

The background image shows a rural water supply point. A concrete pillar supports a metal water tap with a black handle. To the right, a large, cylindrical blue plastic water container is partially visible. The scene is outdoors with trees and foliage in the background. The image is overlaid with a large blue semi-circle at the top and a light blue semi-circle at the bottom.

Anexos

Anexo A. Nomenclatura

Tabla A-1 Nomenclatura		
Símbolo	Magnitud	Unidades más habituales
A	Sección de tubería o manguera	mm ² , m ²
AU	Agua utilizable por los cultivos	mm
CC	Capacidad de campo	%
CE	Conductividad eléctrica del agua	mmho/cm, μmho/cm, d _s /m
d _a	Densidad aparente del suelo	t/m ³ , g/cm ³
D _b	Dosis bruta de riego	mm
D _e	Diámetro exterior de la tubería o manguera	mm, pulgadas
D _h	Diámetro húmedo de un aspersor	m
D _i	Diámetro interior de la tubería o manguera	mm, pulgadas
D _n	Dosis neta de riego	mm
D _{n aj}	Dosis neta ajustada	mm
D _o	Diámetro de orificio	mm
DPM	Déficit permisible de manejo	%
e	Espesor de la tubería o manguera	mm, pulgadas
E _a	Eficiencia de aplicación de un sistema de riego	%
ET	Evapotranspiración	mm/d, mm/mes
ET ₀	Evapotranspiración de referencia	mm/d, mm/mes
ETP	Evapotranspiración potencial (término en desuso)	mm/d, mm/mes
f	Factor de fricción de la ecuación de Darcy-Weisbach	adimensional
h _s	Pérdida de carga por fricción	mca, m
h _f	Pérdida de carga singular	mca, m
h _{soporte}	Altura del soporte del aspersor	m
h _T	Pérdida de carga total	mca, m
I	Tasa o velocidad de infiltración	cm/h, mm/h
I	Intervalo entre riegos	días
I _b	Infiltración básica	cm/h, mm/h
I _M	Intervalo máximo entre riegos	días
IHD	Intervalo de humedad disponible	mm
I _p	Índice de precipitación	adimensional

Símbolo	Magnitud	Unidades más habituales
J	Pérdida de carga	%, m/100 m
L, l	Longitud de tubería	m, km
mca	Metros de columna de agua	
N _b	Necesidades brutas de un cultivo	mm/d
N _n	Necesidades netas de un cultivo	mm/d
P _a	Peso del agua contenido en el suelo	g, kg
P _{asp}	Presión necesaria para el aspersor	mca
P _e	Precipitación efectiva	mm, mm/mes, mm/año
P _g	Peso de la fase gaseosa del suelo	g, kg
P _p	Peso de las fases líquida y gaseosa del suelo	g, kg
p _r	Profundidad radicular efectiva del cultivo	cm, m
P _t	Peso total del suelo	g, kg
P _{toma}	Presión necesaria en la toma de una parcela	mca
PMP	Punto de marchitez permanente	%
Q, q	Caudal	m ³ /s, L/s, GPM
q _{asp}	Caudal de un aspersor	L/s, GPM
Q _i	Caudal instantáneo	m ³ /s, L/s, GPM
R _e	Número de Reynolds	adimensional
RAS	Relación de adsorción de sodio	
S	Superficie regable	m , ha
s	Separación entre aspersores	m
SD	Sólidos disueltos en el agua	meq/L, mg/L, g/L
t _a	Tiempo de aplicación del riego	horas
t _{a min}	Tiempo de aplicación mínimo	horas
t _{os}	Tiempo de operación del sistema de riego	horas
U, u	Velocidad	m/s
U _s	Velocidad superficial	m/s
V	Volumen	m ³ , L
V _a	Volumen del agua contenido en el suelo	m ³ , L
V _g	Volumen de la fase gaseosa del suelo	m ³ , L
V _p	Volumen de las fases líquida y gaseosa del suelo	m ³ , L
V _t	Volumen total del suelo	m ³ , L

Símbolo	Magnitud	Unidades más habituales
X	Coordenada geográfica de un punto topográfico	m
Y	Coordenada geográfica de un punto topográfico	m
Z	Coordenada geográfica de un punto topográfico	m
Z	Infiltración acumulada	mm
z	Cota geométrica	m
θ_g	Humedad gravimétrica del suelo	%
θ_v	Humedad volumétrica del suelo	%
ν	Viscosidad cinemática del agua	m ² /s

Símbolos matemáticos	Significado
α	Letra griega Alfa – se utiliza para denominar ángulos
β	Letra griega Beta – se utiliza para denominar ángulos
Δ	Letra griega Delta – significa “incremento” o “variación”; por ejemplo, Δx se lee como “incremento de x” o “variación en el valor de x”
Σ	Letra griega Sigma – se lee como “sumatorio” o “suma de “
θ	Letra griega Theta – se utiliza para denominar ángulos
π	Número Pi = 3.1416
ϕ	Letra griega Fi – se utiliza para denominar ángulos

Anexo B. Conversión de unidades

Longitud

$$1 \text{ pie} = 1' = 0.3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ pulgada} = 1'' = 25.4 \text{ mm}$$

Volumen

$$1 \text{ m}^3 = 1,000 \text{ L}$$

$$1 \text{ galón} = 3.785 \text{ L}$$

Caudal

$$1 \text{ GPM (galón por minuto)} = 0.063 \text{ L/s}$$

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 1,000 \text{ L/s}$$

$$1 \text{ L/s} = 15.85 \text{ GPM}$$

Precipitación

$$1 \text{ L/m}^2/\text{h} = 1 \text{ mm/h}$$

$$1 \text{ pulgada/h} = 25.4 \text{ mm/h}$$

Presión

$$1 \text{ PSI (libra por pulgada cuadrada)} = 0.703 \text{ mca (metros de columna de agua)}$$

$$1 \text{ mca} = 1.422 \text{ PSI}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ atm (atmósfera)} &= 1.033 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 760 \text{ mmHg (milímetros de mercurio)} \\ &= 10.33 \text{ mca} \\ &= 1,013 \text{ mb (milibar)} \\ &= 1.013 \text{ bar} \\ &= 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ bar} &= 1.020 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 10.2 \text{ mca} \\ &= 750 \text{ mmHg} \\ &= 0.987 \text{ atm} \\ &= 105 \text{ Pa} \\ &= 100 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

En la práctica:

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ mca} = 1 \text{ atm} = 1 \text{ bar} = 105 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa} = 14.3 \text{ PSI}$$

$$1 \text{ PSI} = 0.7 \text{ mca}$$

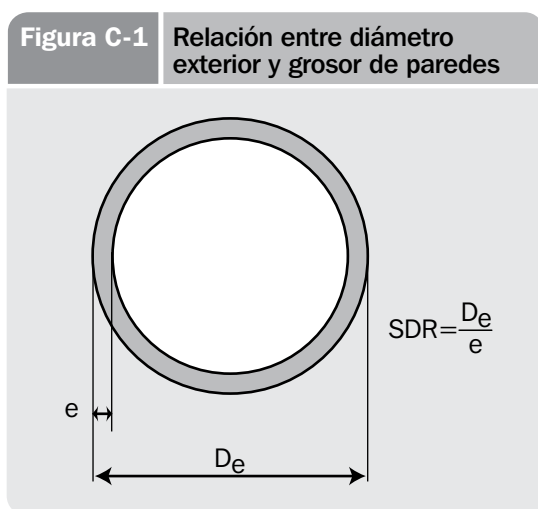
$$1 \text{ Mpa} = 10 \text{ bar}$$

$$1 \text{ J/kg} = 1 \text{ cbar}$$

Anexo C. Materiales de PVC y PE

Tuberías de cloruro de polivinilo (PVC)

- El PVC es un excelente material para las conducciones y distribuciones, desde las tuberías primarias hasta incluso las terciarias.
- Siempre deben enterrarse, de modo que queden protegidas de la luz solar y de temperaturas extremas (se estima que un tubo de PVC enterrado puede durar hasta 50 años sin ningún problema). En aquellos lugares donde el terreno no permita el zanjeo, deberá recurrirse al PE o al HG, nunca dejar la tubería sobre el terreno porque se terminará arruinando.
- Se aconseja enterrar al menos 45 cm los tubos de hasta 2", 60 cm los de 3" y 4", y 70 cm los de más de 4". En pasos bajo caminos transitados por vehículos deben enterrarse al menos 1 m. Finalmente, en pasos aéreos deben sustituirse por PE o HG, o al menos protegerlos del sol con una manguera de PE de superior diámetro que haga de cubierta.



- Los tubos (también llamados lances) se fabrican en una longitud estándar de 6 metros.
- En Centroamérica la fabricación de tuberías de PVC está perfectamente normalizada siguiendo las normas estadounidenses (normas ASTM). Las tuberías se clasifican de acuerdo a su SDR (Standard Dimension Ratio – Relación de dimensiones en español), es decir, la relación existente entre su diámetro exterior y el grosor de sus paredes. Los valores de SDR son fijos y cada tubería se encuentra disponible en varios valores de SDR, o en otras palabras, varios timbrajes (ver Figura C-1).
- A mayor valor de SDR corresponde una menor resistencia a la presión como consecuencia del menor espesor de pared (un menor timbraje). Los máximos valores de presión estática que pueden resistir las tuberías para cada valor de SDR se muestran en la Tabla C-1:

Tabla C-1 Valores de presión estática		
SDR	Timbraje (PSI)	Timbraje (mca)
41	100	70
32.5	125	88
26	160	112
21	200	140
17	250	176
13.5	315	221

- El diámetro comercial con el que se denomina a las tuberías de PVC es el diámetro nominal, y no coincide en absoluto ni con el diámetro exterior ni con el diámetro interior. Por ejemplo, la tubería de 1/2" tiene

un diámetro exterior (D_e) de 0.84" y un diámetro interior (D_i) de 0.716", es decir valores superiores ambos a la media pulgada de diámetro nominal.

- Aunque las casas comerciales fabrican todos los diámetros que detallamos en la Tabla C-2, raramente se encuentran todos en ferreterías que no sean las más grandes de

las principales ciudades. Debemos comprobar antes de diseñar el sistema qué diámetros se encuentran en las ferreterías locales si es en estas donde pensamos hacer las compras. En último caso siempre podremos encargarnos un determinado diámetro, aunque ello provocará un apreciable retraso en las compras.

Tabla C-2 Diámetros de tubería disponibles								
Diámetro nominal (pulg.)	SDR	Presión (PSI)	Presión (mca)	Espesor (pulg.)	Espesor (mm)	D exterior (pulg.)	D interior (pulg.)	D interior (mm)
½"	13.5	315	221	0.062	1.6	0.84	0.716	18.2
¾"	17	250	176	0.062	1.6	1.05	0.926	23.5
1"	17	250	176	0.077	2.0	1.315	1.161	29.5
1"	26	160	112	0.06	1.5	1.315	1.195	30.4
1¼"	17	250	176	0.098	2.5	1.66	1.464	37.2
1¼"	26	160	112	0.064	1.6	1.66	1.532	38.9
1¼"	32.5	125	88	0.06	1.5	1.66	1.540	39.1
1½"	17	250	176	0.112	2.8	1.9	1.676	42.6
1½"	26	160	112	0.073	1.9	1.9	1.754	44.6
1½"	32.5	125	88	0.06	1.5	1.9	1.780	45.2
1½"	41	100	70	0.046	1.2	1.9	1.808	45.9
2"	17	250	176	0.14	3.6	2.375	2.095	53.2
2"	26	160	112	0.091	2.3	2.375	2.193	55.7
2"	32.5	125	88	0.073	1.9	2.375	2.229	56.6
2"	41	100	70	0.058	1.5	2.375	2.259	57.4
2½"	17	250	176	0.169	4.3	2.875	2.537	64.4
2½"	26	160	112	0.11	2.8	2.875	2.655	67.4
2½"	32.5	125	88	0.088	2.2	2.875	2.699	68.6
2½"	41	100	70	0.07	1.8	2.875	2.735	69.5
3"	17	250	176	0.206	5.2	3.5	3.088	78.4
3"	26	160	112	0.135	3.4	3.5	3.230	82.0
3"	32.5	125	88	0.108	2.7	3.5	3.284	83.4
3"	41	100	70	0.085	2.2	3.5	3.330	84.6

Mangueras de polietileno (PE, también conocido como poliducto)

En el caso del PE la cuestión es más complicada. Existen desde luego normas internacionales que regulan la fabricación de las mangueras tal y como sucede con el PVC, considerando diferentes diámetros y resistencias a la presión estática, y por tanto distintos SDR. Existen también casas comerciales en Honduras que fabrican mangueras y conectores de PE de alta calidad siguiendo las normas mencionadas. Lamentablemente, en el 95% de los casos el PE que encontramos en las ferreterías y agroservicios no es de ninguna de estas casas comerciales, y por lo tanto no ha sido fabricado según las normas. Es más, con frecuencia estas mangueras son fabricadas a partir de material reciclado y su resistencia a la presión estática es muy reducida.

Podríamos pensar que la solución reside simplemente en adquirir manguera de PE de proveedores y fabricantes de confianza, garantizando así la correcta calidad y resistencia de la manguera. No obstante, existiría el riesgo de que a la hora de reparar posibles roturas de la manguera, o simplemente al sustituir la manguera al cabo de los años (considerando que la duración del PE es inferior a la del PVC), los productores utilizaran el poliducto de mala calidad dados su menor precio y su mayor facilidad de adquisición. Podría darse una situación en la que un sistema diseñado para soportar presiones estáticas de 40, 60 ó 100 mca, estuviera constituido por manguera que no soportara más de 25 mca, con lo que el sistema acabaría reventando y sería ya imposible de operar en el futuro.

Como frecuentemente se hace en ingeniería, la solución será ponernos en el peor de los casos posibles. Consideraremos por tanto sólo el poliducto disponible en los agroservicios locales. Con este poliducto que vamos a denominar como *no normalizado*, haremos las siguientes consideraciones:

- Con fines de diseño, supondremos una resistencia máxima a la presión (el timbraje) de 25 mca.
- Con el fin de evitar en lo posible roturas como consecuencia del golpe de ariete, limitaremos la velocidad media del agua a 0.7 m/s.
- Esta velocidad máxima permisible, dados los diámetros existentes, limitar el caudal máximo que podemos conducir con poliducto a 2 L/s. Siempre podremos, no obstante, utilizar varias mangueras para conducir caudales mayores, aunque ello repercutirá obviamente en el costo.
- Dada la ausencia de normas, los diámetros son muy variables por mucho que se hable de poliducto de 1" o $\frac{3}{4}$ ". Pero con fines de diseño consideraremos un diámetro interior idéntico al nominal (ver Tabla C-3).

Tabla C-3 Diámetro nominal y presión (mca)		
Diámetro nominal (pulg.)	Presión (mca)	D interior (mm)
1/2"	25	12.7
3/4"	25	19.1
1"	25	25.4
1 1/4"	25	31.8
1 1/2"	25	38.1
2"	25	50.8
3"	25	76.2

Un caso aparte lo constituyen las mangueras de PE que se utilizan para riego localizado (goteo o microaspersión), las cuales, por ser habitualmente importadas, si están fabricadas según las normas internacionales. Normalmente se encuentran mangueras de 10, 12, 16 y 20 mm de diámetro nominal (que en el caso de las normalizadas coincide con el diámetro exterior), las cuales están diseñadas para trabajar igualmente a presiones inferiores a 25 mca.

Anexo D. Utilización del nivel Abney¹

Descripción

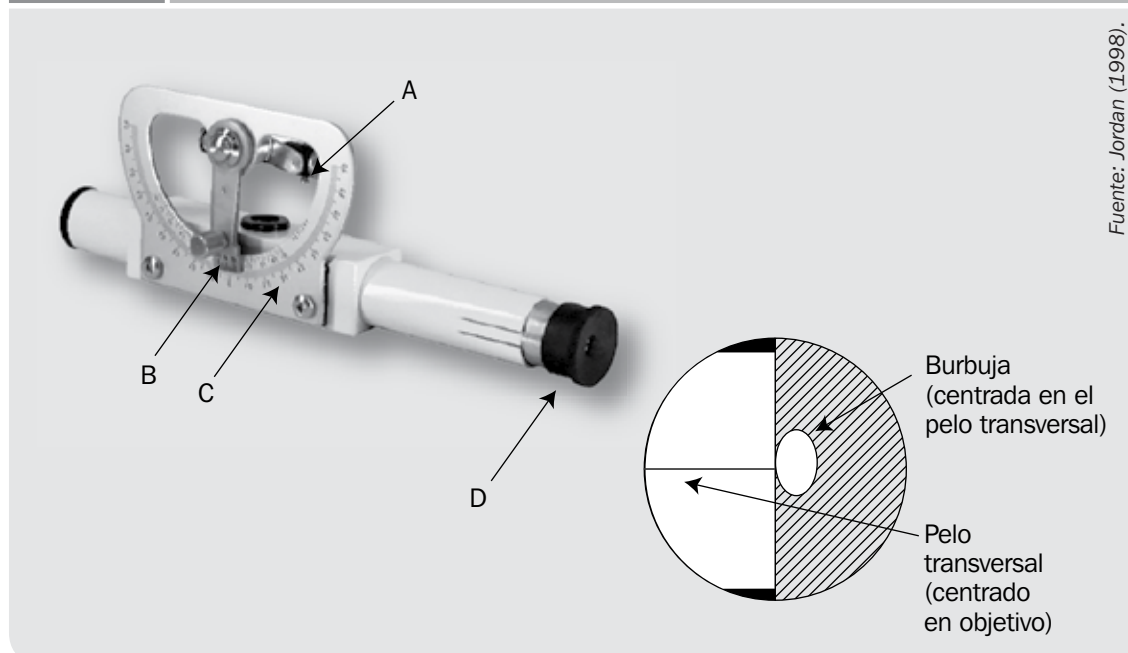
El nivel Abney es básicamente un tubo cuadrado con un lente ocular (D) en el extremo del observador y un pelo horizontal que cruza el extremo del objetivo. Casi en el centro del tubo hay un espejo de 45°, que refleja la mitad de la línea de mira hacia arriba, a través de una abertura en el tubo. Montado sobre la abertura hay un nivel de burbuja (A) con una marca de referencia grabada en el centro. El nivel de burbuja está fijado a una palanca móvil de marca (B, nonio o vernier), que se ajusta contra graduaciones de escala sobre un arco de níquel-plata (C). Algunos tipos de niveles Abney tienen arcos intercambiables, mostrando tipos diferentes de escalas (tales como grados, porcentaje, etc.). Para efectos de este manual, se usará el arco en grados sexagesimales.

Lectura

Para su utilización, el nivel Abney se pega al ojo y se mira el objetivo, centrado el pelo transversal en dirección del mismo. Luego se ajusta la palanca de marca hasta que la burbuja (visible en la mitad derecha del campo de mira) se centre en dirección del objetivo, y del pelo transversal. Cuando el ajuste es correcto, el objetivo, el pelo transversal y la burbuja están alineados horizontalmente, como se muestra en la Figura D-1. El ángulo de visión (conocido técnicamente como ángulo vertical) luego se lee en grados sobre el arco con la ayuda del nonio.

La lectura del ángulo requiere especial cuidado. Como podemos observar en la Figura D-2a, el arco está dividido en grados sexagesimales, con numeración cada diez grados.

Figura D-1 Componentes y lectura del nivel Abney.



¹ El contenido de este capítulo ha sido adaptado de Jordan (1988).

Las lecturas hacia la izquierda del cero del arco serán negativas o cuesta abajo, mientras que hacia la derecha serán positivas o cuesta arriba. Para leer el ángulo, se determina dónde intersecciona el cero del nonio (representado en la Figura D-2 por una flecha). En el ejemplo, en la Figura D-2b, el cero cae entre -5° y -6° . Aunque podríamos aproximar a simple vista los minutos, conseguiremos mayor precisión en la lectura de los minutos con la ayuda del nonio.

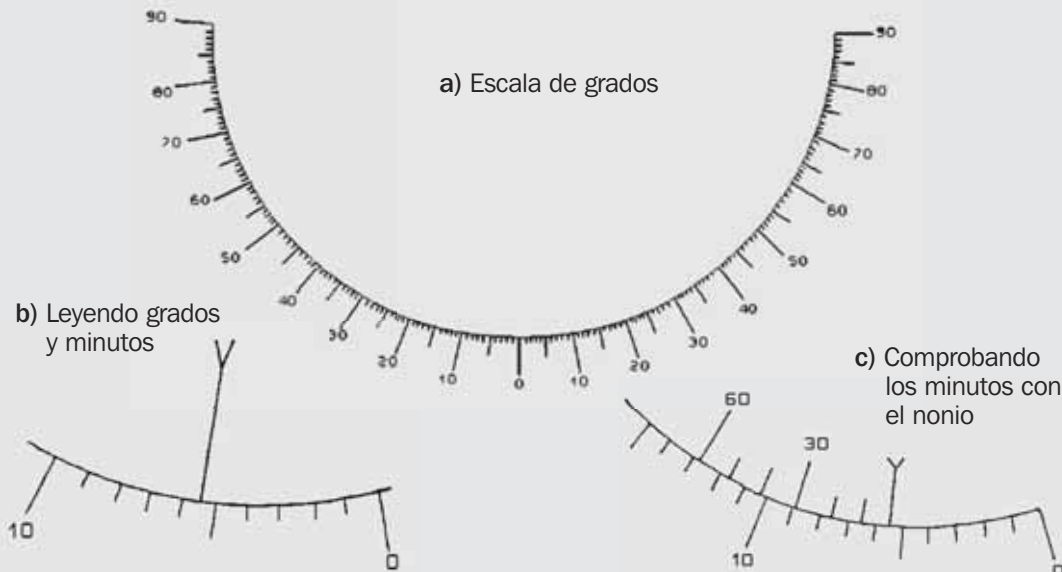
Para lecturas cuesta abajo (como las de la Figura D-2c) utilizaremos las líneas del nonio a la izquierda del cero del mismo, y usaremos las de la derecha para lecturas cuesta arriba. Las líneas del nonio tienen un intervalo de diez minutos entre ellas, estando sólo la de 30 y 60 numeradas. Para precisar los minutos de la lectura, determinaremos cuál de las líneas del nonio está más en línea recta con alguna de las líneas del arco. En el caso del ejemplo podemos observar como la línea del

nonio correspondiente a $30'$ casi se alinea exactamente con la línea del arco de abajo, de modo que la lectura completa del ángulo será $-5^\circ 30'$.

Levantamiento

Para efectuar un levantamiento con el nivel Abney se requieren mínimo dos personas y si son más, tanto mejor pues los terrenos con mucha maleza hay que limpiarlos exhaustivamente para tener líneas de mira claras. Se necesitan un nivel Abney, una cinta de medida de 30 m. y un cuaderno de campo. Podrá utilizarse una brújula si se requieren azimuts (ángulos horizontales). El estudio se inicia en algún punto fijo de referencia (como, por ejemplo, la fuente o algún pico sobresaliente a lo largo de la ruta de la conducción) y se continúa aguas arriba o aguas abajo a partir de ese punto, a lo largo de la ruta de la línea de conducción propuesta.

Figura D-2 Dirección de las lecturas en el nivel Abney.



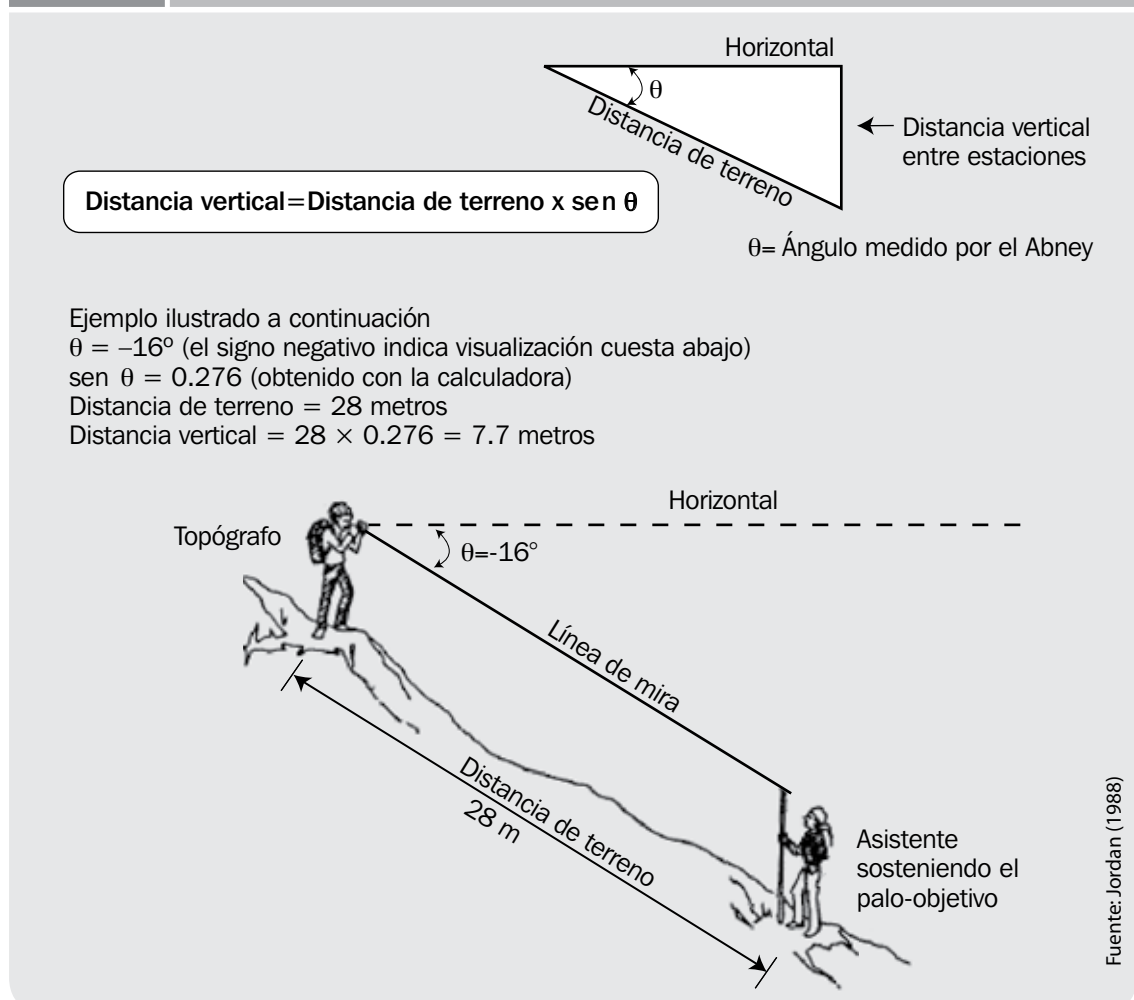
Fuente: Cambers, G.; Ghina, F. (2005) *Introduction to SANDWATCH. An educational tool for sustainable development*, UNESCO, París, 91 p.

La técnica de levantamiento es sencilla: el topógrafo mira a través del Abney hacia un objetivo que sostiene su asistente y se mide la distancia de terreno que media entre ellos. Esta distancia, y el ángulo vertical (ángulo medido por el nivel Abney) se registran en el cuaderno de campo. Es importante que el objetivo hacia el cual mira el topógrafo se encuentre a la misma distancia del suelo que el nivel Abney, que será la misma que la altura desde el suelo hasta los ojos del topógrafo. Si el asistente no es de la misma altura que el topógrafo, entonces deberá portar un palo objetivo cortado exactamente a la

misma altura que la de la altura de los ojos del topógrafo. Se puede amarrar un pedazo de tela roja en la parte superior del palo, o el asistente puede colocar su mano en la parte superior del mismo para que el objetivo sea claro. También resulta útil que el topógrafo utilice un palo en forma de horqueta sobre el cual se asiente el nivel Abney, a fin de que la lectura sea más uniforme (en este caso, el palo-objetivo deberá ser del mismo tamaño que la horqueta).

La Figura D-3 muestra la disposición básica y el cálculo utilizado en la nivelación trigonométrica con el nivel Abney: el topógrafo

Figura D-3 Nivelación trigonométrica con el nivel Abney



y su asistente se ubican entre sí a una distancia de 28 metros (distancia geométrica), y el ángulo vertical es de -16° (el ángulo negativo indica que el topógrafo está visualizando cuesta abajo). Con la ayuda de una calculadora científica y unos conocimientos básicos de trigonometría, se puede calcular que la distancia vertical entre ambos es de 7.7 m.

El topógrafo, a la vez que efectúa el estudio, debe observar el terreno que recorre. Conforme efectúa su trabajo, debe tener en mente que posteriormente él u otra persona

tendrán que excavar una línea de canal a lo largo de esa ruta. Por tanto, deberá tomar nota del terreno que se está trazando, como tramos de selva, campos cultivados, senderos, hondonadas, condiciones del terreno (grava, barro blando, roca viva, etc.). El topógrafo debe utilizar la mayor cantidad de puntos de referencia, de manera que si en el futuro hay que volver a estudiar algún tramo de la conducción, puede ubicarse un punto de inicio conveniente. Los puntos de referencia deben ser permanentes o semipermanentes. Ejemplos adecuados serían los árboles grandes, salientes de rocas, etc.

Anexo E. Ensayo de aspersores

El objetivo de este ensayo es conocer la curva $Q - P$ del aspersor, y el diámetro húmedo para una altura dada cuando no tenemos el catálogo del fabricante. Para cualquier emisor (ya sea aspersor, difusor o emisor de goteo), las ecuaciones de dicha curva son del tipo:

$$q = K_q \times h^x$$

donde:

- q es el caudal del emisor en L/h.
- K_q es el coeficiente de descarga del emisor.
- h es la altura de presión dinámica a la entrada del emisor.
- x es el exponente de descarga del emisor. Para los aspersores este exponente toma habitualmente un valor en torno a 0.5.

Material necesario:

1. Una toma de agua, ya sea por gravedad o por bombeo que pueda ser regulada mediante una llave con el fin de conseguir diferentes presiones de trabajo del aspersor.
2. Un manómetro que situaremos a la salida de la toma para conocer la presión.
3. Un número variable de pluviómetros que dependerá del alcance del aspersor. El número necesario puede estimarse a partir de la Tabla E-1:

Tabla E-1		
Número de pluviómetros necesarios para el ensayo		
Alcance (m)	Nº de pluviómetros	Separación entre pluviómetros (m)
10	25	2
15	36	2.5
20	36	3
25	49	3.5
30	49	4

Como pluviómetros deberán utilizarse recipientes exactamente iguales. Serán cilíndricos, con el borde superior afilado, de modo que el agua recogida no pueda salpicar. El diámetro en la abertura deberá estar comprendido entre 8 y 30 cm, teniendo en cuenta que la precisión de la medida aumenta con el diámetro.

4. Una regla o preferiblemente un pie de rey para medir el diámetro de los recipientes utilizados como pluviómetros y obtener así su sección.
5. Una probeta o instrumento de medida de líquidos con una precisión de 1 ml.
6. Un reloj

Procedimiento a seguir:

En campo:

1. Se elige una zona plana para realizar el ensayo
2. Situamos el aspersor a 0.5 m de altura.
3. Realizamos un ensayo previo con el aspersor para conocer el alcance del agua. En función de este alcance situaré los pluviómetros en una cuadrícula, con distancia entre ellos dada por la Tabla E-1. Daremos numerar los pluviómetros y situarlos preferiblemente un poco enterrados con el fin de que no se vuelquen.
4. Se abre la llave hasta que el manómetro alcance un valor de 20 metros (2.0 bar) y se mantiene abierta una hora.
5. Con la ayuda de la probeta, se mide la cantidad de agua recogida por cada pluviómetro, anotando igualmente el número de pluviómetro.

Tabla E-2 Registro de datos de precipitación.

# Pluviom.	Lectura (ml.)	Pluviometría (mm/h)	# Pluviom.	Lectura (ml.)	Pluviometría (mm/h)
1	83		51	75	
2	76		52	65	
3	68		53	34	
...			...		

6. Se vuelven a realizar los pasos 3, 4 y 5 con una presión de trabajo de 30 m.

En gabinete:

1. Para cada una de las dos tablas se calcula la pluviometría de cada pluviómetro con la fórmula:

$$\text{Pluviometría (mm/h)} = \frac{(\text{Lectura (ml)} / 1000)}{\frac{\pi \times (D/1000)^2}{4}}$$

Donde π es 3.1416 y D es el diámetro interno de los pluviómetros que se habrá medido previamente con la regla o pie de rey.

2. Para cada una de las tablas, se calcula el promedio de pluviometría.

3. Para cada uno de los ensayos (el de 20 y el de 30 m), se descartan todos aquellos pluviómetros cuya pluviometría es inferior al 10% del promedio.

4. El diámetro húmedo (D_h) para cada presión de funcionamiento será la distancia máxima entre los pluviómetros que queden después de haber descartado los del paso 3.

5. El caudal del aspersor estará dado por la fórmula:

$$q \text{ (L/h)} = \text{Pluv. Promedio (mm/h)} \times \times n^\circ \text{ de pluviómetros} \times s^2$$

donde s es la separación entre pluviómetros. Tendremos, pues, dos datos de caudal para cada una de las presiones de trabajo:

Ensayo 1	Ensayo 2
$h_1 = 20 \text{ m}$	$h_2 = 30 \text{ m}$
q_1	q_2

6. Puede ya calcularse la ecuación de la curva a partir de los datos obtenidos:

$$x = \frac{\log\left(\frac{q_1}{q_2}\right)}{\log\left(\frac{h_1}{h_2}\right)}$$

$$K_d = \frac{q_1}{h_1^x}$$

Anexo F. Cálculo de la precipitación confiable

Supongamos que contamos con los siguientes datos de precipitación de una zona o estación cercana al lugar donde se pretende instalar el sistema de riego:

Promedios mensuales de precipitación (mm)		Precipitación total anual (mm)	
Enero	7.7	1970	961.3
Febrero	5.1	1971	884.2
Marzo	7.3	1972	1176.8
Abril	63.8	1973	822.5
Mayo	112.2	1974	865.9
Junio	178.4	1975	972.9
Julio	99.9	1976	904.5
Agosto	116.1	1977	865.1
Septiembre	137.1	1978	878.7
Octubre	107.7	1979	879.4
Noviembre	35.8	1980	901.1
Diciembre	12.5	Promedio	919.3

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

1. Se comienza ordenando los datos de precipitación anual de mayor a menor (ver columnas 1 y 2 de la Tabla F-1).
2. Se calcula el índice de precipitación de cada dato (I_p), que está dado por la fórmula:

$$I_p = \frac{P}{\bar{P}}$$

donde P es el dato de precipitación de cada año (columna 2) y \bar{P} el promedio de precipitación anual (en este ejemplo 919.3 mm). Por ejemplo, para el valor de

precipitación de 884.2 mm, el índice de precipitación será:

$$I_p = \frac{884.2}{919.3} = 0.962$$

3. Se calcula la probabilidad de ocurrencia (P_r) de cada valor de precipitación anual mediante la llamada fórmula de Hazen:

$$P_r = \frac{2 \times m - 1}{2 \times N} \times 100$$

donde m es el número de orden de cada valor de precipitación anual, y N es el número de años de la serie de datos (en este caso 11). Siguiendo con el ejemplo:

$$P_r = \frac{2 \times 6 - 1}{2 \times 11} \times 100 = 50.0\%$$

Tabla F-1 Cálculo de la P_r .

(1)	(2)	(3)	(4)
Nº de orden	Precipitación anual (mm)	Índice de precipitación (I_p)	Probabilidad de ocurrencia (P_r) (%)
1	1176.8	1.280	4.5
2	972.9	1.058	13.6
3	961.3	1.046	22.7
4	904.5	0.984	31.8
5	901.1	0.980	40.9
6	884.2	0.962	50.0
7	879.4	0.957	59.1
8	878.7	0.956	68.2
9	865.9	0.942	77.3
10	865.1	0.941	86.4
11	822.5	0.895	95.5
Promedio: 919.3 mm			

4. Lo que nos proporciona la cuarta columna de la Tabla F-1 son las precipitaciones confiables y los I_p al 4.5%, al 13.6%, al 22.7%, etc., de ocurrencia. Pero lo que necesitamos son valores de I_p para probabilidades más *redondas* como el 75 ó el 90%. Para averiguar el I_p para una P_r dada buscaremos los valores de I_p para la P_r inmediatamente mayor y para la inmediatamente menor a las buscada, y seguidamente aplicaremos la siguiente fórmula:

$$I_p \text{ buscado} = I_p \text{ mayor} - \frac{P_r \text{ buscado} - P_r \text{ menor}}{P_r \text{ mayor} - P_r \text{ menor}} \times (I_p \text{ mayor} - I_p \text{ menor})$$

Por ejemplo, queremos saber el I_p para una P_r del 75%. En la Tabla F-1 podemos ver que para una P_r del 68.2% el I_p es 0.956, y para una P_r de 77.3% el I_p es 0.942. Aplicando la fórmula:

$$\begin{aligned} I_p (75\%) &= 0.956 - \frac{75 - 68.2}{77.3 - 68.2} \times (0.956 - 0.942) \\ &= 0.956 - \frac{6.8}{9.1} \times 0.014 \\ &= 0.956 - 0.010 = \mathbf{0.946} \end{aligned}$$

5. Una vez que tenemos el valor de I_p para la P_r deseada, lo multiplicaremos por los valores de la precipitación mensual, de modo que tendremos las precipitaciones mensuales confiables al P_r deseado. En nuestro ejemplo, las precipitaciones mensuales confiables al 75% de probabilidad serán las dadas por la Tabla F-2:

Tabla F-2		Valores de precipitación confiable	
Promedios mensuales de precipitación (mm)	I_p (75%)	Ppt. 75%	
Enero	7.7	× 0.946 =	7.3
Febrero	5.1		4.8
Marzo	7.3		6.9
Abril	63.8		60.4
Mayo	112.2		106.1
Junio	178.4		168.8
Julio	99.9		94.5
Agosto	116.1		109.8
Septiembre	137.1		129.7
Octubre	107.7		101.9
Noviembre	35.8		33.9
Diciembre	12.5		11.8

Anexo G. Tolerancia relativa de los cultivos agrícolas a la salinidad²

CULTIVOS EXTENSIVOS		
Tolerantes		Moderadamente sensibles
Cebada		Habichuela
Algodón		Maíz
Remolacha azucarera		Lino
		Cacahuete
		Arroz
		Caña de azúcar
		Girasol
Moderadamente tolerantes		Sensibles
Frijol alacín, caupí	Soya	Frijol
Avena	Trigo	Ajonjolí
Centeno	Trigo duro	
Sorgo		
PASTOS Y CULTIVOS FORRAJEROS		
Tolerantes		Moderadamente sensibles
Pasto bermuda		Alfalfa
		Trébol
		Maíz forrajero
		Caupí forrajero
		Pasto llorón
		Avena forrajera
		Gramma de jopillos
		Centeno forrajero
		Freo de los prados
Moderadamente tolerantes		Sensibles
Cebada forrajera	Raygrass	
Alpiste	Pasto sudán	
Trébol	Trigo forrajero	
Festuca		

Fuente: elaboración propia a partir de USDA (1992, 1997).

² Estos datos sirven sólo de guía a la tolerancia relativa entre cultivos. Las tolerancias absolutas dependerán del clima, las condiciones del suelo y las prácticas agrícolas. Para una lista más exhaustiva de especies y sus nombres científicos, consúltese Ayers y Westcot (1985) o USDA (1997:Table 13-3).

VEGETALES		
Tolerantes	Moderadamente sensibles	
Espárrago	Brócoli	Chile
	Repollo	Patata
	Coliflor	Rábano
	Apio	Espinaca
	Maíz dulce	Melón
	Pepino	Calabaza
	Berenjena	Camote
	Lechuga	Tomate
	Sandía	
Moderadamente tolerantes	Sensibles	
Alcachofa	Frijol	
Remolacha	Zanahoria	
Zucchini, pipián, zapallo	Cebolla	
	Quingombó	
FRUTALES		
Tolerantes	Moderadamente sensibles	
	Uva	
Moderadamente tolerantes	Sensibles	
Higuera	Almendra	Níspero
Jinjolero	Manzana	Mango
Papaya	Albaricoque	Naranja
Piña	Aguacate	Fruta de la pasión
Granada	Zarzamora	Melocotón
	Chirimoya	Pera
	Lima	Toronja
	Limón	Zapote
	Mandarina	Fresa

La clasificación de tolerancias relativas está definida por las líneas de la Figura G-1. En esta figura vemos como, en general, los cultivos tolerantes alcanzan el 100% de su rendimiento con valores de CE inferiores a 0.8 dS/m. O cómo los cultivos moderadamente tolerantes sufren reducciones del 50% del rendimiento con valores de CE superiores a

unos 7 dS/m. Un par de ejemplos concretos nos ayudarán a explicar mejor la gráfica.

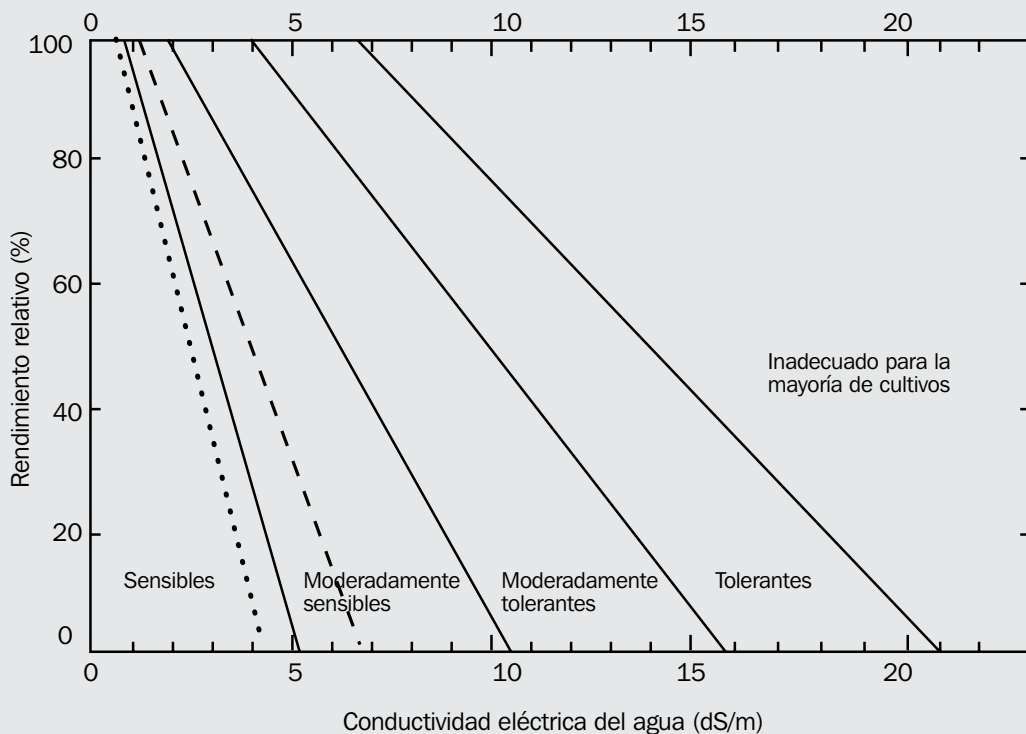
La línea de trazos representa la relación entre CE del agua de riego y el rendimiento potencial para el maíz. Vemos cómo para que el maíz alcance el 100% de su rendimiento potencial, el valor de la CE debe ser inferior a 1.1 dS/m. También podemos ver cómo si

el agua de riego que aportáramos tuviera una CE de 5 dS/m, podrían esperarse rendimientos inferiores al 40% del potencial.

En el caso del frijol (línea de puntos), que es un cultivo sensible, estos mismos valores de conductividad arrojan pérdidas de rendimiento aun mayores que en el caso del maíz. Así, con una CE de 1.1 dS/m, el frijol sufre una pérdida del 20% del rendimiento (o lo que es lo mismo, alcanza un 80% de su rendimiento potencial). Con una CE de 5 dS/m, el frijol no será capaz de producir absolutamente nada.

En general, puede observarse también como los cultivos sensibles necesitan una CE inferior a 0.7 dS/m para no sufrir mermas en el rendimiento. En el caso de los cultivos moderadamente sensibles, el umbral estará en 2 dS/m. Para los cultivos moderadamente tolerantes, no sufrirán pérdidas con CE inferiores a 4 dS/m. Y por último, los cultivos tolerantes, no sufrirán ninguna bajada en sus rendimientos con valores de CE inferiores a 6.5 dS/m.

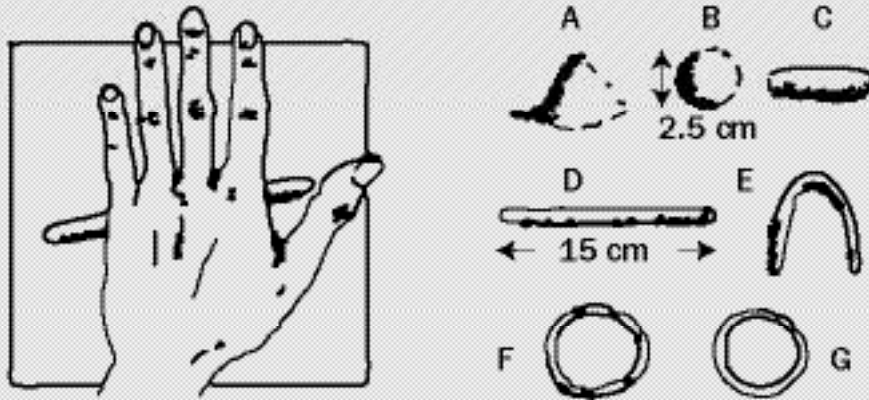
Figura G-1 Clasificación de la tolerancia relativa por tipo de cultivo.



Fuente: Ayers y Westcot (1985).

Anexo H. Ensayos de suelo

Figura H-1 Procedimiento para la determinación de la textura al tacto según Ilaco.



Fuente: Ilaco, B.V. (1966) Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics 2ª ed., Elsevier, Amsterdam, 738 pp.

Se pone aproximadamente una cucharada de suelo en la palma de la mano y se le echa unas gotas de agua. Se escurre y se amasa hasta que se adhiera a la mano. La medida en que se pueda moldear, como en la figura, dará una idea aproximada de su clase de textura.

A) Arenoso. Es imposible formar una bola de suelo redondeándola con las palmas de la mano. El suelo permanece suelto y en granos simples y puede ser amontonado pero no moldeado.

B) Franco arenoso. Puede ser moldeado en forma esférica pero se desgrana fácilmente con solo aplastar la bola entre los dedos pulgar e índice.

C) Limo. Podemos formar un cilindro a partir de la bola, pero nunca mayor de 15 cm de largo.

D) Franco. Podemos amasar la bola hasta formar un cilindro de 15 cm de largo y 0.5 cm de diámetro. Al intentar doblar el cilindro en forma de U se rompe.

E) Franco arcilloso. El suelo puede ser amasado como en (D) pero puede ser cuidadosamente doblado en U sin romperse.

F) Arcillo arenoso. El suelo es de tacto suave y al seguir doblando el cilindro para formar un círculo se agrieta un poco.

G) Arcilla. Se maneja como plastilina y puede ser doblado en un círculo sin agrietarse.

Figura H-2 Procedimiento para la determinación de la textura al tacto según USDA (1999).

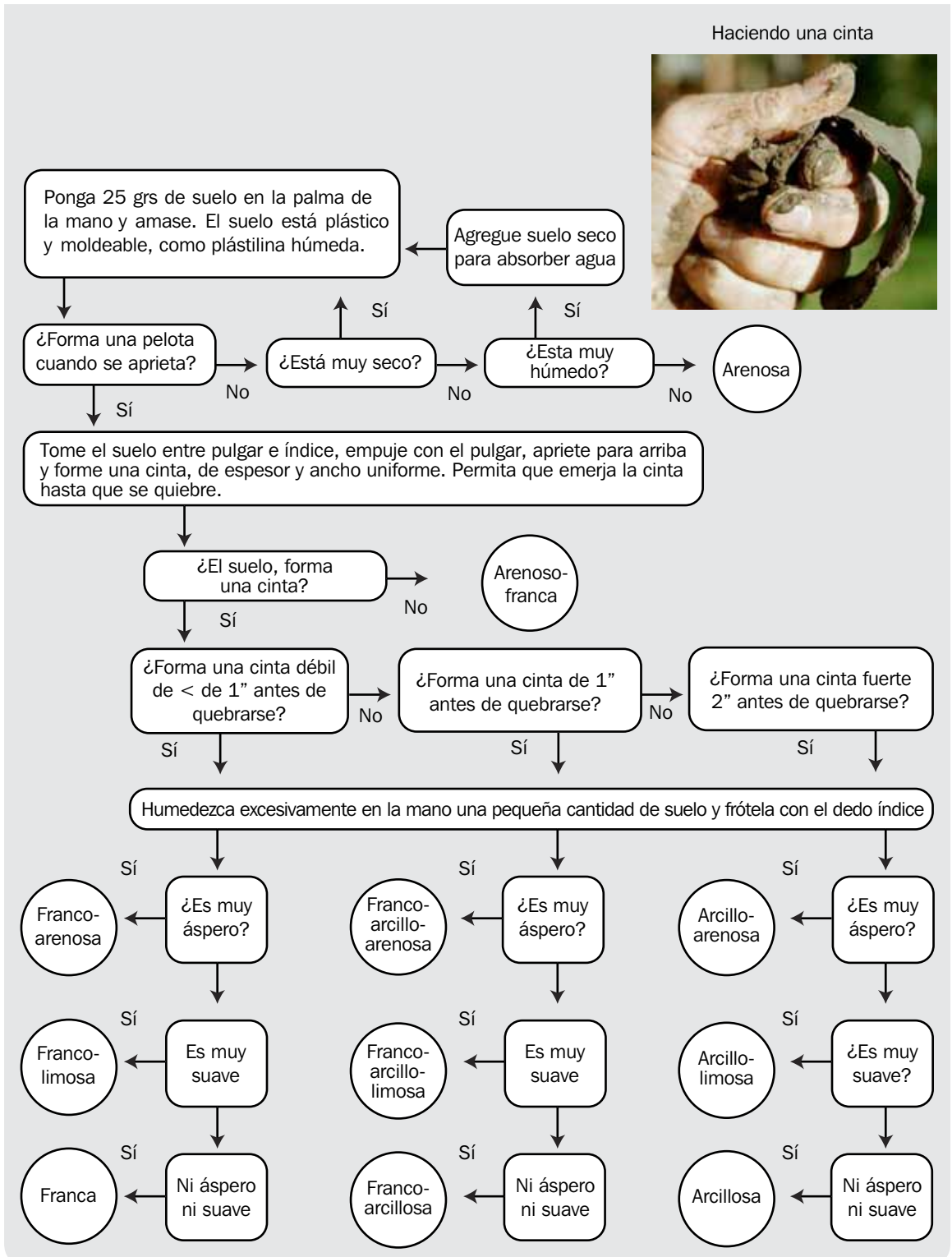
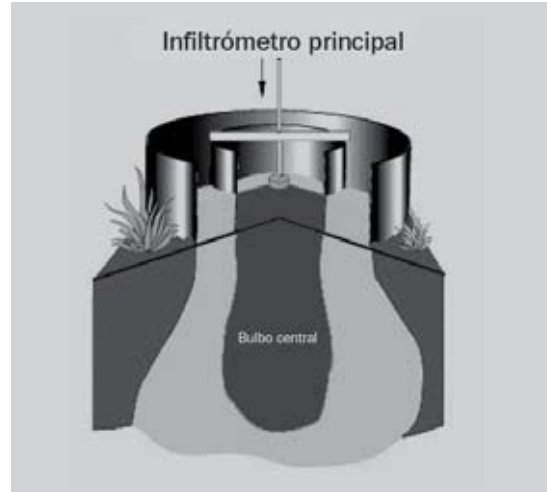


Figura H-3 | Funcionamiento del infiltrómetro de anillos.



a)

Fuente: Gregory, J. H.; Dukes, M. D.; Miller, G. L.; Jones, P. H. (2005) Analysis of double-ring infiltration techniques and development of a simple automatic water delivery system, Internet, Applied Turfgrass Science.



b)

Fuente: Miller, I. (s/f) Falling-head Double Ring Infiltrometer, Internet, The University of Sydney.

Determinación de la infiltración básica mediante el infiltrómetro de doble anillo

El infiltrómetro consta de dos cilindros de lámina de espesor 3 mm, uno de 15 cm de diámetro y el otro de 30 cm, y ambos de 30 cm de altura (ver Figura H-3a). Utilizamos dos cilindros con el fin de que el agua que vertamos entre los dos cilindros fuerce la infiltración vertical del agua que vertamos en el cilindro pequeño. En otras palabras, si utilizáramos un solo cilindro, el agua adoptaría una forma de bulbo ya que existiría infiltración tanto vertical como horizontal, mientras que el hecho de que se esté ya infiltrando agua alrededor del cilindro pequeño fuerza al agua contenida en este último a infiltrarse sólo hacia abajo y no hacia a los lados, adoptando forma de columna (Figura H-3b).

Para realizar el ensayo necesitaremos además:

- Un depósito con agua.
- Una regla o cinta métrica metálica.
- Un cronómetro.
- Un trozo de plástico, como una bolsa de supermercado.

El procedimiento que se sigue es el siguiente:

1. Se entierran ambos cilindros con cuidado en el suelo de manera concéntrica y unos 10 cm.
2. Llenamos el espacio entre los dos cilindros con agua hasta unos 10 ó 15 cm sobre el nivel del suelo.
3. Situamos el trozo de plástico en el interior del cilindro pequeño de modo que cubra todo el suelo, vertemos agua sobre

él hasta llegar igualmente a los 10 ó 15 cm sobre el suelo, y retiramos el plástico. La razón de utilizar el plástico es proteger la superficie del suelo contra el impacto del agua.

4. Con la ayuda de la regla o cinta métrica y tomando lecturas tanto de la medida como del tiempo transcurrido, iremos rellenando las columnas (a) y (d) de la Tabla H-1 (existe un formato en blanco al final de este anexo).

Como se explicaba en la sección 4.5, la tasa de infiltración será mucho mayor al

principio que al final, donde tenderá a ser constante. Por lo tanto, las lecturas tendrán que ser mucho más frecuentes al principio que al final.

Empezaremos dejando sólo un minuto entre las lecturas, de ahí pasaremos a tomarlas cada dos minutos, cada cinco, cada 10, cada 20 y cada 30. Para saber en qué momento cambiamos el intervalo entre lecturas podemos tomar el criterio de cambiar cuando la bajada de la lámina se acerque o baje de los 10 mm. En el ejemplo, cuando tomamos la segunda

Tabla H-1 Procedimiento de cálculo de la infiltración.					
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Tiempo			Lámina de agua (mm)		Tasa de infiltración (mm/h)
Hora	Diferencia (min)	Acumulado (min)	Lectura	Diferencia	
9.07	1	1	136	12	720
9.08	2	3	124	11	330
9:10	2	5	113	7	210
9:12	5	10	106	11	132
9:17	5	15	95	7	84
9:22	5	20	88	6	72
9:27	10	30	82	10	60
9:37	10	40	72	9	54
9:47	–	–	63	–	–
Rellenado	10	50	142	10	60
9:57	10	60	132	8	48
10:07	20	80	124	15	45
10:27	20	100	109	11	33
10:47	20	120	98	11	33
11:07			87		

lectura la bajada de la lámina es de 12 mm ($136 - 124 = 12$ mm), de ahí que pasemos a tomar lecturas cada 2 minutos. En la cuarta lectura, la bajada es de 11 mm ($113 - 106 = 11$ mm), luego cambiamos al intervalo a cinco minutos. Y en la lectura que tomamos a las 9:27, la bajada de la lámina ha sido de $88 - 82 = 6$ mm, luego pasamos a tomar lecturas cada 10 minutos.

5. Llegará un momento que la lámina de agua del cilindro pequeño habrá bajado tanto que sea necesario rellenar. Esto lo haremos inmediatamente después de una lectura, y anotaremos la nueva lectura de lámina de agua. En la Tabla H-1, por ejemplo, se ha rellenado inmediatamente después de la lectura efectuada a las 9:47, tras lo cual la lámina ha pasado de 63 a 142 mm.
6. Durante todo el ensayo deberemos mantener la lámina de agua en el espacio entre los dos cilindros a aproximadamente el mismo nivel que en el cilindro pequeño. Esto nos obligará seguramente a rellenarlo más frecuentemente que el cilindro pequeño porque existirá mayor infiltración. No obstante, no es necesario apuntar los momentos en que rellenamos el espacio entre ambos cilindros.
7. El ensayo lo terminaremos cuando, o bien llevemos ya dos horas de ensayo (como es el caso en el ejemplo) o bien las lecturas a intervalos de 30 minutos sean prácticamente constantes (no llegamos a este punto en ensayo de ejemplo).
8. Repetiremos el ensayo al menos cuatro veces en diferentes lugares de la parcela con el fin de calcular el promedio. Para no tener que pasar ocho horas realizando el ensayo, es conveniente disponer de dos

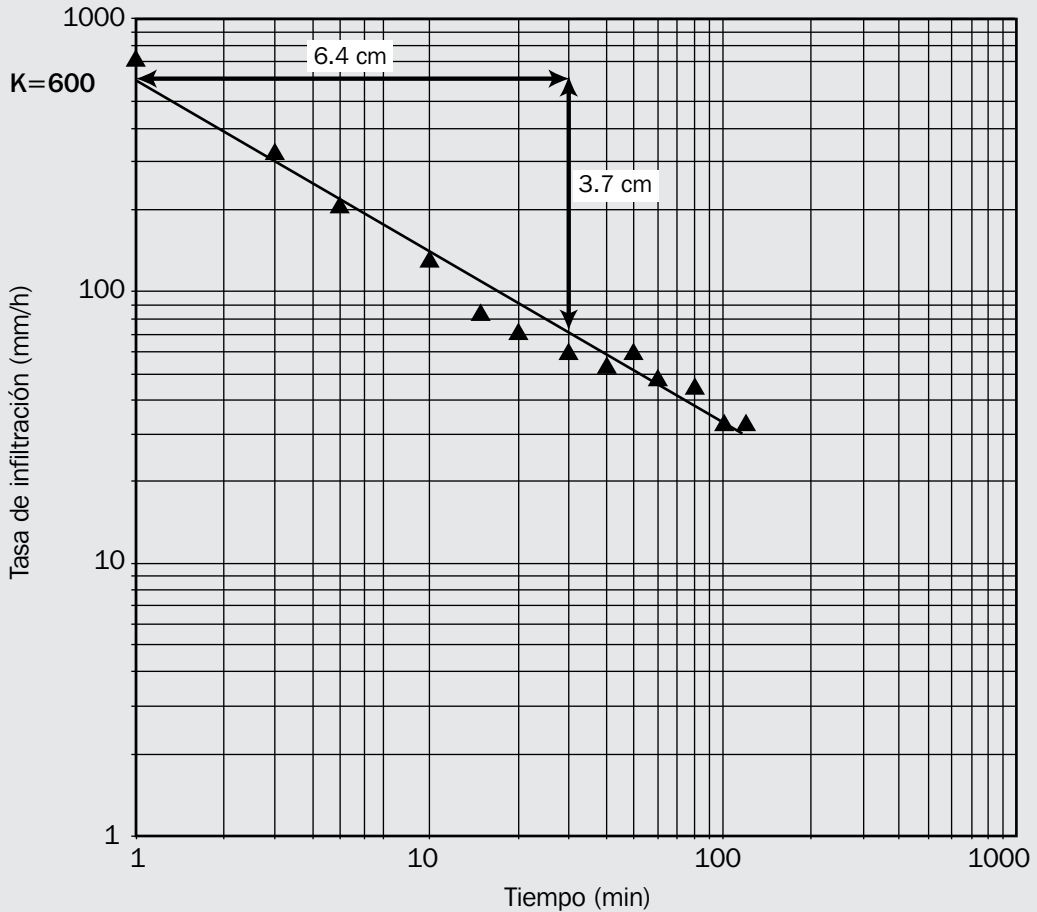
juegos de cilindros, de tal manera que se puedan traslapar ensayos y ocupar menos tiempo (iniciamos el segundo ensayo a la hora de comenzar el primero, el tercero a la hora del segundo, y el cuarto una vez transcurrida una hora del tercero).

Procesamiento de datos:

1. Comenzaremos calculando la columna (b), que no es más que la diferencia en minutos entre lecturas sucesivas. Debemos prestar atención al llegar al rellenado (cifras en negritas) pues esa fila no se toma en cuenta para el cálculo. En el ejemplo vemos como se ha calculado el tiempo transcurrido entre las 9:47 horas (lectura tras la cual se rellenó el cilindro pequeño) y las 9:57 horas.
2. Calculamos seguidamente la columna (c), que como vemos en el ejemplo es la suma acumulada de los valores de la columna (b). Obviamente ignoraremos la fila del relleno porque no hemos calculado ahí ningún valor.
3. La columna (e) es la diferencia en mm entre las lecturas de lámina de agua. Atención nuevamente al llegar al relleno, pues la diferencia entre lecturas deberá tener en cuenta la nueva altura de lámina de agua alcanzada después del relleno ($142 - 132 = 10$ mm en el ejemplo).
4. En la columna (f) calculamos la tasa de infiltración. Para ello se dividen los valores de la (e) entre la (b) y se multiplican después por 60 (para pasarlos a mm/h). Por ejemplo entre la cuarta y la quinta lectura pasaron 5 minutos y la lámina de agua bajó 11 mm. Luego el valor de la columna (f) será:

$$\frac{11}{5} \times 60 = 132 \text{ mm/h}$$

Figura H-4 Interpretación gráfica de las lecturas de la infiltración.



5. Seguidamente pasaremos a dibujar una gráfica en un papel especial que se denomina “doble logarítmico” que podemos observar en la Figura H-4.

Podemos ver cómo tiene la particularidad de que las primeras 10 unidades de ambos ejes ocupan el mismo espacio que las siguientes 90, y estas que las siguientes 900, y así sucesivamente. Otra particularidad es que en el segmento entre 1 y 10 cada raya es una unidad. Entre 10 y 100 cada raya son 20 unidades. Y entre 100 y 1000, cada raya son 100 unidades.

En dicho papel logarítmico, situaremos unos puntos cuyas coordenadas serán los valores de la columna (c) (el tiempo acumulado) en abscisas (el eje X), y los de la columna (f) (la tasa de infiltración) en ordenadas (el eje Y). Podemos ver como cada uno de los triángulos del gráfico se corresponde con una pareja de valores de la tabla. Así, el primer punto por la izquierda está dibujado en las coordenadas (1, 720), mientras que el último lo está en las coordenadas (120, 33).

El papel doble logarítmico se puede encontrar en cualquier papelería especializada, aunque al final del Anexo existe una hoja que se puede imprimir separadamente.

6. Una vez llevados todos los puntos a la gráfica en papel doble logarítmico, se traza una recta de tal manera que pase aproximadamente por en medio de la nube de puntos.
7. Llamaremos K al valor de la tasa de infiltración donde la recta que hemos trazado corta al eje vertical (recordemos al hacer la lectura que la escala es logarítmica). Podemos observar como en la Figura H-4 $K = 600$.
8. Seguidamente calcularemos la pendiente de la recta, a la cual llamaremos n . Para ello escogeremos dos puntos bastante separados de la recta y mediremos con una regla en cm la distancias horizontal y vertical entre ellos. Calcularemos la pendiente mediante la fórmula:

$$n = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{3.7}{6.4} = -0.58$$

9. Por último, calcularemos la infiltración básica mediante la fórmula³:

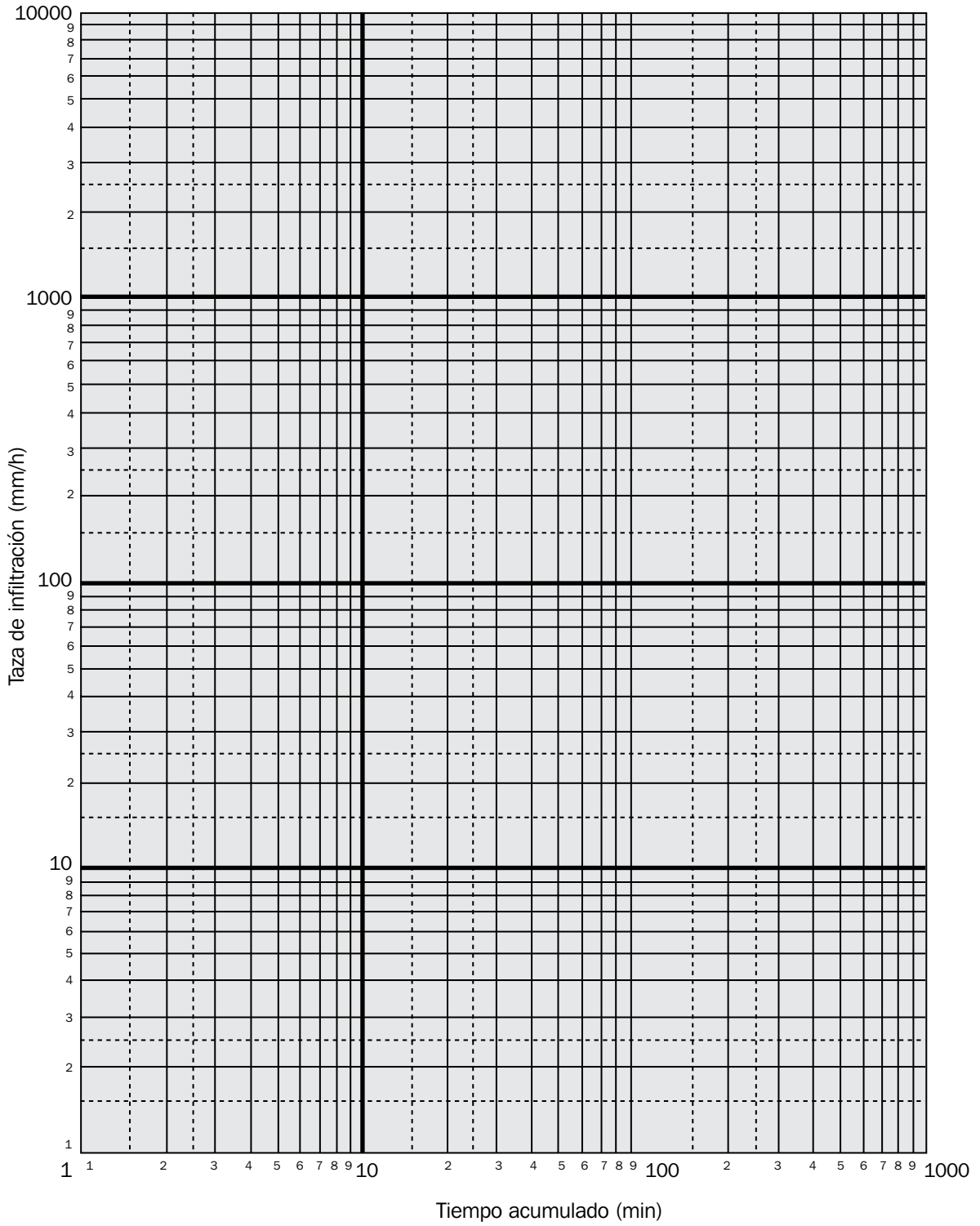
$$I_b \text{ (mm/h)} = K \times (-600 \times n)^n$$

donde sustituyendo con los valores del ejemplo tendremos:

$$\begin{aligned} I_b &= 600 \times (-600 \times (-0.58))^{-0.58} \\ &= 20.1 \text{ mm/h} \end{aligned}$$

En el CD que acompaña al manual se proporciona una hoja de cálculo Microsoft Excel® que automatiza todo el proceso de cálculo de la infiltración básica.

3 Es pura casualidad que el valor de K en el ejemplo sea igual al factor de la fórmula.



Anexo I. Código Visual Basic® para el cálculo de las pérdidas de carga mediante la ecuación universal de Darcy-Weisbach

El siguiente código crea una nueva fórmula en Excel (hfdw) que calcula las pérdidas de carga según Darcy-Weisbach a partir de los argumentos que se detallan en el código.

```
===== = ======                == == == == == == == ==
Function hfdw(k, d, u, v, l) As Single
'k = coeficiente de rugosidad de la tubería en mm
'd = diámetro interior de la tubería en mm
'u = velocidad del agua en m/s
'v = viscosidad cinemática del agua en m2/s
'l = longitud de la tubería en m

Dim re As Single      'Nº de Reynolds
re = (d / 1000) * u / v

If re <= 2000 Then
    f = 64 / re

Else
    e = 0.0001      'Error admitido
    'Valor inicial de f según fórmula de Swamee-Jain
    f0 = (-2 * Log(k / 3.7 / d + 5.74 / re ^ 0.9) / Log(10)) ^ (-2)
    'En Visual Basic el log10(n) se calcula como log(n)/log(10)

    Do
        b = -2 * Log(2.51 / re / Sqr(f0) + k / 3.71 / d) / Log(10)
        f = b ^ (-2)
        If Abs(f - f0) / f < e Then
            Exit Do
        End If
        f0 = f
    Loop

End If

hfdw = f * l * u ^ 2 / (d / 1000) / (2 * 9.81)

End Function
===== = ======                == == == == == == == ==
```

Anexo J. Lista de estaciones climáticas con datos disponibles en Hargreaves (1980) y en la base de datos FAO/CLIMWAT

Para las localidades nombradas en este anexo, Hargreaves (1980) proporciona entre otros los siguientes datos:

- Valores promedio de precipitación mensual y anual
- Probabilidad de ocurrencia de precipitación mensual y anual
- Valores de evapotranspiración de referencia
- Temperatura media mensual en °C
- Humedad relativa media en porcentaje

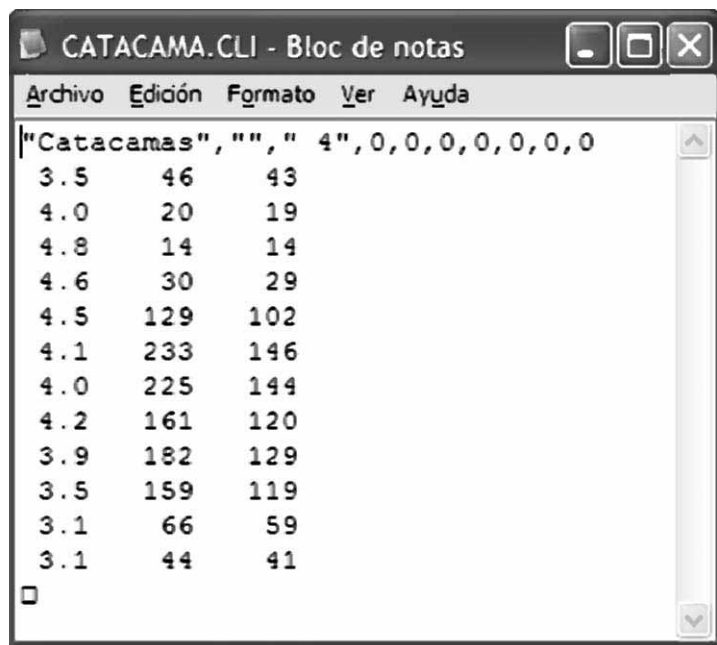
Localidad	Departamento	Localidad	Departamento
Agua Azul	Cortés	El Sauce	Fco. Morazán
Agua Caliente	Fco. Morazán	El Taladro	Comayagua
Amapala	Valle	El Zamorano	Fco. Morazán
Campamento Las Moras	La Paz	Finca América	Choluteca
Campana	Cortés	Flores	Comayagua
Cañaverl	Cortés	Gracias	Lempira
Catacamas	Olancho	Guanacaste	Atlántida
Cayetano	Olancho	Guanaja	Islas de la Bahía
Cayo	Yoro	Guayabillas	Olancho
Choluteca	Choluteca	Güinope	El Paraíso
Comalí	Choluteca	Hacienda Archaga	Fco. Morazán
Comayagua	Comayagua	Hacienda El Jaral	Copán
Comayagüela	Fco. Morazán	Hacienda El Sauce	Sta. Bárbara
Coyolar	Comayagua	Hacienda Las Cañadas	Fco. Morazán
Coyoles	Yoro	Hacienda San Isidro	El Paraíso
Chumbagua	Santa Bárbara	Hacienda Sta. Clara	Fco. Morazán
Danlí	El Paraíso	Isletas	Colón
Dulce Nombre de Copán	Copán	Juticalpa	Olancho
El Cajón	Cortés	La Ceiba	Atlántida
El Jaral	Cortés	La Esperanza	Intibucá
El Mochito	Sta. Bárbara	La Gloria	Intibucá

Localidad	Departamento	Localidad	Departamento
El Olvido	Atlántida	La Labor	Ocotepeque
El Picacho	Fco. Morazán	Lamaní	Comayagua
La Paz	Atlántida	La Mesa	Cortés
La Venta	Fco. Morazán	La Paz	La Paz
Las Limas	Olancho	Río Blanco	Sta. Bárbara
Limones	Atlántida	Rosario A.	Atlántida
Los Encuentros	Choluteca	Rosario B.	Atlántida
Maraita	Fco. Morazán	Ruinas de Copán	Copán
Marcala	La Paz	Sabana Grande	Fco. Morazán
Marcovia	Choluteca	San Antonio de Flores	El Paraíso
Morazán	Yoro	San Juan (Siguat.)	Comayagua
Morocelí	El Paraíso	San Lorenzo	Valle
Nacaome	Valle	San Lucas	El Paraíso
Naranjo	Yoro	San Marcos	Ocotepeque
Nerone	Atlántida	San Marcos de Colón	Choluteca
Nueva Armenia	Fco. Morazán	San Pedro Sula	Cortés
Nueva Ocotepeque	Ocotepeque	Santa Bárbara	Santa Bárbara
Nuevo Rosario	Fco. Morazán	Santa Rosa de Copán	Copán
Ojojona	Fco. Morazán	Sico	Colón
Olanchito	Yoro	Talanga	Fco. Morazán
Oropolí	El Paraíso	Tegucigalpa	Fco. Morazán
Palo Verde	Yoro	Tela	Atlántida
Paso Real	Fco. Morazán	Telica	Olancho
Pedernales	Sta. Bárbara	Texiguat	El Paraíso
Peña Blanca	Sta. Bárbara	Trojas A.	Atlántida
Pespire	Choluteca	Trojas B.	Atlántida
Pito Solo	Comayagua	Trujillo	Colón
Planes	Colón	Vally	Atlántida
Potreros	El Paraíso	Veracruz	Copán
Presa Guacerique	Fco. Morazán	Victoria	Yoro
Puente Pimienta	Cortés	Yoro	Yoro
Puentes de Cedeño	Choluteca	Yuscarán	El Paraíso
Puerto Cortés	Cortés	Zacapa	Santa Bárbara
Puerto Lempira	Gracias a Dios		
Zambrano	Fco. Morazán		

Estación	Departamento	Altitud (m)	Longitud (°O)	Latitud (°N)
Catacamas	Olancho	442	85.56	14.54
Choluteca	Choluteca	48	87.12	13.18
Guanaja	Islas de la Bahía	2	85.55	16.28
Isla del Cisne		9	83.56	17.24
La Ceiba	Atlántida	26	86.52	15.44
La Mesa	Cortés	31	87.56	15.26
Nacaome	Valle	35	87.30	13.32
Olanchito	Yoro	150	86.34	15.31
Playitas	Francisco Morazán	595	87.42	14.26
Puerto Lempira	Gracias a Dios	13	83.37	15.13
Quimistán	Santa Bárbara	190	88.24	15.21
Santa Rosa de Copán	Copán	1079	88.47	14.47
Tegucigalpa	Fco. Morazán	1000	87.13	14.03
Tela	Atlántida	3	87.29	15.43
Victoria	Yoro	360	87.23	14.56
Villa Ahumada, Danlí	El Paraíso	700	86.34	14.02

Por otra parte, en la base de datos CLIMWAT/FAO ([http: www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html)) puede bajarse el archivo CARIBEAN.ZIP, dentro del cual existe a su vez otro archivo HONDURAS.ZIP que contiene información detallada para las estaciones climáticas del cuadro.

Para cada una de las estaciones existen en ese archivo ZIP dos ficheros. Por ejemplo, para Catacamas existe el fichero CATACAMA.CLI, y el fichero CATACAMA.PEN⁴.



⁴ Ambos ficheros están diseñados para ser utilizados en un software de cálculo de requerimientos de riego denominado CROPWAT, cuyo uso está fuera del ámbito de este manual.

En concreto nos interesan los ficheros CLI, los cuales podemos abrir con un simple editor de texto como el “Bloc de notas” de Windows®. Una vez abierto el fichero, nos aparecerá una ventana como la de la página anterior.

En la primera fila aparece el nombre de la estación climática, el resto de cifras no nos interesan. De los restantes dígitos:

- La primera columna (del 3.5 al 3.1 en el ejemplo) son los valores de ET_0 para los 12 meses del año en mm/día.
- La segunda columna son los valores de precipitación promedio mensual en mm/mes.
- La tercera columna son los valores de precipitación efectiva mensual, igualmente en mm/mes.

Anexo K. Fases y coeficientes de cultivo

Cultivo	Fases de cultivo					Coeficientes de cultivo		
	Inicial	Desar.	Media	Madurac.	Total	$K_{C\ ini}$	$K_{C\ med}$	$K_{C\ fin}$
a) Hortalizas pequeñas						0.70	1.05	0.95
Brócoli	35	45	40	15	135		1.05	0.95
Repollo	40	60	50	15	165		1.05	0.95
Zanahoria	20	30	30	20	100		1.05	0.95
	30	40	60	20	150			
	30	50	90	30	200			
Coliflor	35	50	40	15	140		1.05	0.95
Apio	25	40	95	20	180		1.05	1.00
	25	40	45	15	125			
	30	55	105	20	210			
Lechuga	20	30	15	10	75		1.00	0.95
	30	40	25	10	105			
	25	35	30	10	100			
	35	50	45	10	140			
Cebolla (seca)	15	25	70	40	150		1.05	0.75
	20	35	110	45	210			
Cebolla (verde)	25	30	10	5	70		1.00	1.00
	20	45	20	10	95			
	30	55	55	40	180			
Ceb. (semilla)	20	45	165	45	275		1.05	0.80
Espinaca	20	20	20	5	65		1.00	0.95
	20	30	40	10	100			
Rábano	5	10	15	5	35		0.90	0.85
	10	10	15	5	40			
b) Hortalizas - Solanáceas						0.60	1.15	0.80
Berenjena	30	40	40	20	130		1.05	0.90
	30	45	40	25	140			
Chile	30	35	40	20	125		1.05	0.90
	30	40	110	30	210			

Cultivo	Fases de cultivo					Coeficientes de cultivo		
	Inicial	Desar.	Media	Madurac.	Total	$K_{C\ ini}$	$K_{C\ med}$	$K_{C\ fin}$
Tomate	30	40	40	25	135		1.15	0.80
	35	40	50	30	155			
	25	40	60	30	155			
	35	45	70	30	180			
	30	40	45	30	145			
c) Hortalizas - Cucurbitáceas						0.50	1.00	0.80
Pepino	20	30	40	15	105	0.60	1.00	0.75
	25	35	50	20	130			
Ayote	20	30	30	20	100		1.00	0.80
	25	35	35	25	120			
Zapallo, zuc-chini, pipián	25	35	25	15	100		0.95	0.75
	20	30	25	15	90			
Melón	25	35	40	20	120		1.05	0.75
	30	30	50	30	140			
	15	40	65	15	135			
	30	45	65	20	160			
Sandía	20	30	30	30	110	0.40	1.00	0.75
	10	20	20	30	80			
d) Raíces y tubérculos						0.50	1.10	0.95
Remolacha de mesa	15	25	20	10	70		1.05	0.95
	25	30	25	10	90			
Yuca: año 1	20	40	90	60	210	0.30	0.80	0.30
	año 2	150	40	110	60			
Papa	25	30	40	30	125		1.15	0.75
	25	30	45	30	130			
	30	35	50	30	145			
	45	30	70	20	165			
	30	35	50	25	140			
Camote	20	30	60	40	150		1.15	0.65
	15	30	50	30	125			

Cultivo	Fases de cultivo					Coeficientes de cultivo		
	Inicial	Desar.	Media	Madurac.	Total	K _{C ini}	K _{C med}	K _{C fin}
Remolacha azucarera	30	45	90	15	180	0.35	1.20	0.70
	25	30	90	10	155			
	25	65	100	65	255			
	50	40	50	40	180			
	25	35	50	50	160			
	45	75	80	30	230			
	35	60	70	40	205			
e) Leguminosas						0.40	1.15	0.55
Habichuela, judía verde, frijol verde	20	30	30	10	90	0.50	1.05	0.90
	15	25	25	10	75			
Frijol (seco)	20	30	40	20	110	0.40	1.15	0.35
	15	25	35	20	95			
	25	25	30	20	100			
Haba (Vicia faba)	15	25	35	15	90	0.50	1.15	Verde: 1.10 Seco: 0.30
	20	30	35	15	100			
	90	45	40	60	235			
	90	45	40	0	175			
Cacahuete, maní	25	35	45	25	130		1.15	0.60
	35	35	35	35	140			
	35	45	35	25	140			
Caupí	20	30	30	20	110		1.05	Verde: 0.60 Seco: 0.35
Lenteja	20	30	60	40	150		1.10	0.30
	25	35	70	40	170			
Guisante, arveja	15	25	35	15	90	0.50	1.15	Verde: 1.10 Seco: 0.30
	20	30	35	15	100			
	35	25	30	20	110			
Soya	15	15	40	15	85		1.15	0.50
	20	30/35	60	25	140			
	20	25	75	30	150			
f) Hortalizas perennes						0.50	1.00	0.80
Alcachofa	40	40	250	30	360	0.50	1.00	0.95
	20	25	250	30	325			

Cultivo	Fases de cultivo					Coeficientes de cultivo		
	Inicial	Desar.	Media	Madurac.	Total	$K_{C\ ini}$	$K_{C\ med}$	$K_{C\ fin}$
Espárrago	50	30	100	50	230	0.50	0.95	0.30
	90	30	200	45	365			
Fresa						0.40	0.85	0.75
g) Cultivos textiles						0.35		
Algodón	30	50	60	55	195		1.15	0.70
	45	90	45	45	225			
	30	50	60	55	195			
	30	50	55	45	180			
Lino	25	35	50	40	150		1.10	0.25
	30	40	100	50	220			
h) Cultivos oleaginosos						0.35	1.15	0.35
Ricino, higuera del diablo	25	40	65	50	180		1.15	0.55
	20	40	50	25	135			
Colza							1.10	0.35
Cártamo	20	35	45	25	125		1.10	0.25
	25	35	55	30	145			
	35	55	60	40	190			
Ajonjolí	20	30	40	20	100		0.10	0.25
Girasol	25	35	45	25	130		0.10	0.35
i) Cereales						0.30	1.15	0.40
Cebada/avena/ trigo de primavera	15	25	50	30	120		1.15	0.25
	20	25	60	30	135			
	15	30	65	40	150			
	40	30	40	20	130			
	40	60	60	40	200			
	20	50	60	30	160			
Trigo de invierno	202	602	70	30	180	0.70	1.15	0.25
	30	140	40	30	240			
	160	75	75	25	335			
Granos (pequeños)	20	30	60	40	150			
	25	35	65	40	165			

Cultivo	Fases de cultivo					Coeficientes de cultivo		
	Inicial	Desar.	Media	Madurac.	Total	$K_{C\ ini}$	$K_{C\ med}$	$K_{C\ fin}$
Maíz (grano)	30	50	60	40	180		1.20	0.35
	25	40	45	30	140			
	20	35	40	30	125			
	30	40	50	30	150			
	30	40	50	50	170			
Maíz (dulce)	20	20	30	10	80		1.15	1.05
	20	25	25	10	80			
	20	30	30	10	90			
	30	30	30	103	110			
	20	40	70	10	140			
Mijo	15	25	40	25	105		1.00	0.30
	20	30	55	35	140			
Sorgo	20	35	40	30	130		1.05	0.55
	20	35	45	30	140			
Arroz	30	30	60	30	150	1.05	1.20	0.75
	30	30.	80	40	180			
j) Pastos								
Alfalfa, ciclo total	10	30	var.	var.	var.	0.40	0.95	0.90
Alfalfa, primer ciclo de corte	10	20	20	10	60	0.40	1.20	1.15
	10	30	25	10	75			
Alfalfa, otros ciclos de corte	5	10	10	5	30			
	5	20	10	10	45			
Cynodon dactylon: heno varios cortes	10	25	35	35	105	0.55	1.00	0.85
	10	15	75	35	135			
Lolium sp.	10	20	var.	var.	var.	0.95	1.05	1.00
Pasto: - con rotación - extensivo						0.40	0.95	0.85
						0.30	0.75	0.75
Sorghum sp.: - 1er ciclo - otros ciclos	25	25	15	10	75	0.50	1.15	1.10
	3	15	12	7	37			
Pennisetum purpureum								

Cultivo	Fases de cultivo					Coeficientes de cultivo		
	Inicial	Desar.	Media	Madurac.	Total	$K_{C\ ini}$	$K_{C\ med}$	$K_{C\ fin}$
k) Caña de azúcar						0.40	1.25	0.75
Caña de azúcar (plantación virgen)	35	60	190	120	405	0.40	1.25	0.75
	50	70	220	140	480			
	75	105	330	210	720			
Caña de azúcar (retoño)	25	70	135	50	280			
	30	50	180	60	320			
	35	105	210	70	420			
l) Cultivos tropicales								
Banana, 1er año	120	90	120	60	390	0.50	1.10	1.00
Banana, 2do año	120	60	180	5	365	1.00	1.20	1.10
Cacao						1.00	1.05	1.05
Café: suelo desnudo con cobertura						0.90	0.95	0.95
						1.05	1.10	1.10
Palmeras						0.95	1.00	1.00
Árbol del hule						0.95	1.00	1.00
Té: sin sombra con sombra						0.95	1.00	1.00
						1.10	1.15	1.15
Piña: suelo desnudo con cobertura	60	120	600	10	790	0.50	0.30	0.30
						0.50	0.50	0.50
m) Bayas								
Vid	20	40	120	60	240	0.30	mesa: 0.85 vino: 0.70	0.45
	20	50	75	60	205			
	20	50	90	20	180			
	30	60	40	80	210			
Lúpulo	25	40	80	10	155	0.30	1.05	0.85
n) Frutales								
Cítricos: suelo desnudo con cobertura	60	90	120	95	365	0.65	0.60	0.65
						0.80	0.80	0.80
Aguacate						0.60	0.85	0.75

Cultivo	Fases de cultivo					Coeficientes de cultivo		
	Inicial	Desar.	Media	Madurac.	Total	$K_{C\ ini}$	$K_{C\ med}$	$K_{C\ fin}$
Árboles de hoja caduca (melocotón, durazno, manzano, peral, etc.)	20	70	90	30	210	0.55	0.90	0.65
	20	70	120	60	270			
	30	50	130	30	240			
Olivo	30	90	60	90	270	0.65	0.7	0.7
Pistacho	20	60	30	40	150	0.4	1.1	0.45

Fuente: Adaptado de Allen et al (1998)

Anexo L. Pérdidas de carga singulares

Como se comenta en el Módulo 11, las pérdidas de carga singulares se producen como consecuencia de las turbulencias creadas cuando el flujo de agua en una conducción sufre cambios bruscos en su dirección o velocidad, tal y como sucede al atravesar ensanchamientos, reducciones, derivaciones, filtros, llaves, etc. (ver Figura L-1).

También se indica en ese módulo que las pérdidas de carga singulares suelen desprejarse cuando la distancia entre puntos singulares en un tramo es 1,000 veces mayor que el diámetro de la tubería del tramo. En caso contrario, la pérdida de carga singular en una determinada pieza en tuberías o mangueras circulares se determina mediante la fórmula:

$$h_s = \frac{0.0826 \times K \times Q^2}{D^4}$$

donde:

- K = factor que depende del tipo de pieza singular (adimensional)
- Q = caudal (m^3/s)
- D = diámetro interior de la tubería (m)

Ensanchamientos de sección

a) **Ensanchamiento brusco** (cambio de diámetro)

$$K = \left[1 - \frac{D^2}{D_1^2} \right]^2$$

b) **Ensanchamiento gradual** (conector troncocónico)

$$K = C \times \left[1 - \frac{D^2}{D_1^2} \right]^2$$

donde C es un coeficiente función del ángulo del conector troncocónico que acopla las secciones y toma los valores siguientes:

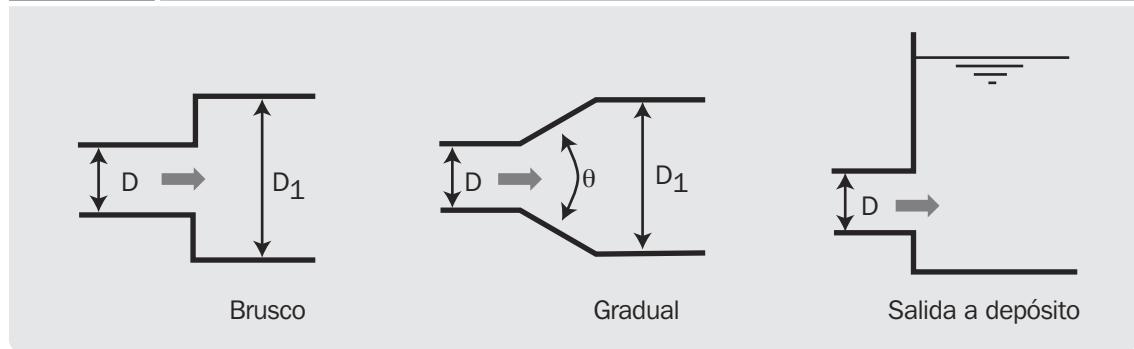
Ángulo (θ)	C	Ángulo (θ)	C
6	0.14	30	0.70
10	0.20	40	0.90
15	0.30	50	1.00
20	0.40	60	1.10

c) **Salida a depósito**

$$K = 1$$

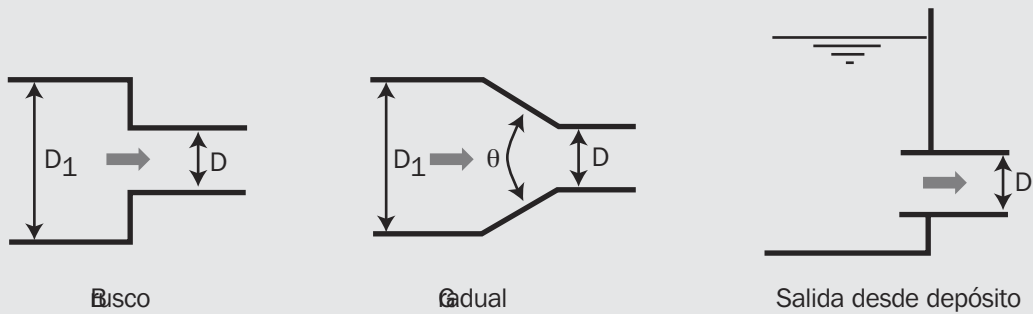
En todos los casos de ensanchamiento llamamos D al diámetro interior de la tubería más estrecha, y este será el diámetro que deberemos utilizar en la fórmula de h_s .

Figura L-1 Tipos de ensanchamiento de sección.



Reducción de sección

Figura L-2 Tipos de reducciones de sección.



a) Reducción brusca

$$K = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2$$

siendo C_c un coeficiente que depende de la relación $(D/D_1)^2$ y cuyos valores figuran a continuación:

$(D/D_1)^2$	C_c	K	$(D/D_1)^2$	C_c	K
0.10	0.624	0.363	0.60	0.712	0.164
0.20	0.632	0.339	0.70	0.755	0.105
0.30	0.643	0.308	0.80	0.813	0.053
0.40	0.659	0.268	0.90	0.892	0.015
0.50	0.681	0.219	1.00	1.000	0.000

b) Reducción gradual

$$K = \left(\frac{1}{C} - 1 \right)^2 \times \sin \theta, \quad \text{para } \theta < 90^\circ$$

$$K = \left(\frac{1}{C} - 1 \right)^2, \quad \text{para } \theta \geq 90^\circ$$

$$C = 0.63 + 0.37 \times \left(\frac{D}{D_1} \right)^6$$

c) Salida desde un tanque

Acoplamiento recto (a ras de la pared del tanque) $\Rightarrow K = 0.50$

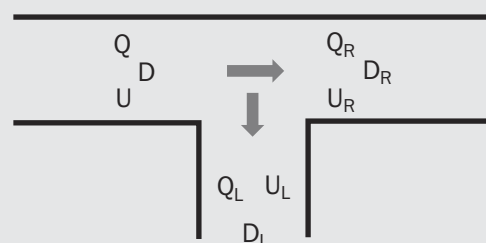
Acoplamiento con tubería entrante $\Rightarrow K = 1.00$

A igual que con los ensanchamientos, D es el diámetro interior de la tubería más estrecha y este valor será el que utilizaremos en la fórmula de h_s .

Tes

Sea una te como la de la Figura L-3, donde llega un caudal Q con una velocidad U el cual se divide en un caudal Q_R que se desplaza a una velocidad U_R por el tramo recto, y un caudal Q_L que se desplaza a una velocidad U_L por el tramo lateral, de igual o diferente diámetro que el recto.

Figura L-3 Pérdidas de carga en una T.



Habrá dos pérdidas de carga singulares, una en el tramo recto y otra en el tramo lateral, para cada una de las cuales existirán los factores K_R y K_L respectivamente. El primero de ellos se calcula según la expresión:

$$K_R = 0.40 \times \left(1 - \frac{U_R}{U}\right)^2$$

mientras que el segundo está dado por la siguiente tabla:

U_L / U	K_L	U_L / U	K_L
0.00	1.00	1.00	2.00
0.20	1.04	1.20	2.44
0.40	1.16	1.40	2.96
0.60	1.35	1.60	3.54
0.80	1.64	2.00	4.60

Los valores de U , U_R y U_L los obtendremos aplicando la ecuación de continuidad. A la hora de aplicar la fórmula de h_s , deberemos utilizar Q_L y D_L para el lateral, y Q_R y D_R para el tramo recto.

Otras pérdidas singulares

Pieza singular	K
Codo a 90�	0.90
Codo a 45�	0.45
Válvula de compuerta abierta	0.19
Válvula de mariposa abierta	0.40
Filtros, venturímetros, aforadores, etc.	Proporcionados por el fabricante

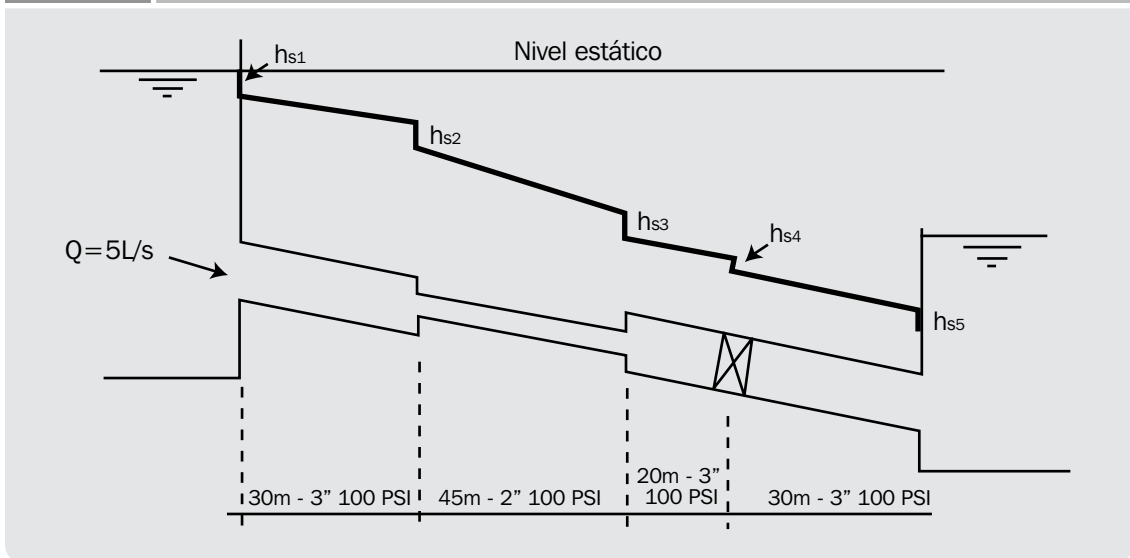
Ejemplo de cálculo

Supongamos una conducción entre dos tanques como la de la Figura L-4, con dos cambios de diámetro y una llave de compuerta.

Para calcular las pérdidas de carga totales h_T de esta conducción daremos los siguientes pasos:

1. Primeramente deberemos ver si es necesario considerar las pérdidas de carga singulares h_s :

Figura L-4 Ejemplo de cálculo de pérdidas de carga singulares.



- Para la tubería de 3" – 100 PSI, el diámetro interior es 84.6 mm, y 1000 veces esta cantidad serán 84.6 m. Como podemos ver en la Figura L-4, las distancias entre la salida del primer tanque y la reducción, entre el ensanchamiento y la llave, y entre la llave y la entrada al segundo tanque son todas inferiores a 84.6 m, luego deberemos considerar todas estas pérdidas singulares.

- Igualmente para la tubería de 2½" – 100 PSI, dado que su diámetro interior es 69.5 mm, la distancia entre la reducción y el ensanchamiento es inferior a 1,000 veces su diámetro (69.5 m).

2. Para la entrada a la tubería desde el primer tanque, dado que el acoplamiento es recto, el coeficiente K tomará un valor de 0.50. La pérdida de carga singular en ese punto será pues:

$$h_{s1} = \frac{0.0826 \times 0.50 \times 0.005^2}{0.0846^4} = 0.02 \text{ mca}$$

3. Para la reducción, considerándola como brusca, deberemos primeramente calcular la relación $(D/D_1)^2$, la cual es igual a $(69.5/84.6)^2 = 0.67$. Interpolando en los valores de la tabla, resulta un valor de $K = 0.123$. La pérdida de carga singular será entonces:

$$h_{s2} = \frac{0.0826 \times 0.123 \times 0.005^2}{0.0695^4} = 0.01 \text{ mca}$$

4. Para el ensanchamiento, considerándolo igualmente como brusco, el valor de K será:

$$K = \left[1 - \frac{69.5^2}{84.6^2} \right]^2 = 0.106$$

Y el de la pérdida de carga singular:

$$h_{s3} = \frac{0.0826 \times 0.106 \times 0.005^2}{0.0695^4} = 0.01 \text{ mca}$$

5. Para la llave de compuerta, K será igual a 0.19, y h_s :

$$h_{s4} = \frac{0.0826 \times 0.19 \times 0.005^2}{0.0846^4} = 0.01 \text{ mca}$$

6. Por último, para la entrada al tanque, K será igual a 1, y la h_s :

$$h_{s5} = \frac{0.0826 \times 1 \times 0.005^2}{0.0846^4} = 0.04 \text{ mca}$$

7. El total de pérdidas de carga singulares de la conducción será:

$$h_s = 0.02 + 0.01 + 0.01 + 0.01 + 0.04 = 0.09 \text{ mca}$$

8. La pérdida de carga continua de la conducción será igual a la suma de cada uno de los tramos de igual diámetro. Considerando unos valores de J de 0.96% para la tubería de 3", y de 2.52% para la de 2", el total de pérdidas de carga por fricción será:

$$h_f = \frac{0.96 \times 30}{100} + \frac{2.52 \times 45}{100} + \frac{0.96 \times 50}{100} = 1.90 \text{ mca}$$

9. La pérdida de carga total será por tanto:

$$h_T = h_f + h_s = 1.90 + 0.09 = 1.99 \text{ mca}$$

Anexo M. Reguladores de presión

Los reguladores de presión son dispositivos que provocan altas pérdidas por fricción y que se utilizan en las tomas cuando es necesario ajustar la presión dinámica a un determinado valor y es imposible lograrlo con el cambio de diámetro de la tubería o manguera (ver Figura 59).

Sólo pueden utilizarse en las tomas de las parcelas después de las llaves que dan salida al agua hacia la parcela. Nunca podrán instalarse con una válvula de cierre aguas abajo de ellos, de modo que no son en ningún caso una alternativa al cambio de diámetros como estrategia para el ajuste de la línea piezométrica que veíamos en el paso 8 del cálculo hidráulico.

Existen dos tipos de reguladores de presión, los comerciales que son fabricados por las principales casas especializadas en riego, y los artesanales. Cada uno tiene su propio método de selección del regulador correcto.

Reguladores comerciales

En las fotos se muestran dos modelos de reguladores de presión de los más habituales en las instalaciones de riego.



Un regulador de presión se caracteriza por las presiones de entrada y caudales que admite, y por la presión de salida que proporciona, y en función de estas características deberemos elegir el regulador adecuado dentro del catálogo del fabricante. Existen reguladores donde puede variarse la presión de salida que proporciona (como el de la izquierda), y otros donde esta presión ya viene establecida desde la fábrica (como el de la derecha). Obviamente, necesitaremos las características técnicas de cada regulador para poder seleccionar el correcto, tal y como sucedía con la selección del aspersor.

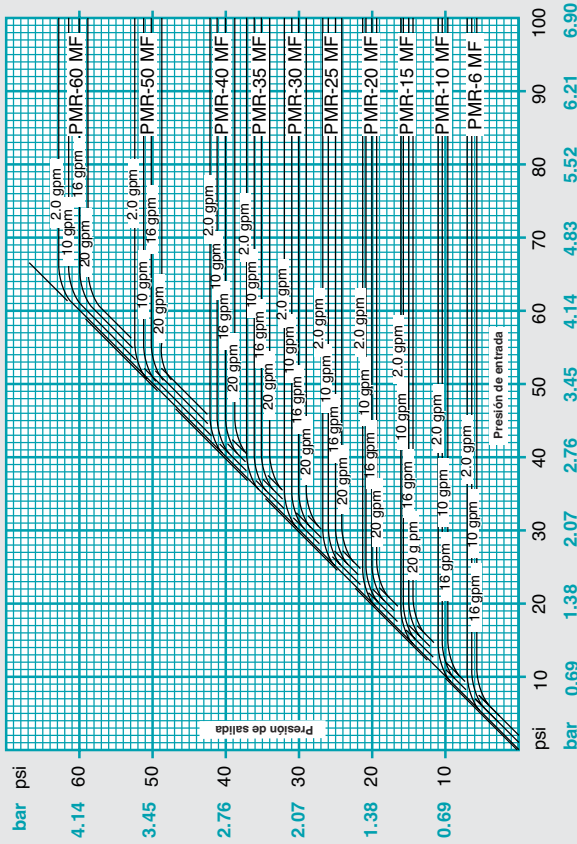
En los catálogos de los fabricantes se proporciona la información técnica de sus modelos de regulador bien en forma gráfica, o bien en forma de tabla.

Por ejemplo, supongamos un regulador cuyo fabricante proporciona la información que aparece en la Figura M-1.

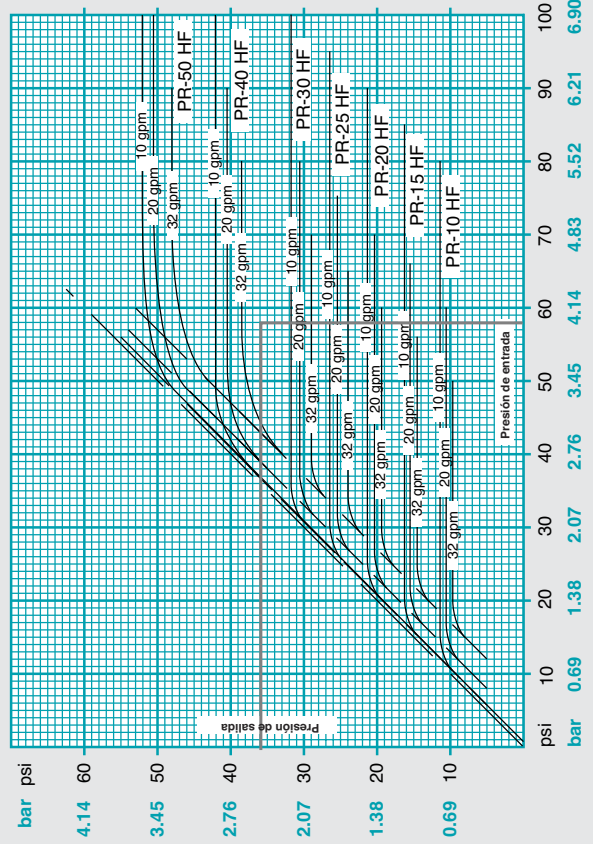


Fuentes: Catálogo en línea de Senninger y página web del Distrito de Aguas Otay.

Modelo	Presión de salida (psi) (bar)		Rango de caudal (gpm)	Rango de caudal (L/s)
	psi	bar		
PMR - 6 MF	6	0.41	4 - 16	0.25 - 1.01
PMR - 10 MF	10	0.69	4 - 16	0.25 - 1.01
PMR - 12 MF	12	0.83	2 - 20	0.13 - 1.26
PMR - 15 MF	15	1.04	2 - 20	0.13 - 1.26
PMR - 20 MF	20	1.38	2 - 20	0.13 - 1.26
PMR - 25 MF	25	1.73	2 - 20	0.13 - 1.26
PMR - 30 MF	30	2.07	2 - 20	0.13 - 1.26
PMR - 35 MF	35	2.41	2 - 20	0.13 - 1.26
PMR - 40 MF	40	2.76	2 - 20	0.13 - 1.26
PMR - 50 MF	50	3.45	2 - 20	0.13 - 1.26
PMR - 60 MF	60	4.14	2 - 20	0.13 - 1.26



Modelo	Presión de salida (psi) (bar)		Rango de caudal (gpm)	Rango de caudal (L/s)
	psi	bar		
PR - 10 HF	10	0.69	10 - 32	0.63 - 2.02
PR - 15 HF	15	1.04	10 - 32	0.63 - 2.02
PR - 20 HF	20	1.38	10 - 32	0.63 - 2.02
PR - 25 HF	25	1.73	10 - 32	0.63 - 2.02
PR - 30 HF	30	2.07	10 - 32	0.63 - 2.02
PR - 40 HF	40	2.76	10 - 32	0.63 - 2.02
PR - 50 HF	50	3.45	10 - 32	0.63 - 2.02

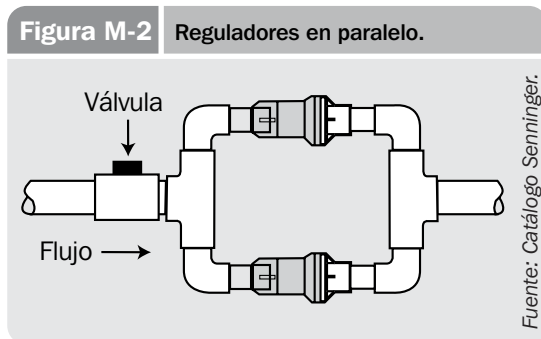


Supongamos además que nos encontramos en un caso semejante al de la Figura 59, con una presión dinámica en la entrada a la toma de 40 mca, una presión deseada de salida de 25 mca (la necesidad de presión dinámica de los aspersores que conectaremos en la toma), y un caudal en la toma de 3 L/s.

El primer paso será seleccionar el regulador según el rango de caudales. Como podemos ver, el problema que encontramos es que el caudal de trabajo del minirriego no está dentro del rango de ninguno de los modelos de regulador, ya que la primera familia de modelos admite un caudal máximo de 1.26 L/s y la segunda de 2.02 L/s. La solución es tan simple como colocar varios reguladores en paralelo, tal y como muestra la Figura M-2:

caudal de 1.5 L/s que ahora sí está en el rango de caudales del aspersor.

Seguidamente trazaremos en la gráfica dos líneas representativas de las presiones de entrada y salida. Como el papel milimetrado de la gráfica está en PSI, conseguiremos mayor precisión si pasamos los mca a PSI. Dividiendo entre 0.7 (ver Anexo B), la presión de entrada es 57 PSI y la de salida 36 PSI. Trazando estas dos líneas en la Figura M-1, podemos ver como en el punto donde se cortan no existe ningún regulador. Lo que haremos será escoger el que rinde la presión de salida inmediatamente superior, por lo que el regulador seleccionado será el modelo PR 40 HF que proporciona una presión de salida de 40 PSI, equivalentes a 27.6 mca.

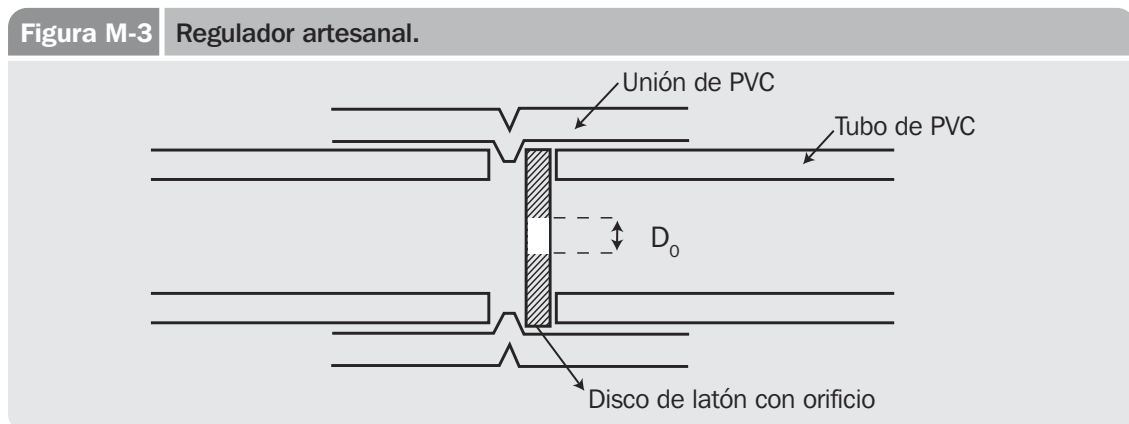


Si no dispusiéramos de las gráficas y sólo de las tablas, simplemente comprobaremos que la presión de salida se encuentra dentro del rango admisible del regulador (este dato no aparece en las tablas del ejemplo), e igualmente seleccionaríamos el regulador con presión de salida inmediatamente superior a la deseada.

Como el caudal del ejemplo es de 3 L/s, se pueden poner dos reguladores de los mayores, cada uno de los cuales conducirá un

Reguladores artesanales

Siempre que existan reguladores comerciales disponibles se utilizarán estos dado su costo



relativamente bajo, y el hecho de que estén diseñados para no obturarse y resistir, hasta cierto punto, golpes de ariete.

Cuando no existan, se podrá construir un regulador como el de la Figura M-3. Como se puede ver, consta de dos trozos de tubo de PVC y una unión del mismo material. Pero en el interior de la unión, en uno de los dos extremos, se coloca un disco de latón o de cualquier otro metal con un orificio circular. El agua, al pasar por el orificio, sufre una gran pérdida de carga que está dada por la expresión:

$$h_f \text{ (mca)} = \frac{4.5 \times Q^2 \text{ (m}^3\text{/s)}}{D_o^4 \text{ (m}^2\text{)}}$$

donde Q es el caudal de la tubería y D_o el diámetro del orificio. Esta expresión sólo es válida si el diámetro del orificio es mayor que el grosor de la pieza de latón.

Podemos pues, despejando D_o de la expresión anterior, calcular el diámetro del orificio que habrá que taladrar en el disco de latón para que cause la pérdida de carga que necesitamos. Convirtiendo además el diámetro del orificio a mm, y el caudal a L/s, queda la expresión:

$$D_o \text{ (mm)} = 21.7 \times \frac{Q^{0.5} \text{ (L/s)}}{h_f^{0.25} \text{ (mca)}}$$

Utilizando el mismo ejemplo que con el regulador comercial, es decir, un caudal de 3 L/s y una pérdida de carga que deseamos lograr de 15 mca (la diferencia entre la presión dinámica disponible, 40 mca, y la deseada, 25 mca), el diámetro de orificio que deberemos perforar en el disco de latón será:

$$D_o = 21.7 \times \frac{3^{0.5}}{15^{0.25}} = 19 \text{ mm}$$

Anexo N. Herramientas para el cálculo hidráulico

- Planilla para el cálculo de los diámetros válidos y la elaboración de la plantilla gráfica.
- Papel milimetrado para su impresión en papel vegetal y posterior construcción de la plantilla gráfica.
- Contenido del CD:
 - Trece de los documentos mencionados en la bibliografía de referencia.
 - Las siguientes hojas de cálculo:
 - 1) Necesidades netas
 - 2) Pérdidas de carga
 - 3) Cálculo de infiltración
 - 4) Cálculo topografía

Se recomienda leer atentamente el documento contenido en el CD sobre las macros de Excel® con el fin de que el funcionamiento de las hojas de cálculo sea el correcto.

Tuberías de PVC

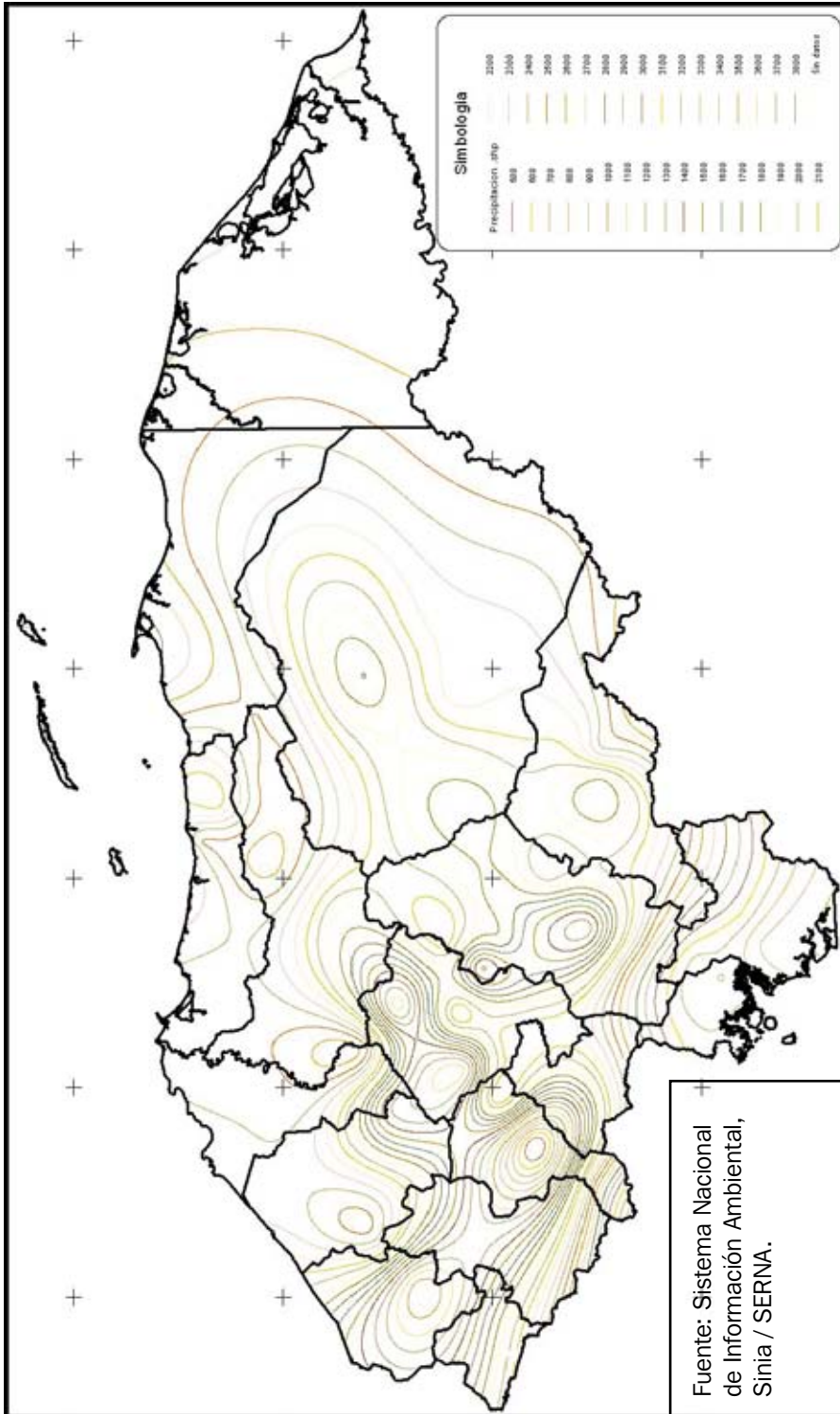
Diám. nominal	SDR	Di (mm)	S (m ²)	U (m/s)	J (%)
½"	13.5	18.2	0.00026		
¾"	17.0	23.5	0.00043		
1"	17.0	29.5	0.00068		
1"	26.0	30.4	0.00072		
1¼"	17.0	37.2	0.00109		
1¼"	26.0	38.9	0.00119		
1¼"	32.5	39.1	0.00120		
1½"	17.0	42.6	0.00142		
1½"	26.0	44.6	0.00156		
1½"	32.5	45.2	0.00161		
1½"	41.0	45.9	0.00166		
2"	17.0	53.2	0.00222		
2"	26.0	55.7	0.00244		
2"	32.5	56.6	0.00252		
2"	41.0	57.4	0.00259		
2½"	17.0	64.4	0.00326		
2½"	26.0	67.4	0.00357		
2½"	32.5	68.6	0.00369		
2½"	41.0	69.5	0.00379		
3"	17.0	78.4	0.00483		
3"	26.0	82.0	0.00529		
3"	32.5	83.4	0.00546		
3"	41.0	84.6	0.00562		

Mangueras de PE no normalizado

Diám. nominal	SDR	Di (mm)	S (m ²)	U (m/s)	J (%)
½"	26	12.7	0.00013		
¾"	26	19.1	0.00029		
1"	26	25.4	0.00051		
1¼"	26	31.8	0.00079		
1½"	26	38.1	0.00114		
2"	26	50.8	0.00203		
3"	26	76.2	0.00456		

Anexo O. Mapas de precipitación y temperatura media anual de Honduras

Mapa O1: valores de precipitación.



Mapa 01: Temperatura medio ambiente.

