

- INSTRUCTIVO -

**(R014) MEDICIÓN DE LA INFILTRACIÓN EN EL SUELO  
MEDIANTE INFILTRÓMETROS DOBLE ANILLO**

1- **Objetivo:** Determinar las características de la infiltración en el suelo mediante infiltrómetro doble anillo

2- **Material a utilizar**

- 3 infiltrómetros doble anillo
- Maza de 3 Kg
- Madera fuerte de longitud que supere el anillo exterior
- 1 regla graduada de por lo menos 30 cm
- 2 baldes de 10 l
- Cinta adhesiva
- cronómetro

3- **Explicación del método:**

El método consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos para a continuación medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior. Esta información nos ayudará a decidir cuál es el tipo de riego óptimo de un suelo determinado, qué caudal deben aportar los goteros o qué medidas adoptar para evitar que las plántulas introducidas en una reforestación sufran un exceso de agua.

Aunque es muy posible que al inicio de la experiencia el suelo esté seco o parcialmente húmedo y por lo tanto en condiciones de no saturación, los valores inicialmente muy elevados irán descendiendo con gran rapidez como consecuencia de la presión ejercida por la columna de agua, mayor cuanto más alta sea ésta.

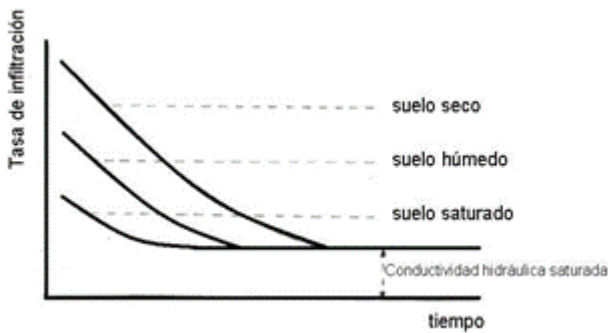
El tiempo que transcurra hasta alcanzarse las condiciones finales de saturación dependerá de la humedad previa, la textura y la estructura del suelo, el espesor del horizonte por el que discurre el agua, y la altura del agua en el anillo interior

Lógicamente el tiempo de saturación será menor cuanto:

- mayor sea la humedad previa del suelo
- ..... sea el tamaño individual de las partículas de suelo (textura)
- ..... sea la cantidad y estabilidad de los agregados del suelo (estructura)
- ..... sea el espesor del horizonte del suelo por el que circula el agua
- ..... sea la altura de la lámina de agua en el anillo interior

La tasa o velocidad de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Normalmente la expresamos en mm/h y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado (Fig. 1).

Los valores de infiltración obtenidas con el método del doble anillo en condiciones de no saturación no son muy fiables y tampoco son indicativas del comportamiento del suelo en condiciones de campo. No es habitual, ni aún siquiera cuando se riega a manto, que sobre la superficie del terreno haya una lámina de agua de varios cm de altura y sólo es así en condiciones excepcionales como las inundaciones o las grandes avenidas de agua.

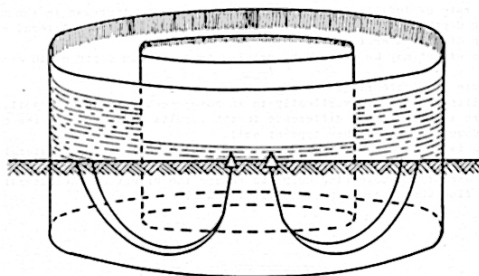


**Fig.1- Tasas de infiltración según estado del suelo**

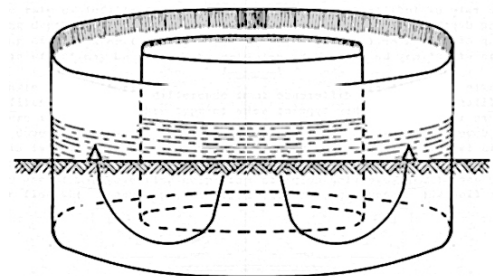
El método original desarrollado por Munz parte de la idea de que colocados los dos anillos y obtenida la situación de saturación (Fig. 2), la diferencia de nivel del agua (H) en los anillos interior y exterior provoca un flujo de agua que será de entrada hacia el anillo interior (figura 3a) si la altura es mayor en el tubo exterior, o de salida si es inferior (figura 3b).



**Fig. 2- Infiltrómetro doble anillo**



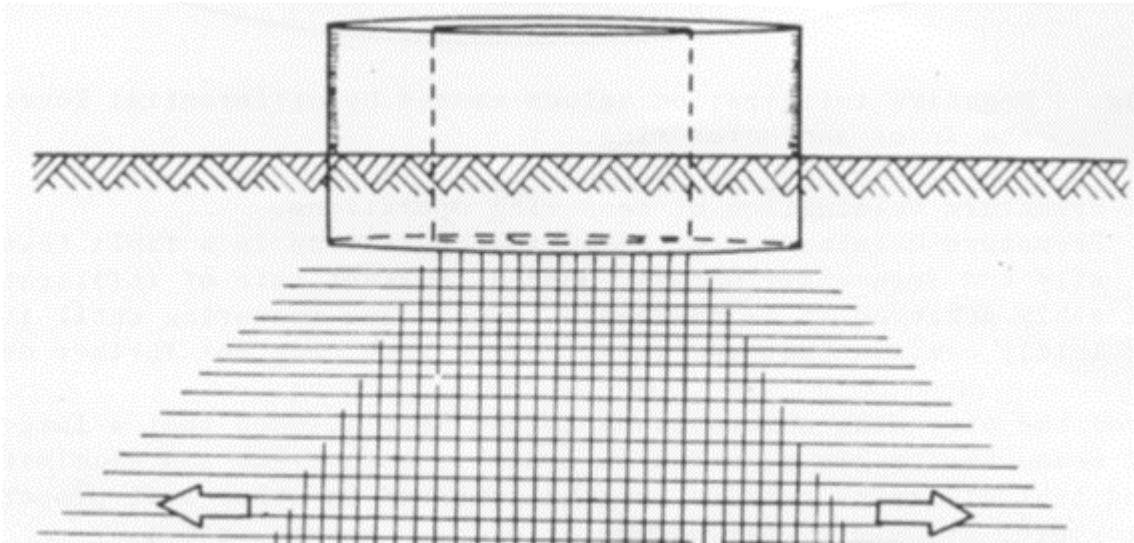
**Fig. 3.a**



**Fig. 3.b**

En cualquier caso, además de la componente del flujo de agua  $QH$  debido a la diferencia de nivel  $H$  entre los dos anillos, el agua abandona ambos cilindros por la superficie del suelo en el que están instalados como consecuencia de su porosidad. Por tanto, el flujo neto que abandona (o penetra en su caso) el anillo interior es en realidad el resultado de dos componentes: la componente

debida a la diferencia de nivel de agua en los anillos, el “leakage”; y la componente debida a la capacidad de absorción del suelo, la infiltración. El problema radica precisamente en poder aislar para cada condición de  $H$  la componente del flujo “leakage” de la componente de infiltración a partir del valor del flujo neto del tubo interior (valor objeto de la medición). Para ello se adopta la hipótesis de que la componente debida a la absorción es constante durante la realización de la experiencia y no resulta afectada por los cambios del nivel del agua en el cilindro interior (Fig. 4)



**Fig. 4- Flujo de agua en el suelo generado por el doble anillo**

La hipótesis efectivamente es válida si las medidas se realizan en un corto espacio de tiempo y si  $H$  se mantiene relativamente pequeño. De otra parte, si  $H=0$  entonces el flujo en el tubo interior se debe únicamente a la absorción del suelo, siendo éste precisamente el propósito de la técnica propuesta en esta sección.

El anillo exterior también tiene como función el evitar la infiltración horizontal del agua por debajo del cilindro interior, de tal forma que las medidas se correspondan con seguridad al flujo vertical.

En el modelo de mayor aceptación el equipo consta de tres juegos de 2 anillos cada uno de ellos. Los diámetros de los anillos pequeños son 28, 30 y 32 cm. y los diámetros correspondientes a los anillos externos son 53, 55 y 57 cm.

Con este material se pueden realizar simultáneamente hasta tres experiencias en localizaciones próximas de características edáficas similares; de esta forma se conseguirá eliminar en mayor medida la influencia de la variabilidad espacial de los suelos que si únicamente se realiza una prueba. Se debe buscar emplazamientos distantes menos de 10 metros y, a ser posible, cerca de una calicata descrita y así disponer de información detallada acerca del suelo. Para la interpretación de los resultados es conveniente hacer un muestreo de la humedad a diferentes profundidades antes y después del ensayo. Como otros accesorios se dispone de tres juegos de flotadores graduados o una regla para medir la fluctuación del nivel del agua, una maza y un pedazo de madera que sirva para amortiguar los golpes cuando se hinca cada anillo.

#### **4- Procedimiento:**

Deberán tomarse en consideración los siguientes aspectos:

- Elección de la ubicación de los anillos
- Colocación, llenado de agua y toma de medidas
- Cálculo de la conductividad hidráulica (K) con los datos obtenidos

#### **4.1 -*Elección de la ubicación de los anillos***

La bondad de los datos y la fiabilidad de los resultados obtenidos dependen en gran medida de la idoneidad del lugar elegido para su realización y de la conveniencia de la metodología usada. Los aspectos más relevantes a considerar en relación a la ubicación de los anillos son los siguientes:

- 1.- Se debe encontrar una localización representativa del suelo a estudiar.
- 2.- Evita ubicar los anillos en zonas compactadas. Los terrenos compactados por vehículos o personas presentan una tasa de infiltración menor que las zonas adyacentes (sobre todo en los suelos de textura fina).
- 3.- En los suelos ricos en arcillas expansibles no instale los anillos sobre las grietas de expansión-contracción. Cuando la textura del terreno es fina el tamaño de los poros es muy pequeño y la absorción del agua se ve más afectada por la estructura del suelo que en el caso de los suelos arenosos.
- 4.- La tasa de infiltración es particular para cada horizonte del suelo, asumiéndose homogénea en todo el espesor del mismo. En suelos con varios horizontes de características diferentes, el paso del frente húmedo de un horizonte a otro quedará reflejado en la tasa de infiltración medida con el infiltrómetro.

**Recuerde** que es muy importante que no finalice la experiencia si antes no has alcanzado una tasa de infiltración constante. Se está midiendo la conductividad hidráulica en condiciones de saturación y se debe confirmar que todo el horizonte por el que circula el agua lo esté.

- 5.- La velocidad de infiltración puede sufrir variaciones estacionales debido a temperatura del medio ambiente, del agua y de la calidad del agua

#### **4.2- *Colocación, llenado de agua y toma de medidas***

Es muy importante que realice las tres operaciones indicadas anteriormente sin alterar el suelo. No debe cambiar su porosidad natural. Puesto que los factores determinantes de la capacidad de absorción de los suelos son múltiples y fáciles de modificar es conveniente actuar siguiendo una serie de normas básicas:

- 1- Colocar los anillos sobre la ubicación elegida comprobando que no queden ni piedras ni raíces bajo el filo de ninguno de los ellos; pueden deformar los aros con facilidad.
- 2.- Asegurarse de que el cilindro interior esté totalmente centrado en el exterior.

- 3.- Clavar los cilindros en el suelo a igual profundidad en todo su perímetro, y hacerlo además al mismo tiempo. Los anillos ladeados o que no han sido introducidos de forma homogénea presentan mayor riesgo de sufrir fugas de agua. Tanto el anillo exterior como el interior deben llegar hasta 10 cm de profundidad (así se evita en mayor medida el drenaje lateral)
- 4.- Clavados los anillos comenzaremos a llenar cuidadosamente de agua ambos anillos, empezando siempre por el exterior. Resulta muy conveniente “tapizar” el suelo de, al menos, el anillo central con arena gruesa, grava o algún tipo de plástico. De esta forma se evitará que el impacto directo del agua sobre el suelo desnudo provoque la desagregación de las partículas y el sellado de los poros.
- 5.- Comprobar que no existan fugas de agua provocadas por la presencia de piedras o raicillas. Si se ha cumplido escrupulosamente el punto 1 esto no te debería pasar pero si hubiera alguna, tápelo con el mismo barro de alrededor. Si quiere mantener constante el nivel del agua durante toda la experiencia se debería utilizar algún tipo de dispositivo dispensador del agua.
- 6.- Se debe intentar mantener el mismo nivel del agua en el interior de ambos anillos. Como norma general el llenado inicial no debe sobrepasar los 10 cm, y tampoco debe dejar que el nivel descienda a menos de 5 cm. Recuerde que si el nivel en el anillo exterior es mayor que en cilindro central el agua tenderá a penetrar desde el suelo produciéndose errores de lectura (Figura 3a).
- 7.- Es aconsejable realizar las medidas a intervalos regulares, ya sea de tiempo o de descenso de la lámina de agua en el interior del cilindro; de este modo es más fácil identificar cuándo la tasa de absorción permanece constante.
- 8.- Una vez alcanzada la tasa de infiltración constante es aconsejable continuar las medidas hasta tener la absoluta certeza de que el agua está circulando por un mismo horizonte.
- 9.- Debido a la elevada variabilidad de los suelos y a los posibles errores asociados al método será necesario realizar más de una medida; en cualquier caso, para estar seguros de que todos resultados de las pruebas son correctos se deberán contrastarse con otras propiedades del suelo determinantes del movimiento del agua en el suelo como la textura, la estructura, el contenido en materia orgánica, etc.

#### ***4.3- Cálculo de la conductividad hidráulica (K) con los datos obtenidos***

Para calcular la conductividad hidráulica del suelo en condiciones de saturación a partir de las medidas obtenidas durante la experiencia se elaborará una tabla de resultados. Se deberá incluir tantas series como nº de veces haya tenido que rellenar el anillo interior hasta comprobar que la tasa de infiltración se ha estabilizado. La Tabla 1 muestra un ejemplo de ensayo a campo.

Anillo n°= 1

Fecha=

Hora inicio=

Características del suelo=

Lectura n°	Tiempo Parcial	Tiempo Acumulado	Lectura	Enrase	Láminas parciales	Láminas acumuladas
hora	minutos	minutos	cm	cm	mm	mm
16:00	0	0	--	15,0	0	0
16:05	5	5	13,5		15	15
16:10	5	10	12,8		7	22
16:15	5	15	12,2	15,0	6	28
16:20	5	20	14,6		4	32
16:25	5	25	14,2		4	36
16:30	5	30	13,7		5	41
16:40	10	40	12,7	15,0	10	51
16:50	10	50	14,4		6	57
17:00	10	60	13,6		8	65
17:30	30	90	11,2	15,0	24	89
18:00	30	120	12,8	15,0	22	111
18:30	30	150	12,9		21	132

Tabla 1- Ejemplo de ensayo a campo

La ecuación que permite determinar la Infiltración acumulada (Iacum) está dada por Kostiakov (1932) y mejorada por Philips (1957) puede indicarse mediante la siguiente expresión:

$$d = K \cdot t^m$$

donde:

d= infiltración acumulada en el tiempo t (mm)

K= Constante que depende de la estructura inicial del suelo (en seco). Es la lámina que se infiltra en el primer instante mayor que cero (mm)

m= Constante que depende de la estabilidad de la estructura del suelo frente al agua,  $0 > m < 1$

**K** en suelos arenosos o francos con grietas presentan valores entre 10 a 30

Suelos con estructuras estables frente al agua muestran valores de **m** mayores a 0,6

Para obtener los valores **K** y **m** se hace lo siguiente:

Log d= log K + m. log t ecuación que responde a la línea recta  $y = b + a \cdot x$ , donde

Log d= y = variable dependiente

Log K= b = ordenada en el origen (constante del suelo)

m= a = pendiente de la recta (constante del suelo=

Log t= x = Variable independiente

Procesando la información, se tiene en la Tabla 2

N°	Tiempo (min)	d prom. (mm)	Log t	Log d	Log t . Log d	(log t)2
1	5	15	1,60944	2,70805	4,35844	2,59029
2	10	22	2,30259	3,09104	7,11739	5,30190
3	15	28	2,70805	3,33220	9,02378	7,33354
4	20	32	2,99573	3,46574	10,38242	8,97441
5	25	36	3,21888	3,58352	11,53490	10,36116
6	30	41	3,40120	3,71357	12,63059	11,56814
7	40	51	3,68888	3,93183	14,50403	13,60783
8	50	57	3,91202	4,04305	15,81651	15,30392
9	60	65	4,09434	4,17439	17,09138	16,76366
10	90	89	4,49981	4,48864	20,19801	20,24829
11	120	111	4,78749	4,70953	22,54684	22,92008
12	150	132	5,01064	4,88280	24,46594	25,10647
Sumas=			42,22906	46,12436	169,67022	160,07968

Tabla 2- Procesamiento de datos

Resolviendo por mínimos cuadrados, se tiene:

$$m = \frac{\frac{\sum(\log t \cdot \log d)}{n} - \frac{\sum \log t}{n} \cdot \frac{\sum \log d}{n}}{\frac{\sum(\log t)^2}{n} - \left(\frac{\sum \log t}{n}\right)^2}$$

$$m = \frac{\frac{169,67022}{12} - \frac{42,22906}{12} \cdot \frac{46,12436}{12}}{\frac{160,07968}{12} - \left(\frac{42,22906}{12}\right)^2}$$

$$m = 0,5539 = 0,55$$

$$\log K = \frac{\log d}{n} - m \cdot \frac{\log t}{n}$$

$$\log K = \frac{46,12436}{12} - 0,5539 \cdot \frac{42,22906}{12}$$

$$\log K = 1,89447$$

$$K = 78,43$$

Luego  $d = k \cdot t^m = 78,43 \cdot t^{0,55}$

Esa es la lámina acumulada en un tiempo t para un suelo que estamos estudiando. De esta forma podremos predecir cualquier lámina acumulada en base a un tiempo de riego.

**Otros parámetros importantes de infiltración=**

- **Infiltración Promedio (Ip)**

Responde a la fórmula:  $Ip = \frac{d}{t}$

Si hacemos  $m-1 = -n$  y reemplazamos quedará :  $Ip = K \cdot t^{-n}$  en mm/min

Para expresar en mm/h la fórmula final será = :  $Ip = K \cdot 60 \cdot t^{-n}$  en mm/h

**Ejemplo:** Cuál será la infiltración promedio expresada en mm/h a las dos horas de haber iniciado el riego, de un suelo cuyos parámetros de Kostiakov son:  $K= 334$  y  $m= 0,61$

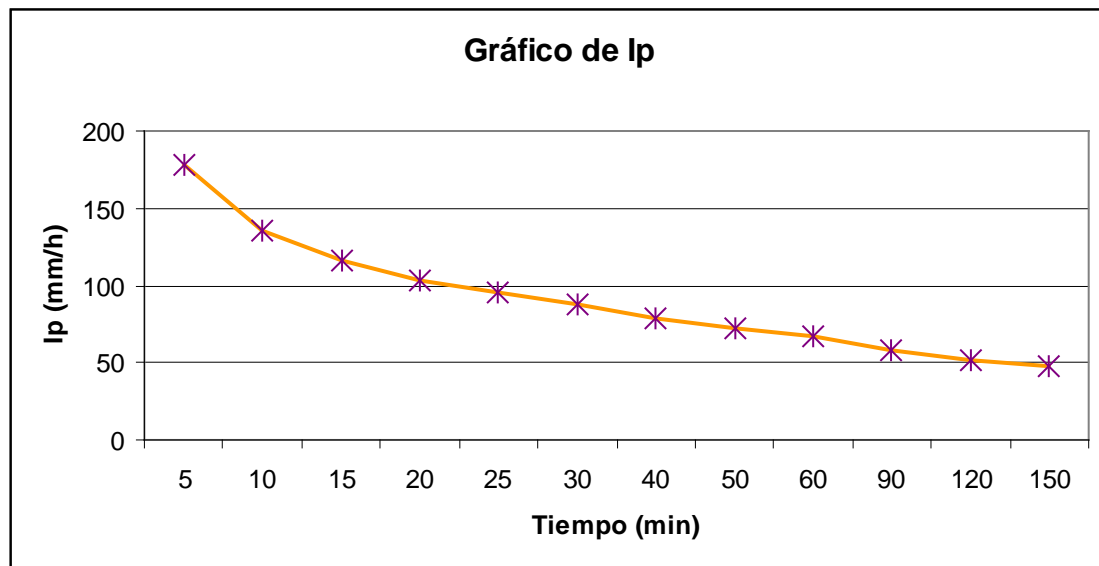
$-n= m-1= 0,61-1= -0,39$

$Ip= 334 \cdot 60 \cdot t^{-0,39} = 51,6$  mm/h

Luego se puede realizar una tabla (Tabla 3) y un gráfico (Fig. 5) con los datos de la ecuación

t en minutos	Log t	0,39 x log t (1)	Log IP= log 334-(1)	Ip (mm/h)
5	0,69897	0,27260	2,25115	178
10	1,0000	0,39000	2,13375	136
15	1,17609	0,45867	2,06508	116
20	1,30103	0,50740	2,01635	103
25	1,39794	0,54520	1,97855	95,1
30	1,47712	0,57608	1,94767	88,1
40	1,60206	0,62480	1,89895	79,2
50	1,69807	0,66260	1,86115	72,6
60	1,77815	0,69348	1,83027	67,6
90	1,95424	0,76215	1,76160	57,7
120	2,07918	0,81088	1,71287	51,6
150	2,17609	0,84867	1,67508	47,3

**Tabla 3- Valores de infiltración Promedio (mm/h)**



**Fig. 5- Gráfico de Infiltración Promedio (mm/h)**

- **Infiltración Instantánea (I)**

La Infiltración Instantánea (I) no tiene aplicación inmediata, solo sirve para determinar cuándo se produce la Infiltración Básica (Ib) cuando se grafica.



La ecuación de la I es la siguiente:

$$I = k \cdot t^{-n}$$

donde:

I= Infiltración Instantánea en un tiempo t (mm/h)

k= K.m.60

-n= m-1

Ejemplo: siguiendo con el ejemplo donde K= 5,56 y m= 0,61

k= 5,56. 0,61. 60= 203,5

-n= m-1= 0,61 - 1= -0,39

$$I = 203,5 \cdot t^{-0,39}$$

La Tabla 4 da la resolución de este caso y la Fig. 6 los valores de I vs. t

t (min.)	Log t	0,39 . log t (1)	Log I= log203,5- (1)	I (mm/h)
5	0,69897	0,27260	2,03490	108,37
10	1,00000	0,39000	1,91750	82,70
15	1,17609	0,45868	1,84882	70,60
20	1,30103	0,50740	1,80009	63,11
25	1,39794	0,54520	1,76230	57,85
30	1,47712	0,57608	1,73142	53,88
35	1,54407	0,60219	1,70531	50,74
40	1,60206	0,62480	1,68269	48,16
50	1,69897	0,66260	1,64490	44,15
60	1,77815	0,69348	1,61402	41,12
90	1,95424	0,76215	1,54534	35,10
120	2,07918	0,81088	1,49662	31,38
150	2,17609	0,84868	1,45882	28,76
180	2,25527	0,87956	1,42794	26,79
210	2,32222	0,90567	1,40183	25,22
220	2,34242	0,91354	1,39395	24,77
230	2,36173	0,92107	1,38642	24,35
240	2,38021	0,92828	1,37921	23,94
250	2,39794	0,93520	1,37230	23,57
260	2,41497	0,94184	1,36566	23,21
270	2,43136	0,94823	1,35926	22,87

**Tabla 4- Resolución del ejemplo de Infiltración Instantánea**

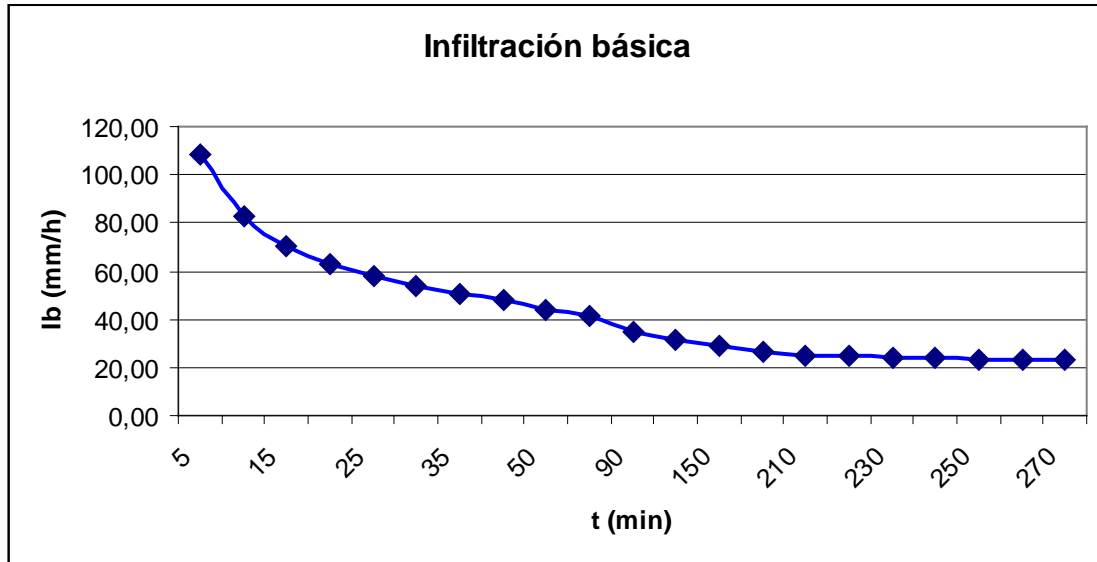


Fig. 6- Velocidad de Infiltración vs. tiempo

- **Infiltración Básica (Ib)**

En el gráfico de la Fig.6 se observa que la velocidad de infiltración (I) tiende a hacerse constante en el tiempo. A esa velocidad se la llama “Infiltración básica” (Ib), o sea que el pasaje el agua en el suelo entra en régimen. Ello es importante para algunos métodos de riego, por ej.: riego por goteo, por microaspersión o por aspersión, que se caracteriza por largos tiempos de riego. En riego por superficie, en cambio, no se tiene en cuenta por que por ejemplo, en riego por surco o por melga sin pendiente se tiene solo el tiempo de llenado y en surcos y melgas con pendientes se toma en cuenta el tiempo de escurrimiento más el tiempo de infiltración menos el tiempo de recesión de la lámina.

El cálculo de la Ib puede realizarse en forma gráfica o bien analítica. En forma gráfica, siguiendo el ejemplo de la Fig. 6, es evidente que la Ib comienza aproximadamente a los 150 minutos. En la Fig. 7, si se lleva desde los 150 minutos de tiempo a la gráfica y se saca una línea hacia la I (mm), va a dar unos 30 mm/h, ésa sería la Infiltración Básica (Ib).

Si se realiza por método analítico, se aplica la fórmula:

$$Ib = k. \left(\frac{n.k}{0,1}\right)^{\frac{-n}{n+1}}$$

Para el ejemplo:

$$k=K.m.60= 203,5$$

$$-n= -0,39$$

$$Ib = 203,5. \left(\frac{0,39.203,5}{0,1}\right)^{\frac{-0,39}{0,39+1}}$$

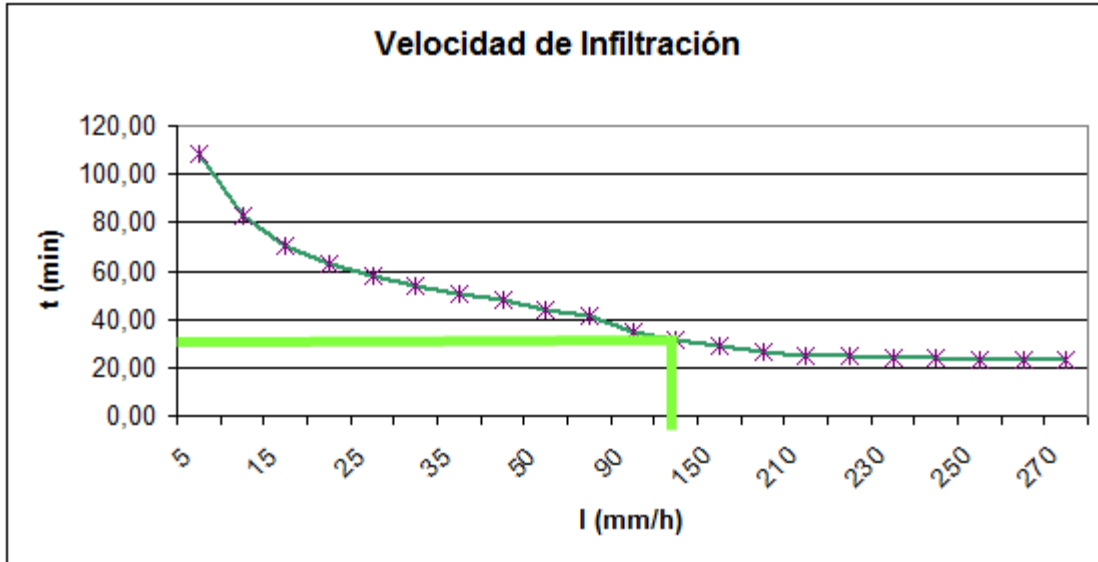


Fig. 7- Cálculo de la Ib por gráfico

$$I_b = 203,5 \cdot (793,65)^{-0,285}$$

$$I_b = 31 \text{ mm/h}$$

La  $I_b$  está en estrecha relación con la textura del suelo (Tabla 5)

Textura del suelo	Infiltración básica. Rango de Variación (mm/h)	$I_b$ promedio (mm/h)
Arena	25 - 50	50
Franco-arenoso	13 - 75	25
Franco	7,5 - 20	12,5
Franco-limoso	2 - 15	7,5
Arcillo- limoso	0,2 - 5	2,6
Arcilla	0,1 - 1	0,5

Tabla 5- Valores de Infiltración básica de los suelos (mm/h)

