipitación efectiva* es un término ambiguo: aquí significa que produce escorrentía directa, pero en agricultura se refiere a la parte de la precipitación que contribuye al crecimiento de la planta.

*Precipitación neta* generalmente se utiliza para la precipitación que produce escorrentía directa, aunque en otros estudios se refiere a la diferencia precipitación–evaporación.

Inglés: excess rainfall, effective rainfall, net rainfall (o excess precipitation, etc.)

Francés: pluie excédentaire, pluie utile, pluie efficace, pluie nette.

<sup>3</sup> Puede descargarse de :<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?cid=stelprdb1042901>

La clave para la aplicación del procedimiento es la precipitación inicial que no produce escorrentía directa. Esta magnitud se denomina *abstracción inicial* o *umbral de escorrentía*. Para su evaluación se utilizan tablas en función del tipo de suelo (arenoso, arcilloso,...), uso del suelo (bosques, cultivos,...), pendiente, etc. Las tablas americanas proporcionan valores de CN (“*curve number*”, que es una función de la *abstracción inicial*), mientras que las tablas españolas indican valores del *umbral de escorrentía* ( $P_o$ ).

### Cálculo para un único dato de pluviometría

Los pasos a seguir son los siguientes:

1º) **Cálculo del umbral de escorrentía,  $P_o$ .** ( o “abstracción inicial”). Es un dato que aparece tabulado en función del uso de la superficie (bosque, cultivo, etc.), de la pendiente y del tipo de suelo (A, B, C ó D, de más arenoso y permeable a más arcilloso e impermeable). Finalmente hay que modificarlo si los días anteriores han sido muy secos o muy húmedos. Veremos esto con detalle más adelante.

2º) **Cálculo de la P neta<sup>4</sup>.** Se utiliza la expresión siguiente:

$$P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o} \quad (1)$$

donde:  $P$  = precipitación total registrada

$P_n$  = precipitación neta

$P_o$  = abstracción inicial o umbral de escorrentía

Veremos la obtención de esta fórmula más adelante.

Ejemplo: Calcular la precipitación neta de una precipitación diaria total de 31 mm.

Supongamos que hemos consultado las tablas y hemos obtenido un valor de  $P_o$  de 12 mm. La P neta sería igual a :

$$P_n = \frac{(31-12)^2}{31+4 \cdot 12} = 4,6 \text{ mm}$$

### Cálculo para un hietograma completo

El proceso es el mismo, pero trabajando con las precipitaciones acumuladas (En este ejercicio se utilizan los datos con los que se ha dibujado la figura 1.b) :

1º) **Cálculo del umbral de escorrentía,  $P_o$ .** ( o “abstracción inicial”)

Supongamos que hemos consultado las tablas y hemos obtenido un valor de  $P_o = 43$  mm

2º) A partir de los datos de precipitación ( $P$ ), se calcula la precipitación acumulada ( $\Sigma P$ ), como se indica en la tabla adjunta:

horas	P	$\Sigma P$	$\Sigma P_n$	$P_n$
1	11	<b>11</b>		
2	8	<b>19</b>		
3	40	<b>59</b>		
4	34	<b>93</b>		
5	13	<b>106</b>		
6	27	<b>133</b>		
7	3	<b>136</b>		
8	6	<b>142</b>		

<sup>4</sup> En este punto, todos los autores explican que lo que se calcula es la *escorrentía directa*. Es la misma cosa, ya que definimos *P neta* como la que produce escorrentía directa. Pero me parece más adecuado referirme a  $P_{neta}$ , puesto que estoy separando una parte de toda la precipitación caída.

3º) Si  $\Sigma P_t$  es menor que la abstracción inicial (que suponemos que hemos evaluado en 43 mm) la **Precipitación neta** ( $P_n$ ) es 0 (en este ejemplo, es el caso de las dos primeras horas). Si la precipitación total caída hasta el momento ( $\Sigma P_t$ ) supera la abstracción inicial, aplicaremos la fórmula (1) a la precipitación acumulada, para lo que reescribimos dicha fórmula así:

$$\Sigma P_n = \frac{(\Sigma P - P_o)^2}{\Sigma P + 4P_o} \quad (2)$$

En este ejemplo, para la hora 3, la aplicación de la fórmula sería:

$$\Sigma P_n = \frac{(59 - 43)^2}{59 + 4 \cdot 43} = 1,11$$

4º) Calculada la precipitación neta acumulada ( $\Sigma P_n$ ), hay que desacumular esos datos en la última columna, simplemente restando cada valor de la columna  $\Sigma P_n$  del anterior (9,43-1,11=8,43; etc).

La representación gráfica de este ejemplo corresponde a la figura (b) de la primera página.

Si hubiéramos registrado solamente el total de la precipitación (142 mm) aplicando la fórmula (1) se obtiene igualmente el dato final de P neta= 31,2 mm.

horas	P	$\Sigma P$	$\Sigma P_n$	$P_n$
1	11	11	<b>0,00</b>	
2	8	19	<b>0,00</b>	
3	40	59	<b>1,1</b>	
4	34	93	<b>9,4</b>	
5	13	106	<b>14,3</b>	
6	27	133	<b>26,6</b>	
7	3	136	<b>28,1</b>	
8	6	142	<b>31,2</b>	

horas	P	$\Sigma P$	$\Sigma P_n$	$P_n$
1	11	11	0,00	<b>0,00</b>
2	8	19	0,00	<b>0,00</b>
3	40	59	1,1	<b>1,1</b>
4	34	93	9,4	<b>8,3</b>
5	13	106	14,3	<b>4,9</b>
6	27	133	26,6	<b>12,3</b>
7	3	136	28,1	<b>1,5</b>
8	6	142	31,2	<b>3,1</b>

### **Fundamento del método, obtención de la fórmula**

Originalmente, este método se denomina “el método del número de curva” (“The Runoff Curve Number method”). El *umbral de escorrentía* ( $P_o$ ) se nombra como *abstracción inicial* ( $I_a$ ), y lo que aquí hemos llamado  $\Sigma P_n$  (“precipitación neta acumulada”), aparece como *Escorrentía directa* (“Runoff”). Estos conceptos son equivalentes, ya que el volumen acumulado de *P neta* será igual al volumen de escorrentía directa producida.

El procedimiento se basa en las dos hipótesis siguientes:

1ª) La Precipitación comienza a producir escorrentía directa (o comienza a producirse precipitación neta,  $P_n$ ) cuando la precipitación total caída hasta ese momento ( $\Sigma P$ ) supera un *umbral inicial*, o *abstracción inicial* ( $I_a$ ). Se considera que ese umbral inicial es el 20% de la *máxima abstracción* posible ( $S$ ).

2ª) Puede establecerse la siguiente proporción:

$$\frac{\text{Abstracción producida}}{\text{Abstracción Máxima}} = \frac{P \text{ neta producida}}{P \text{ neta máxima}} \quad (3)$$

El significado de esta segunda hipótesis es que si en un momento del transcurso de la precipitación la capacidad de abstracción del suelo está al 30% de su capacidad máxima, hasta ese mismo momento habrá generado escorrentía directa el 30% de la precipitación caída (descontando la abstracción inicial  $I_a$ ).

La precipitación caída (menos la abstracción inicial) o ha escurrido superficialmente o ha sido abstraída:	$(\Sigma P - I_a) = \Sigma P_n + \text{Abstracción producida}$
Despejando:	$\text{Abstracción producida} = (\Sigma P - I_a) - \Sigma P_n$
	$\text{Abstracción Máxima} = S$
El máximo valor posible de $P$ neta (que podría generar escorrentía) sería toda la caída menos la abstracción inicial	$P \text{ neta máxima} = \Sigma P - I_a$

$(P = \text{precipitación total}; P_n = \text{precipitación neta}; I_a = \text{abstracción inicial})$

Sustituimos las expresiones anteriores en la ecuación (3) y resulta:

$$\frac{(\Sigma P - I_a) - \Sigma P_n}{S} = \frac{\Sigma P_n}{\Sigma P - I_a} \quad (4)$$

Operando para despejar  $\Sigma P_n$ , resulta :

$$\Sigma P_n = \frac{(\Sigma P - I_a)^2}{S + (\Sigma P - I_a)} \quad (5)$$

Se observó empíricamente que la abstracción inicial era aproximadamente el 20% de la abstracción máxima, o sea:  $I_a = 0,2 \cdot S$ . Si en (5) sustituimos  $S$  por  $I_a/0,2$ , resulta:

$$\Sigma P_n = \frac{(\Sigma P - I_a)^2}{(\Sigma P + 4I_a)} \quad (6)$$

que es exactamente la fórmula (1) o la (2), con la única diferencia de que la *abstracción inicial* ( $I_a$ ) allí aparecía como  $P_o$ .

### Obtención del gráfico que da nombre al método. Parámetro CN

Como el método es universalmente conocido como *Curve Number Method*, es evidente que tienen que existir unas *curvas numeradas*. Se presentan en el gráfico siguiente, y se obtienen como se indica a continuación.

Hemos indicado que el método supone que la *abstracción inicial* ( $I_a$ ) es aproximadamente el 20% de la *abstracción total* ( $S$ ). Si en (6) sustituimos  $I_a$  por  $0,2 \cdot S$  resulta:

$$\Sigma P_n = \frac{(\Sigma P - 0,2 \cdot S)^2}{\Sigma P + 0,8 \cdot S} \quad (7)$$

Para expresar gráficamente el cálculo, se consideró conveniente el siguiente cambio de variable:

$$CN = \frac{1000}{10 + S} \quad (8)$$

Finalmente, despejamos  $S$  en (8) e introducimos ese valor en (7) obtenemos:

$$\Sigma P_n = \frac{(\Sigma P + 2 - 200 / CN)^2}{\Sigma P - 8 + 800 / CN} \quad (9)$$

Representando gráficamente la expresión (9) para diversos valores de CN se obtienen las curvas que dan nombre al método:

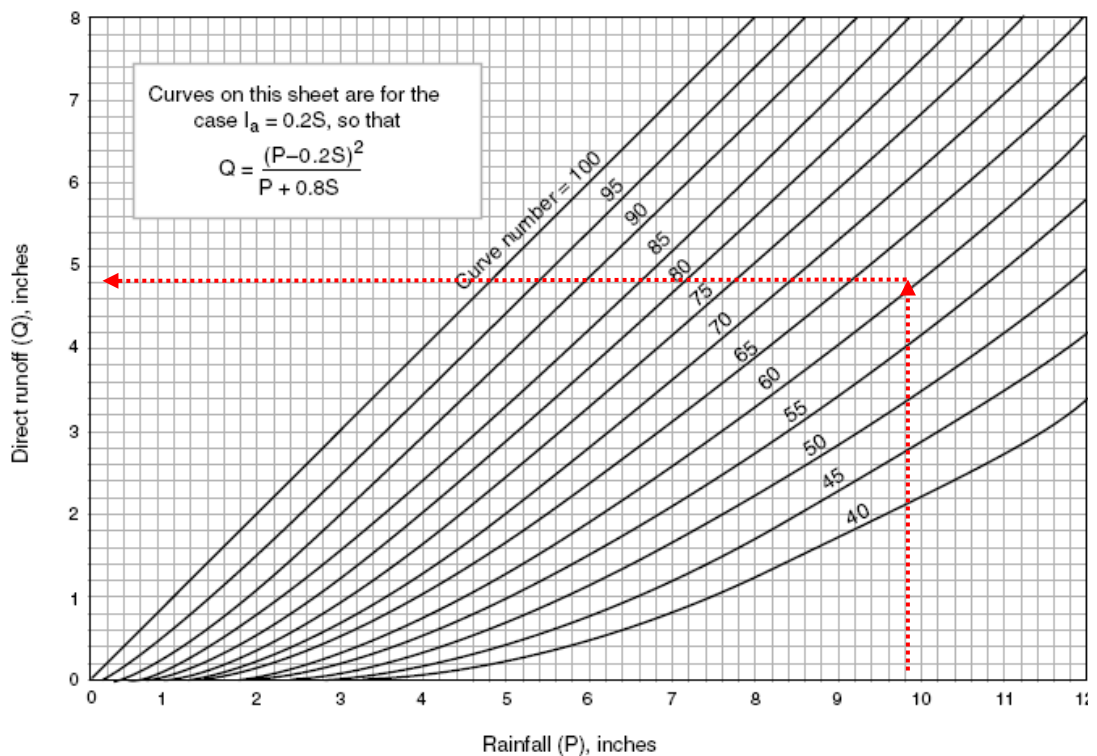
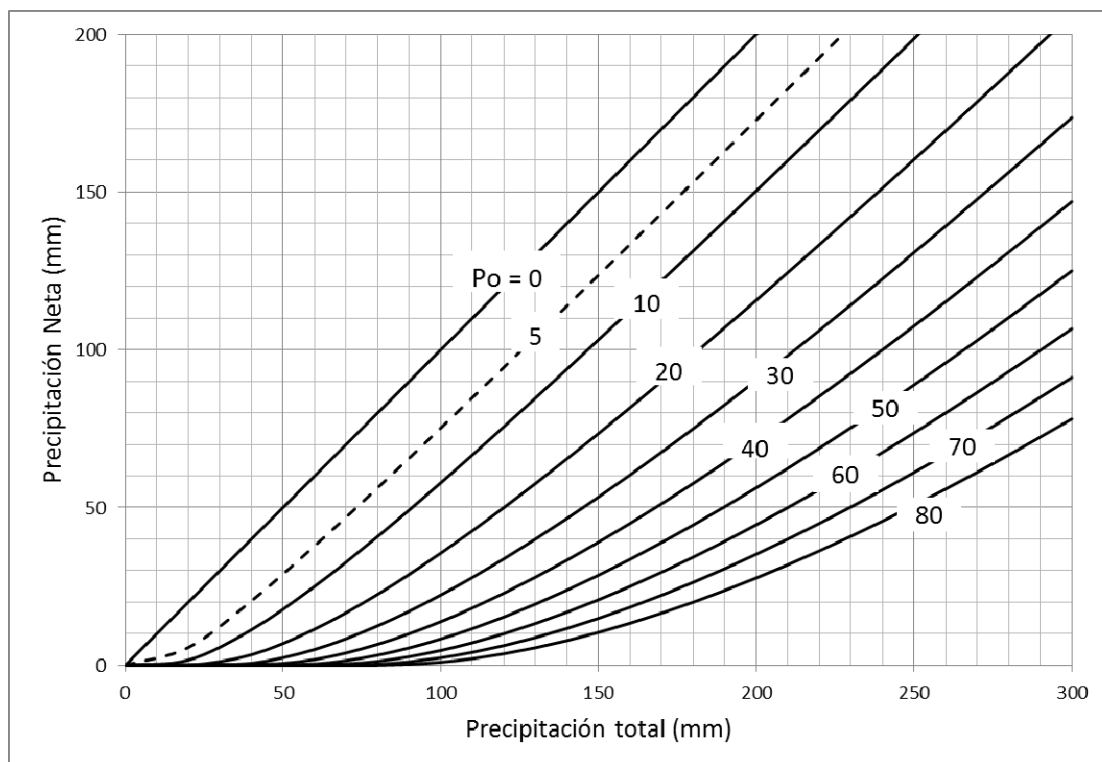


Gráfico original con las curvas numeradas (CN), tomado de NRSC (1986).  
 Se indica un ejemplo: 10 pulgadas de precipitación, sobre una cuenca a la que correspondiera la curva número 60, generaría una escorrentía equivalente a 4,8 pulgadas

Obsérvese en el gráfico que para un terreno al que correspondiera la curva número 100 toda la precipitación genera escorrentía (100%), pero los otros números de curva (95, 90, etc) **no equivalen a porcentajes**.

Si estamos trabajando con datos de *umbral de escorrentía* ( $P_o$ ), el gráfico equivalente sería éste (obtenido representando gráficamente la fórmula (6) para diversos valores de  $P_o$ ):



Para realizar el cálculo numéricamente partiendo de valores de CN: Calcular S mediante la fórmula (8) y aplicar la fórmula (7).

## Evaluación de $P_o$

Hemos visto que el método es muy simple y que la única dificultad del procedimiento es la obtención del umbral de escorrentía  $P_o$  o su valor equivalente de  $CN$ . Estos valores se consultan en tablas que con diversas variaciones aparecen en todos los manuales de hidrología (y en Wikipedia). Mientras que las tablas españolas facilitan  $P_o$ , las tablas americanas proporcionan los valores de  $CN$ .

Para homogeneizar datos provenientes de tablas de  $P_o$  y de  $CN$ , la relación entre ambos ( $P_o$  en mm y  $CN$ ) es inmediata<sup>5</sup>:

$$CN = \frac{25400}{254 + P_o / 0,2} \quad (10)$$

$$P_o = \frac{5080}{CN} - 50,8 \quad (11)$$

En España existe una normativa oficial que incluye tablas de  $P_o$ . En la **Tabla 1** reproducimos por su simplicidad la que aparece en la *Instrucción 5.2-IC* ya obsoleta<sup>6</sup> (MOPU, 1990). (Para la descripción de los términos utilizados en la tabla 1, ver Anexo II).

La tabla con valores de  $P_o$  de la vigente *Norma 5.2-IC* (Mº Fomento, 2016) son muy extensas y pueden consultarse en el BOE<sup>7</sup>. En el anexo II incluimos dicha tabla resumida. La tabla original refleja la clasificación del proyecto Corine Land Cover.

Las tablas equivalentes de valores de  $CN$  pueden encontrarse en NRCS (2004)<sup>8</sup>.

Todas estas tablas proporcionan valores de  $CN$  o de  $P_o$  en función del tipo y utilización de la superficie (área pavimentada, cultivos, bosques,...), de la pendiente, y

**Tabla 1**

**ESTIMACION INICIAL DEL UMBRAL DE ESCORRENTIA  $P_o$  (mm) PARA HUMEDAD PREVIA INTERMEDIA**

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	$\geq 3$	R	15	8	6	4
	$< 3$	N	17	11	8	6
Cultivos en hilera	$\geq 3$	R	23	13	8	6
	$< 3$	R/N	25	16	11	8
Cereales de invierno	$\geq 3$	R	29	17	10	8
	$< 3$	N	32	19	12	10
Rotación de cultivos pobres	$\geq 3$	R	26	15	9	6
	$< 3$	N	28	17	11	8
Rotación de cultivos densos	$\geq 3$	R	37	20	12	9
	$< 3$	R/N	42	23	14	11
Praderas	$\geq 3$	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
	$< 3$	Buena	*	33	18	13
		Muy buena	*	41	22	15
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	$\geq 3$	Pobre	58	25	12	7
		Media	*	35	17	10
	$< 3$	Buena	*	*	22	14
		Muy buena	*	*	25	16
Masas forestales (bosques, Monte bajo, etc.)	$\geq 3$	Pobre	62	26	15	10
		Media	*	34	19	14
	$< 3$	Buena	*	42	22	15
		Muy buena	*	50	25	16
Masas forestales (bosques, Monte bajo, etc.)	$\geq 3$	Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
	$< 3$	Media	*	34	22	16
		Espesa	*	47	31	23
Muy espesa	*	65	43	33		

Notas: 1 N denota cultivo según las curvas de nivel  
R: denota cultivo según la línea de máxima pendiente  
2 \* denota que esa parte de cuenca debe considerarse inexistente a efectos de cálculo de caudales de avenida  
3 Las zonas abancaladas se incluirán entre las de pendiente menor del 3 por 100

Tipo de terreno	Pendiente (%)	Umbral de escorrentía (mm)
Rocas permeables	$\geq 3$	3
	$< 3$	5
Rocas impermeables	$\geq 3$	2
	$< 3$	4
Firmes granulares sin pavimento		2
Adoquinados		1,5
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1

<sup>5</sup> La fórmula (10) se obtiene así: Si la máxima abstracción ( $S$ ) no está expresada en **pulgadas** sino en **mm**, en la expresión (8) sustituimos  $S$  por  $S/25,4$  y operando se obtiene:

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25,4}} \quad \rightarrow \quad CN = \frac{25400}{254 + S} \quad \rightarrow \quad CN = \frac{25400}{254 + P_o / 0,2}$$

<sup>6</sup> La nueva norma **no** se ha llamado 5.3-IC, como debería, sino que repite el nombre de la anterior: 5.2-IC, por lo que habrá que referirse a ellas como 5.2-IC (1990) y 5.2-IC (2016).

<sup>7</sup> <http://www.boe.es/boe/dias/2016/03/10/pdfs/BOE-A-2016-2405.pdf>

<sup>8</sup> <http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch9.pdf>



del tipo de suelo (dividido en cuatro categorías: A, B, C, D, de más arenoso a más arcilloso). La descripción original se encuentra en NRCS (2007), y la normativa española define los tipos de suelo mediante un triángulo arena-limo-arcilla (M° Fomento, 2016, p. 18912).

Si el área considerada comprende varios usos del terreno, hay que calcular la media ponderada, por ejemplo (valores tomados de la tabla 1):

75%: Bosque espeso, suelo tipo B:  $P_o = 47$

25%: Barbecho, pendiente < 3%, suelo tipo C :  $P_o = 11$

En este ejemplo, se tomaría la media ponderada así:

$$P_o = 47 \cdot 0,75 + 11 \cdot 0,25 = 38$$

### Corrección según el grado de humedad previa del suelo

Las tablas que proporcionan el valor de  $P_o$  suponen un grado de humedad del suelo medio (previo a la precipitación). Si los días anteriores a la precipitación estudiada se produjeron precipitaciones abundantes, las abstracciones (retenciones superficiales, infiltración,...) serán menores, por lo que el valor real de  $P_o$  será menor al proporcionado por la tabla.

Análogamente, y en sentido contrario, si los días anteriores no ha llovido nada, el suelo estará seco, y todas las abstracciones serán mayores: hay que corregir el valor de  $P_o$ , aumentándolo.

El criterio para considerar *seco*, *intermedio* o *húmedo* se indica en la **Tabla 2** (Singh, 1992, p. 477). Estos tres grados de humedad previa se denominan respectivamente I, II y III.

Plantas en periodo latente	Plantas en periodo de crecimiento	Humedad previa
Menos de 13 mm	menos de 35 mm	Seco (I)
De 13 a 32 mm	De 35 a 52 mm	Normal (II)
Más de 32 mm	Más de 52 mm	Húmedo (III)

La conversión del  $P_o$  (obtenido en tablas para humedad previa intermedia) a las condiciones de humedad previa *seco* o *húmedo* se realiza mediante tablas numéricas (Ferrer, 1993, p. 30) (**Tabla 3**).

Por ejemplo si la tabla de valores de  $P_o$  nos ha proporcionado un valor de 17, por definición corresponde a unas condiciones de humedad previas intermedias . Si los 5 días anteriores llovió poco o nada (según la Tabla 2), convertimos el valor de  $P_o$  mediante la Tabla 3: a 17 corresponden 38.

$P_o$ para humedad previa normal (II)	$P_o$ para humedad previa seca (I)	$P_o$ para humedad previa húmeda (III)
3	7	0,5
6	14	1
9	21	2
13	29	3
17	38	5
21	48	7
27	61	10
33	75	13
41	93	17
50	112	21
61	135	27
75	167	33
93	213	41
117	283	50

Para realizar esta conversión mediante cálculo sin necesidad de interpolar en la tabla 3, Chow et al. (1992, p. 152) proponen las siguientes relaciones para valores de CN:

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)} \quad (12) \quad ; \quad CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)} \quad (13)$$

Donde :  $CN(II) = P_o$  para condiciones de humedad previa II (**normal**) (obtenido de tablas)  
 $CN(I) = P_o$  para condiciones de humedad previa I (**seco**)  
 $CN(III) = P_o$  para condiciones de humedad previa III (**húmedo**)

Si en las expresiones (12) y (13) sustituimos los valores  $CN$  por sus correspondientes de  $P_o$  utilizando la equivalencia (10), adquieren un aspecto mucho más sencillo:

$$P_o(I) = P_o(II) \cdot 2,38 \quad ; \quad P_o(III) = P_o(II) \cdot 0,43 \quad (14) ; (15)$$

Donde :  $P_o(II) = P_o$  para condiciones de humedad previa II (**normal**)  
 $P_o(I) = P_o$  para condiciones de humedad previa I (**seco**)  
 $P_o(III) = P_o$  para condiciones de humedad previa III (**húmedo**)

Hawkins et al. (1985, citado en Ponce, V. y R.H. Hawkins, 1996) proponen estas relaciones similares a las (14) y (15):

$$P_o(I) = P_o(II) \cdot 2,281 \quad ; \quad P_o(III) = P_o(II) \cdot 0,427$$

Correlacionando las tres columnas de la tabla 3, hemos obtenido unas relaciones similares a las de Chow y Hawkins:

Días previos secos:	$P_o(I) = P_o(II) \cdot 2,31$
Días previos húmedos para $P_o(II) > 35$ :	$P_o(III) = P_o(II) \cdot 0,43$
Días previos húmedos para $P_o(II) < 35$ :	$P_o(III) = P_o(II)^2 \cdot 0,0072 + P_o(II) \cdot 0,167$

Estas correcciones por la humedad previa del suelo se utilizan cuando se aplica el procedimiento a precipitaciones reales. Con mayor frecuencia se trabaja con precipitaciones calculadas estadísticamente, de modo que no existe “la humedad previa del suelo”. En el caso concreto de la norma española 5.2-IC se ofrece una corrección basada en la región de que se trate y el periodo de retorno considerado (Ministerio de Fomento, op.cit.)<sup>9</sup>.

### **Aplicación del método en modelos informáticas**

En el programa HMS (HEC, 2015) es necesario introducir el valor de  $CN$ . Si admitimos que  $P_o$  es igual a  $0,2 \cdot S$  (abstracción máxima), el programa calculará  $P_o$ . Si introducimos ambos valores ( $CN$  y  $P_o$ , que allí se denomina “abstracción inicial”), el programa nos indicará tras la ejecución la relación entre  $P_o$  y  $S$ .

En el programa TR-55 se introduce el tipo de uso del terreno y el tipo de suelo y se aplicarán automáticamente los valores de  $CN$ , que pueden ser modificados por el usuario.

### **Revisiones y complicaciones del método**

Existe una amplia bibliografía sobre este método. Se ha trabajado especialmente en la asunción básica de que la abstracción inicial sea el 20% de la abstracción máxima; a este cociente se denomina  $\lambda$ :  $\lambda = I_a / S$

Comparando precipitaciones y la escorrentía directa generada, las observaciones se ajustan mejor a valores de  $\lambda$  entre 0,05 y 0,10 en lugar del valor 0,20 supuesto inicialmente por el método (por ejemplo, Hawkins, R.; Khojeini, A., 2000; Jiang, R., 2001).

Si se considera esta variable, el procedimiento se complica y necesita dos parámetros para su aplicación en lugar de uno ( $CN$  y  $\lambda$  o  $P_o$  y  $\lambda$ ).

Si asumiéramos que  $\lambda$  es igual a 0,10 (en lugar del estándar 0,20), las fórmulas que utilizamos para el cálculo [la (6) si disponemos de valores de  $P_o$  y la (7) si partimos de valores de  $CN$ ] adquieren esta forma:

$$\Sigma P_n = \frac{(\Sigma P - I_a)^2}{\Sigma P + 9 \cdot I_a} \quad ; \quad \Sigma P_n = \frac{(\Sigma P - 0,10 \cdot S)^2}{\Sigma P + 0,9 \cdot S} \quad (6b) ; (7b)$$

<sup>9</sup> Ver el tema “Hidrología superficial (III): Relación precipitación-escorrentía”, pág. 21.



## **Bibliografía**

- CHOW, V.; D.R. MAIDMENT y L.W. MAYS (1994).- *Hidrología Aplicada*. Mc Graw Hill, 580 pp.
- FERRER, F.J. (1993).- Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas. CEDEX, Centro de Estudios Hidrográficos, 75 pp.
- HAWKINS, R.H. y A.V. KHOJEINI (2000).- Initial Abstraction and Loss in the Curve Number Method. *Arizona Hydrological Society Proceedings*.
- HEC (2015).- *Hydrologic Modeling System HEC-HMS. User's Manual, v.4.1*. Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, 584 pp.  
<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- JIANG, R. (2001).- *Investigation of Runoff Curve Number Initial Abstraction Ratio*. Tesis Doctoral, Univ. Arizona.
- MINISTERIO DE FOMENTO (2016).- *Norma 5.2 -IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras*. (BOE de 10 de marzo de 2016).
- MOCKUS, V. (1964).- *Estimation of direct runoff from storm rainfall*. SCS, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, , 30 pp.
- MOPU (1990).- *Instrucción de carreteras 5.2-IC Drenaje superficial* (BOE de 23 de mayo de 1990).
- NRCS (2004).- *Hydrologic Soil-Cover Complexes* . Disponible en:  
<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch9.pdf>
- NRCS (2004).- *National Engineering Handbook. Part 630: Hydrology, chapter 10*. National Resources Conservation Service. Se encuentra en :  
<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch10.pdf>
- NRCS (2007).- *National Engineering Handbook. Part 630: Hydrology, chapter 7: Hydrologic Soil Groups*. Disponible en:  
<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch7.pdf>
- NRCS (2009).- *Small Watershed Hydrology. WinTR-55 User Guide*. Disponible en:  
<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/WinTR55/WinTR55UserGuide.pdf>
- PILGRIM, D. H. y I. CORDERY (1993).- Flood Runoff. In: *Handbook of Hydrology*. D. R. Maidment (Ed.), pp. 9.1- 9.42. McGrawHill.
- PONCE, V. M. y HAWKINS, R.H. (1996).- Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity? *J. Hydrol. Eng.*, January 1996: pp. 11-19
- SINGH, V.P (1992).- *Elementary Hydrology*. Prentice Hall, 973 pp.
- WANIELISTA, M. P. (1997).- *Hydrology and Water Quality Control*. Wiley, 567 pp. 2ª edición.

## ANEXO I - Valor inicial del umbral de escorrentía $P_0$ (mm)

Simplificado de Ministerio de Fomento (2016), agrupando varios usos del suelo con valores idénticos y eliminando algunos muy poco usuales.

Uso de suelo	[1]	Pen- diente (%)	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Tejido urbano continuo			1	1	1	1
Tejido urbano discontinuo, urbanizaciones, aeropuertos			24	14	8	6
Zonas industriales y comerciales			6	4	3	3
Granjas agrícolas			24	14	8	6
Zonas industriales			12	7	5	4
Grandes superficies de equipamiento y servicios			6	4	3	3
Autopistas, Redes viarias, ferroviarias			1	1	1	1
Complejos ferroviarios			12	7	5	4
Zonas de extracción minera			16	9	6	5
Escombreras y vertederos			20	11	8	6
Zonas de construcción			24	14	8	6
Zonas verdes urbanas			53	23	14	10
Instalaciones deportivas y recreativas, campos de golf			79	32	18	13
Resto de instalaciones deportivas y recreativas			53	23	14	10
Tierras de labor en seco (cereales)	R	$\geq 3$	29	17	10	8
	N		32	19	12	10
	R/N	$< 3$	34	21	14	12
Tierras de labor en seco (hortalizas)	R	$\geq 3$	23	13	8	6
	N		25	16	11	8
	R/N	$< 3$	29	19	14	11
Tierras abandonadas		$\geq 3$	16	10	7	5
		$< 3$	20	14	11	8
Terrenos regados permanentemente , cultivos herbáceos en regadío	R	$\geq 3$	37	20	12	9
	N		42	23	14	11
	R/N	$< 3$	47	25	16	13
Arrozales			47	25	16	13
Viñedos		$\geq 3$	62	28	15	10
		$< 3$	75	34	19	14
Frutales en seco		$\geq 3$	62	28	15	10
		$< 3$	75	34	19	14
Frutales en regadío		$\geq 3$	80	34	19	14
		$< 3$	95	42	22	15
Olivares		$\geq 3$	62	28	15	10
		$< 3$	75	34	19	14
Prados y praderas, prados arbolados		$\geq 3$	70	33	18	13
		$< 3$	120	55	22	14
Pastos en tierras abandonadas		$\geq 3$	24	14	8	6
		$< 3$	58	25	12	7
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en seco		$\geq 3$	39	20	12	8
		$< 3$	66	29	15	10
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en regadío		$\geq 3$	75	33	18	14
		$< 3$	106	48	22	15
Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en seco	R	$\geq 3$	26	15	9	6
	N		28	17	11	8
	R/N	$< 3$	30	19	13	10
Mosaico de cultivos permanentes en seco		$\geq 3$	62	28	15	10
		$< 3$	75	34	19	14

[1] R: Denota cultivo según la línea de máxima pendiente  
N: Denota cultivo según las curvas de nivel

Uso de suelo	[1]	Pen- diente (%)	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en secano		≥ 3	39	20	12	8
		< 3	66	29	15	10
Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío	R	≥ 3	37	20	12	9
	N		42	23	14	11
	R/N	< 3	47	25	16	13
Mosaico de cultivos permanentes en regadío		≥ 3	80	34	19	14
		< 3	95	42	22	15
Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en regadío		≥ 3	75	33	18	14
		< 3	106	48	22	15
Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío	R	≥ 3	31	17	10	8
	N		34	20	13	10
	R/N	< 3	37	22	14	11
Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y seminatural		≥ 3	70	33	18	13
		< 3	120	55	22	14
Sistemas agroforestales		≥ 3	53	23	14	9
		< 3	80	35	17	10
Pastizales naturales. Pastizales, praderas o cultivos agrícolas con arbolado adhesionado		≥ 3	53	23	14	9
		< 3	80	35	17	10
Fronzosas, Perennifolias, Caducifolias y marcescentes			90	47	31	23
Otras frondosas de plantación		≥ 3	79	34	19	14
		< 3	94	42	22	15
Bosques de ribera			76	34	22	16
Bosques de coníferas, bosque mixto. Laurisilva			90	47	31	23
Prados alpinos, Pastizales supraforestales		≥ 3	70	33	18	13
		< 3	120	55	22	14
Formaciones herbáceas de llanuras aluviales inundadas y llanuras costeras, tierras bajas		≥ 3	70	33	18	13
		< 3	120	55	22	14
Pastizales mediterráneos		≥ 3	24	14	8	6
		< 3	57	25	12	7
Otros pastizales templado oceánicos		≥ 3	53	23	14	9
		< 3	79	35	17	10
Landas y matorrales mesófilas, Landas y matorrales en climas húmedos. Vegetación mesófila			76	34	22	16
Fayal-breza macaronésico, vegetación esclerófila			60	24	14	10
Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos			60	24	14	10
Matorrales xerófilos macaronésicos, Claras de bosques			40	17	8	5
Zonas empantanadas fijas o en transición			60	24	14	10
Matorral boscoso			75	34	22	16
Playas y dunas			152	152	152	152
Ramblas con poca o sin vegetación			15	8	6	4
Afloramientos rocosos y canchales		≥ 3	2	2	2	2
		< 3	4	4	4	4
Espacios con vegetación escasa, Xeroestepa subdesértica		≥ 3	24	14	8	6
		< 3	58	25	12	7
Cárcavas y zonas en proceso de erosión, zonas quemadas			15	8	6	4
Humedales y zonas pantanosas			2	2	2	2
Marismas			2	2	2	2

[1] R: Denota cultivo según la línea de máxima pendiente  
N: Denota cultivo según las curvas de nivel

## **ANEXO II : Uso del terreno (\*). Según la antigua Instrucción 5.2-I.C. (1990)**

### **Barbecho**

Tierra de cultivo que no se siembra. El porcentaje de explotación agrícola que se suele encontrar en este estado depende de la periodicidad de las siembras. Se denomina de "año y vez" o "al tercio", según se cultive uno de cada dos o tres años, respectivamente. Las tierras que están en barbecho reciben generalmente algunas labores que contribuyen a reducir el grado de escorrentía, pero éste es siempre importante, debido a la escasa entidad de la vegetación.

### **Cultivos en hilera**

Tierras sembradas de cultivos plantados formando hileras, lo que permite realizar entre ellas determinadas labores agrícolas -destinadas a mullir el terreno, quitar las malas hierbas, etc-, mientras que las plantas se desarrollan. De este modo se cultiva la patata, el algodón, la remolacha, el maíz, el tomate, etc.

En general, las plantaciones de frutales, el olivar, los almendros y la viña, pueden incluirse en este grupo. El efecto hidrológico de la mayor distancia entre plantas existentes en estos casos se ve compensado por el vuelo del ramaje, que protege al suelo del impacto de la lluvia, y por la presencia de su potente sistema radicular.

### **Cereales de invierno**

Se incluyen en esta categoría las tierras dedicadas a cereales cuyo ciclo vegetativo puede desarrollarse durante el invierno, tales como el trigo, la cebada, la avena y el centeno.

### **Rotación de cultivos**

Es la secuencia cíclica de cultivos en una determinada parcela de una explotación agrícola. La duración del ciclo, variable con el tipo de los cultivos, frecuentemente está comprendida entre dos y siete años.

Desde el punto de vista hidrológico, conviene establecer la siguiente división:

1. **Rotación pobre** o con escasa densidad de cobertura vegetal. Se refiere a las diversas combinaciones de cultivos en hilera, cereales de invierno y barbecho.
2. **Rotación densa.** Se denomina a la que, junto con cultivos en hilera o cereales de invierno, incluye una proporción importante de alfalfa, trébol, praderas polifitas u otras siembras de alta densidad de cobertura.

### **Praderas, prados y pastizales**

Se agrupan en esta categoría el conjunto de cultivos cuyo aprovechamiento constituye la base de la alimentación del ganado.

A su vez se clasifican en:

- Pobres. Bajo un intenso régimen de pastoreo o con cobertura vegetal en menos del 50% de la superficie, como son los pastizales y los eriales.

- Medias. Bajo un moderado régimen de pastoreo o con cobertura vegetal en un porcentaje de la superficie total comprendido entre el 50 y el 75%.
- Buenas. Bajo un pastoreo ligero o con cobertura vegetal en más del 75% de la superficie total.
- Muy buenas. Se consideran dentro de este grupo las praderas artificiales, las praderas naturales mixtas y los prados naturales, cuando están explotados en régimen de pastoreo. La vegetación es densa, abundante, homogénea y de cierta altura.

### **Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal**

Comprende las plantaciones regulares de árboles tales como los chopos, eucaliptos, etc.

Se han establecido grupos basándose en las características de la cobertura vegetal no arbórea:

- Pobres. Prácticamente no existe otro tipo de vegetación que la propiamente arbórea. El matorral, las herbáceas espontáneas e, incluso, la materia vegetal no descompuesta, son eliminadas, por ejemplo, con el pastoreo.
- Medias. Existe alguna vegetación además de la arbórea, o bien materia vegetal no descompuesta. Sin embargo, una parte importante del suelo carece de protección.
- Buenas. La vegetación (matorral, herbáceas espontáneas, etc), y la materia vegetal no descompuesta cubren el terreno.

### **Masas forestales**

Se denominan así las superficies de terreno en las cuales se desarrolla vegetación leñosa arbórea o arbustiva, tales como el monte bajo, el monte alto o los bosques.

De acuerdo con la densidad de dicha vegetación se dividen en a) muy espesas; b) espesas; c) medias; d) claras, y e) muy claras (árboles o arbustos diseminados).

Dentro de la \*categoría "Masas Forestales" no se han establecido en la tabla diferencias en cuanto a pendiente, por considerar que no es frecuente que exista este tipo de aprovechamiento en terrenos llanos.

### **Labores de cultivo**

(símbolo R). El laboreo del suelo, la siembra y las labores de cultivo se realizan en la dirección de la máxima pendiente o a media ladera.

(símbolo N). El laboreo del suelo, la siembra y las labores de cultivo se realizan siguiendo las curvas de nivel del terreno. Evidentemente, en terrenos llanos no resulta fácil, ni tiene mucho sentido, matizar las líneas de nivel, por lo que no se diferencia entre laboreo en línea recta (R) y laboreo en línea de nivel (N)

(\*) Ferrer, F.J. (1991) .- *Obtención de la lluvia neta según la metodología del Soil Conservation Service.* Apuntes del Curso de Hidrología General y Aplicada. Cedex, Madrid