

**HIDROLOGIA Y RIEGO  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA**



**GUIA DE PROBLEMAS  
Y  
TRABAJOS PRACTICOS**

*VERSION 1.1*

**2011**

**Universidad Nacional del Sur  
ARGENTINA**

## INTRODUCCION

La presente guía tiene por objetivo entrenar al alumno en los problemas aplicados del riego y drenaje dado que la magnitud de los temas y la profundidad de los mismos, no permiten su pleno desarrollo en el tiempo teórico asignado a las Cátedras. De este modo y con la actualización permanente por incorporación de material nuevo año tras año, se podrá llegar a un nivel aceptable de experiencia en lo aplicado que facilite no solo un adecuado entendimiento de lo abstracto, sino además un mejor desempeño en la vida profesional.

***Ramón Mauricio Sánchez , M.Sc.***  
Hidrología y Riego  
Profesor Adjunto a Cargo de la Cátedra

## **INDICE DE TEMAS**

- 1. HIDROLOGIA.**
- 2. CALIDAD DEL AGUA-SALES**
- 3. FISICA DE SUELOS-LAMINA.**
- 4. EVAPOTRANSPIRACION.**
- 5. INFILTRACION.**
- 6. ACUIFEROS-BOMBAS Y MOTORES.**
- 7. HIDRAULICA-CANALES.**
- 8. RIEGO POR ASPERSION.**
- 9. RIEGO POR GRAVEDAD.**
- 10. RIEGO LOCALIZADO.**
- 11. DRENAJE.**
- 12. TRABAJOS PRACTICOS.**
- 13. TEMAS PRACTICOS GENERALES**
- 14. AGRADECIMIENTOS.**
- 15. BIBLIOGRAFIA**

## 1. HIDROLOGIA.

### AFORO-ESCURRIMIENTO

El canal de vidrio de ensayo perteneciente al Laboratorio de Hidráulica, tiene ancho de 20 cm y el tirante medido es de 30 cm. El único molinete ubicado en su correspondiente altura, registró 10 vueltas/segundo. ¿Cuál es el gasto del mismo?.

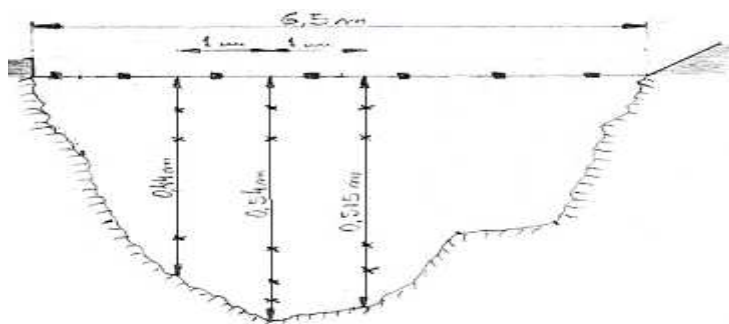
Datos del molinete:  $V=0.056 * n + 0.034$

$$V = 0.056 * 10 + 0.034 = 0.59 \text{ m/s}$$

$$\text{Sección (S)} = 0.20 * 0.30 = 0.06 \text{ m}^2$$

$$\text{Caudal (Q)} = 0.59 * 0.06 = 0.035 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cuál es el gasto que fluye por el polígono acotado del dibujo correspondiente a la sección de un arroyo, si la velocidad media del mismo medida con el molinete es de 0.47 m/s.



$$\text{Prof. media} = (a+2b+c)/4 = 0.44+(2*0.54)+0.515/4=0.51 \text{ m}$$

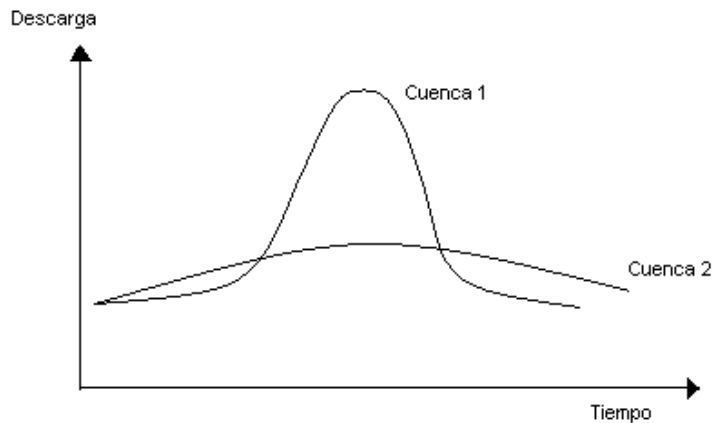
$$S = 0.51 * 2 = 1.02 \text{ m}^2$$

$$Q = 1.02 * 0.47 = 0.48 \text{ m}^3/\text{s}$$

## CUENCA

Dibuje de acuerdo a las coordenadas que se adjuntan, la descarga de una tormenta homogénea que cubriría toda la superficie de una cuenca:

- Quando la cuenca posee forma circular
- Quando su diseño es alargado
- Coloque las unidades correspondientes a los ejes del gráfico



Rta:

- Cuenca 1 es la de forma circular.  
Cuenca 2 es la de forma alargada.  
Unidades: caudal vs tiempo

## AFORO

- ¿Que significa aforar una corriente de agua?
- Condiciones que debe reunir un tramo del cauce para ser aforado.

Rta: a) Significa determinar el volumen de agua que pasa por una sección transversal del cauce en un tiempo dado.

b) Condiciones del cauce:

- Que sea recto

- Sección regular
- Lecho impermeable
- Márgenes estables y libres de vegetación
- Libre de efecto remanso

En una estación de aforo que variable auxiliar será necesario medir para ingresar en la curva de gasto y obtener el valor del caudal en forma directa. Qué instrumentos se utilizan para medir dicha variable.

Rta: Nivel del agua en el cauce "h" (altura del agua) que se mide con un limnómetro o limnógrafo.

Si quiero realizar una sola medición de la velocidad de la corriente de un arroyo. ¿A qué altura debo colocar el molinete? ¿Qué está representando esta medición?

Rta: Se coloca a una altura de 0.6 % del pelo de agua ( $0.6 \cdot h$ ) y este valor representa la velocidad media del curso.

## 2. CALIDAD DE AGUA-SALES:

1) Un cultivo de maíz que tiene una tolerancia a la salinidad en el extracto de saturación de 1.7 dS/m. se riega por aspersión cada siete días con un agua de 1.1 dS/m. . La Etc es de 6.5 mm./día y la relación de percolación (Rp) es del 75 % . Que cantidad de agua adicional debo agregar para lixiviación en forma de *Lámina bruta* , sin tener en cuenta la precipitación , la escurrentía , ni el factor de rociado (Fr)?.

Coeficiente de uniformidad (Cu) = 0.85 ; Eficiencia de lavado =100 %

Solución :

1) Cálculo de la demanda :

$$\text{Lámina neta} = \text{Etc} - \text{Pp efectiva} = \text{Etc} - 0$$

$$\text{Etc} \times \text{días} = 7 \text{ días} \times 6.5 \text{ mm/día} = 45.5 \text{ mm}$$

$$45.5 \text{ mm} = 455 \text{ m}^3/\text{ha}$$

La relación de percolación es de 0.75

2) Cálculo del requerimiento de lixiviación

$$RL = \frac{CEa}{5CEe - CEa} = \frac{1.1}{(5 \times 1.7) - 1.1} = 0.15$$

Factor 5 para riego presurizado y 2 para riego gravitacional.

Siendo CEa = Cond Eléctrica del agua de riego.

CEe = Cond Eléctrica del extracto de saturación (el valor sale de las tablas FAO de tolerancia del maíz a la salinidad).

$$\text{Factor de lavado FL} = 1 - 0.15 = 0.85$$

Se cumple que  $R_p < FL$  (No hay que lavar)

$$\text{Lámina bruta} = \frac{\text{Lámina neta}}{\text{Eficiencia}} = \frac{Ln}{R_p \times CU} = \frac{455}{0.75 \times 0.85} = 713.72 \text{ m}^3 / \text{ha}.$$

2) Un cultivo de tomate se riega con una conductividad eléctrica 0.2 dS/m y un volumen de 4000 m<sup>3</sup>/ha. Para mejorar la infiltración se desea aumentar 2 meq/lit el contenido de Ca, que cantidad de yeso en kg necesito añadir al agua de riego, sabiendo que el mismo tiene un 70% de pureza?

Solución:

$$2 \text{ meq de Ca/litro} = 40 \text{ mg de Ca/litro} = 40 \text{ gr de Ca/m}^3$$

En el volumen de riego de 4000 m<sup>3</sup>/ha se requieren

$$4000 \times 40 = 160.000 \text{ g.} = 160 \text{ kg de Ca}$$

Peso molecular del yeso (SO<sub>4</sub> Ca . 2H<sub>2</sub> O)= 172 grs.

El peso molecular de Ca<sup>++</sup> es 40

$$\frac{172}{40} = \frac{x \text{ kg de yeso}}{160} \rightarrow x = 688 \text{ grs de yeso puro}$$

Es una relación :  $\frac{\text{grs de yeso}}{\text{grs de Ca}}$  como  $\frac{x = \text{Kg de yeso puro}}{\text{Kg de Ca}}$

Como tiene un grado de pureza del 70%

$$\frac{688}{0.7} = 982.8 \text{ kg de yeso, en función de esa relación}$$

Eficiencia de los materiales utilizados como enmiendas:

100 kg de yeso = 61 kg SO<sub>4</sub> H<sub>2</sub> = 19 kg de S. Todos con un 100% de pureza.

3 ) Cálculo de los kg. de yeso a agregar /ha.

Cuantos Kg de yeso por hectárea previo a la lixiviación debo agregar a un suelo para disminuir el PSI (Porcentaje de Sodio Intercambiable ) de 18% a 10 % , si la CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) es de 10meq/100grs, la densidad aparente es de 1.38 Mg/m<sup>3</sup> y la profundidad de recuperación se estima en 20 cm. de profundidad.

$$\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O} = 172 \text{ gr. o sea } 1\text{meq} = 86 \text{ mg.}$$

$$\text{meq. /100 gr.} = \{(\text{CIC meq/ 100gr.}) (\text{PSI inicial} - \text{PSI final})\} / 100 =$$

$$\text{meq. /100 gr.} = \{(10 \text{ meq/ 100gr.}) (18 \text{ inicial} - 10 \text{ final})\} / 100 =$$

$$\text{meq/100gr.} = 0.8$$

$$\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O} = \{(0.8 \times 0.086) / 100 \text{ Mg}\} \times 1.38 \text{ Mg/m}^3 \times 10.000 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ m} =$$

$$\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O} = \mathbf{1.9 \text{ tn /ha.}}$$

### 3. FISICA DE SUELOS - LAMINA

1) Contenido de H° en el suelo

Calcule el volumen de agua disponible en una ha de suelo donde se han tomados los siguientes datos:

$$\delta_{ap.} = 1.25 \text{ Mg/m}^3$$

Profundidad efectiva = 0.5 m.

H° a Cc. = 21.5% sss (sobre suelo seco)

H° a Pmp = 12.2% sss

Solución:

Se calcula el peso del suelo en 1ha y a solo 0.5m de profundidad

$$10.000 \times 0.5 \times 1.25 = 6250 \text{ T}$$
$$\text{m}^2 \times \text{m} \times \text{Mg/m}^3 = \text{Mg} = \text{T} = (\text{kg} \times 1000)$$

Agua disponible ó agua útil

$$Cc - Pmp = 21.5 - 12.2 = 9.3\% = 0.093$$

$$\text{Vol. agua disponible o útil} = 6250 \times 0.093 = 581.2 \text{ T} = \mathbf{581.2 \text{ m}^3}$$

$$\frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{Kg} \times 1000}{\text{m}^3} = \frac{\text{T}}{\text{m}^3} =$$

$$1 \text{ lt./m}^2 = 1 \text{ mm. de lámina}$$

$$\text{Densidad del agua} = 1 \frac{\text{Mg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{T}}{\text{m}^3}$$

2) Calcular la reserva remanente en m<sup>3</sup>/ha en el suelo, cuando se ha agotado el 40% del agua útil

$$\delta_{ap.} = 1.25 \text{ Mg/m}^3$$

$$P. = 0.5 \text{ m.}$$

$$Cc. = 21.5\%$$

$$Pmp = 12.2\%$$

Fracción remanente en el suelo: 60%

Lámina neta de reposición: 40 %

Solución:

Calculo el volumen 1 ha. de suelo:

$$\text{Volumen} = \text{Superficie} \times \text{Profundidad} = \\ 10.000 \times 0.5 = 5.000 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso} = \text{Volumen} \times \delta_{ap} = 5.000 \times 1.25 = 6.250 \text{ T}$$

$$\text{Agua útil} = 21.5 - 12.2 = 9.3\% \text{ en } 0.5\text{m.}$$

$$\text{Fracción remanente en el suelo} = 0.93 \times 0.6 = 0.558$$

$$\text{Lámina neta de reposición} = 0.93 \times 0.4 = 0.372$$

La suma de la fracción remanente en el suelo y la lámina neta de reposición es igual al agua útil

$$0.558 + 0.372 = 0.930 \text{ ó } 9.3\% \text{ contenido hídrico sss}$$

## **PROBLEMAS CON TENSIOMETROS**

**Potencial Total** :  $\varphi_t = \varphi_g + \varphi_p + \varphi_0$  = Gravitacional (presión de la columna de agua en bares)+Mátrico ( potencial en la cápsula de porcelana )+ Altura manómetro al suelo (despreciable).

**Equivalencia** :  $1\text{bar} = 1000 \text{ cm } H_2O$

1)Un tensiómetro (A) está a 50 cm de profundidad y marca una tensión de 40 cbar . Otro (B) esta a 70 cm y marca 40 cbar. Indicar en que sentido sería el flujo .

El flujo de agua en el suelo se da en el sentido decreciente del potencial hidráulico.

$$\begin{aligned} \phi_H A &= (\phi_p)A + (\phi_g)A = \\ &= -\left(0.40 - \frac{50}{1000}\right) - \frac{50}{1000} = -0.40 \text{ bar} \end{aligned}$$

$$\phi_H B = (\phi_p)B + (\phi_g)B =$$

$$-\left(0.40 - \frac{70}{1000}\right) = -0.40 \text{ bar}$$

$$\phi_H = (\phi_H)B - (\phi_H)A = 0$$

**No hay flujo**

2) Un tensiómetro marca en su vacuómetro 35 cbar . Siendo la distancia del mismo a la cápsula cerámica de 100cm, cual será el potencial mátrico en la misma .

Tensión en el vacuómetro = 0.35 bar

$$\text{Tensión en la cápsula} = \left(0.35 - \frac{100}{1000}\right) = 0.25 \text{ cbar}$$

- 3) Existe un tensiómetro instalado a 50 cm de profundidad , cuyo vacuometro indica 50cb Cuales serán los valores de los potenciales  $\varphi_g, \varphi_p, \varphi_t$ , si  $\varphi_o$  es despreciable ?.

$$\varphi_g = -50 \text{ cm de agua} = -50 \text{ cm de agua} \times \frac{1 \text{ bars}}{1000 \text{ cm de agua}} = -0.05$$

$$\varphi_p = -0.50 \text{ bar} + \frac{50}{1000} = -0.50 + 0.05 = -0.45 \text{ bar}$$

$$\varphi_t = \varphi_g + \varphi_p + \varphi_o = -0.05 - 0.45 = -0.50 \text{ bar}$$

#### 4. EVAPOTRANSPIRACION

##### 1) Programación de riego:

Calcular la lámina de riego a aplicar a un cultivo considerando la Pe (precipitación efectiva)

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Total
Etc (mm)	70	120	180	230	170	770
Pe (mm)	26	71	39	2	14	152

Solución:

Lámina de riego= Etc – Pe

$$\text{Octubre} = 70 - 26 = 44$$

$$\text{Noviembre} = 120 - 71 = 49$$

$$\text{Diciembre} = 180 - 39 = 141$$

$$\text{Enero} = 230 - 2 = 228$$

$$\text{Febrero} = 170 - 14 = 156$$

$$\text{TOTAL} = \mathbf{618 \text{ mm}}$$

2) Un suelo tiene 70 cm de profundidad , una CC = 26% y un PMP de 12 % . Si el suelo demora 20 días en secarse . Cual es la estimación de la Evapotranspiración del Cultivo Etc (mm/día) para ese lugar?

Resolución

$$\text{Au (agua útil)} = \text{CC} - \text{PMP} = 26 - 12 = 14\%$$

$$\text{Lamina neta calculada} = \frac{14 \times 700}{100} = 98 \text{ mm}$$

$$98 \text{ mm} / 20 \text{ días} = 4.9 \text{ mm/día}$$

3) En un sistema de riego con una eficiencia de aplicación del 50% , se aplica una lámina bruta de 180 mm. . En el área precipitan efectivamente 32mm. en el mes de Enero y el Kc estimado para el lugar y mes es = 1.01 . Cual es la evapotranspiración del cultivo de referencia y la lámina neta calculada?.

$$L_b = L_n / \text{eficiencia} =$$

$$L_n = L_b \times E_f = 180 \times 0.5 = 90\text{mm.}$$

$$L_{\text{neta calculada}} = E_{tc} - pp \text{ efectiva}$$

$$90\text{mm} = E_{tc} - 32\text{mm}$$

$$E_{tc} = 122\text{mm.}$$

$$E_{tc} = E_{to} \times 1.01 \quad E_{to} = 122 / 1.01 = 120.79 \text{ mm}$$

## 5. INFILTRACION :

1: Calcular el tiempo que se demora en infiltrar una lámina de agua de 8,4 cm si la ecuación de lámina infiltrada del suelo es:  $I = 0,587 t_o^{-0,51}$ , donde  $I$  es la lámina infiltrada (cm) y  $t_o$  el tiempo de infiltración o tiempo de contacto agua-suelo (min).

*Reemplazando en la función de lámina:*

$$8,4 = 0,587 t_o^{-0,51}$$

$$t_o = 184,5 \text{ min}$$

*El tiempo que se demora en infiltrar una lámina de 8,4 cm es de 184,5 min.*

2: Se tiene un campo con suelo de textura franca, cuya velocidad de infiltración está definida por  $i = 23,0 t_o^{-0,52}$ , donde  $i$  representa la velocidad de infiltración en cm/h y  $t_o$  el tiempo de oportunidad o tiempo de contacto del agua con el suelo, en min. El cultivo que se va a instalar tiene una profundidad de raíces es 90 cm. Las constantes hídricas del campo son:  $v_{CC} = 32 \%$ ,  $v_{PM} = 16 \%$ . Además, el criterio con el que se van a aplicar los riegos es permitir un descenso del contenido de humedad hasta un 50% de la humedad disponible. Se pide determinar la función de lámina infiltrada y el tiempo necesario para restituir la humedad en el perfil enraizado.

*Cálculo de la lámina de agua a aplicar:*

$$La = (v_{CC} - v_{PM}) / 100 \times Prof \times DT$$

$$La = (32 - 16) / 100 \times 90 \times 50$$

$$La = 7,2 \text{ cm}$$

*Cálculo de la función de la lámina infiltrada:*

*Relacionando las funciones de velocidad y de lámina, para obtener la ecuación de lámina infiltrada:*

*Donde  $i$  = Vel de inf.;  $t_0$  = Tiempo de inf;  $a$  = K inf. al origen*

$$i = a t_0^b \qquad I = \frac{a}{60(b+1)} t_0^{(b+1)}$$

$$i = 23,0 t_0^{-0,52}$$

$$I = \frac{23}{60(-0,52+1)} t_0^{(-0,52+1)}$$

$$I = 0,8 t_0^{0,48}$$

*Cálculo del tiempo de infiltración:*

$$I = 0,8 t_0^{0,48}$$

$$7,2 = 0,8 t_0^{0,48}$$

$$t_0 = 98 \text{ min}$$

*El tiempo necesario para infiltrar una lámina de 7,2 cm es de 98 min.*

## 6. ACUIFEROS –BOMBAS Y MOTORES

I. Debo instalar una bomba en las márgenes de un río la cual levanta un caudal de 170 m<sup>3</sup>/hora para regar un cultivo de hortalizas por surco. La altura de la barda es de 12m, cual será la potencia de la bomba en C.V. con un rendimiento del 80%.

$$Potencia = \frac{Q \times \gamma \times H}{Factor \times \eta} =$$

$$Potencia = \frac{Q (m^3/seg) \times \gamma (kg/m^3) \times H (m)}{(Kgm/seg) \times Ef \text{ total}} =$$

$$factor \frac{Kgm}{seg} = \frac{Kg \times m}{seg} = 75 \text{ ó } 76$$

CV = factor 75

HP = factor 76

$$Potencia = \left( \frac{\frac{m^3}{seg} \times \frac{Kg}{m^3} \times \frac{m}{1}}{\frac{Kg \times m}{seg.}} \right) = \frac{Kg \times m}{seg}$$

$$Respuesta : \frac{(0.047) \times 1000(\gamma = 1) \times 12}{75 \times 0.80} = \frac{564}{5.6} = 10.07 \text{ HP}$$

II. Calcular el caudal de bombeo si la potencia de la bomba es de 33 HP , la eficiencia del motor es del 85% y la eficiencia de la bomba es del 78% y la altura que debo alcanzar es de 33m.

$$Q = \frac{\frac{\text{Kg} \times \text{m}}{\text{seg}}}{\text{m} \times \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} (\text{para el agua } 1\text{Kg} = 1\text{m}^3)} =$$

**Respuesta**  $Q = \frac{33 \text{ HP} \times 75 \times 0.85 \times 0.78}{33\text{m} \times (\gamma = 1000)} = 0.04972 \text{m}^3 / \text{seg}.$

**III.** Una bomba cuya relación (altura/caudal) indica 50 m.c.a a 50.000 lt/h , Impulsa un caudal  $0.0138 \text{ m}^3/\text{s}$  por una tubería de 0.10m y 800 m de longitud horizontal . Cual será la presión en m.c.a al final de la tubería si la pérdida de carga en mca es  $\Delta h = 0.01 \frac{LV^2}{D2g}$

Rta:

Sección:  $\pi r^2 = 0.00785 \text{ m}^2$

$Q = AV \quad 0.0138 \text{ m}^3/\text{s} = 0.00785 \cdot V \quad \Rightarrow V = 1.76 \text{ m/s}$

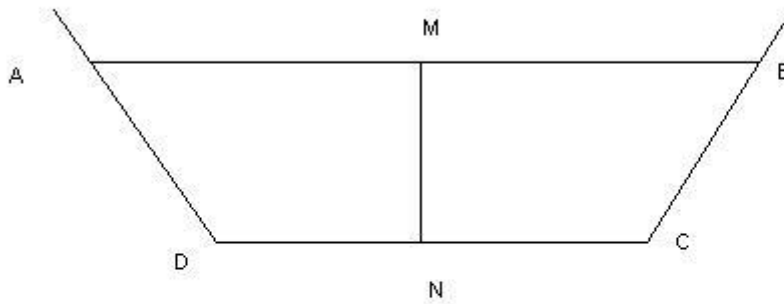
$$\Delta h = 0.01 \frac{800 \cdot 1.76^2}{0.1 \times 2 \times 9.8} = 12.6$$

$P_{\text{final}} = 50 \text{ (al inicio)} - 12.6 = 37.3 \text{ al final}$

## 7. HIDRAULICA CANALES

### CALCULO DE CAUDALES EN CONDUCCIONES ABIERTAS

1) Calcule el caudal conducido por una acequia **trapezoidal** cuyas medidas son:



$$\begin{aligned} AB &= 1.20 \text{ m.} \\ DC &= 0.70 \text{ m.} \\ MN &= 0.50 \text{ m.} \end{aligned}$$

Y el tiempo que un flotador tarda en recorrer 10 m de la misma es de 20seg.

Solución:

$$S = \frac{AB + DC}{2} \cdot MN$$

$$S = \frac{1.20+0.7}{2} \times 0.50 = 0.475 \text{ m}^2$$

$$\text{Vel. Superficial} = \frac{\text{Espacio}}{\text{Tiempo}} = \frac{10}{20} = 0.5 \text{ m/seg.}$$

$$Q = S \times V = 0.475 \text{ m}^2 \times 0.5 \text{ m/seg} = 0.2375 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

2) Se ha de proyectar un canal de tierra de **sección trapezoidal** que conducirá  $4.2 \text{ m}^3/\text{s}$  a una velocidad de  $0.6 \text{ m/s}$  en un suelo franco cuya relación de talud es  $1.5 : 1$  y la base de fondo proyectada es  $1.70 \text{ m}$ . Calcule la sección (S) el talud (t) y el perímetro de mojado (p).

a) Cálculo de la sección :

$$Q = S \cdot V \quad S = 4.2 \text{ m}^3/\text{seg} / 0.6 \text{ m/s} = 7 \text{ m}^2$$

b) Cálculo del tirante :

$$h = \frac{-bf \pm \sqrt{bf^2 - 4mS}}{2m} = \frac{-1.7 + \sqrt{(1.7)^2 - 4(1.5)(-7)}}{2(1.5)}$$

$$h = 1.51 \text{ m}$$

c) Cálculo del talud :

$$t = h \sqrt{m^2 + 1} = 1.51 \sqrt{1.5^2 + 1} \quad h = \text{tirante}$$

d) Cálculo del perímetro de mojado

$$p = bf + 2t = 1.7 + 2 \cdot (2.72) = 7.14 \text{ m.}$$

3) Calcular la pendiente de un canal que presenta una sección de  $S = 1.88 \text{ m}^2$ , el perímetro de mojado  $P_m = 5.1$ ,  $V_m = 0.5 \text{ m/s}$  y  $n = 0.0225$  según tablas.

$$i = 1 \text{ m/km.} = 1/1000 \text{ m/m} = 0.001 \text{ m/m}$$

$$\text{Radio hidráulico (R)} = S / Pm = 1.88 \text{ m}^2 / 5.1 \text{ m} = 0.37 \text{ m}$$

$$Vm = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} =$$

$$i = \frac{(n \cdot V \text{ m/s})^2}{R^{4/3}} = \left( \frac{Vm \cdot n}{R^{4/3}} \right)^2 =$$

$$i = \frac{(0.5 \text{ m/s} \cdot 0.0225)^2}{(0.37)^{4/3}} \cong 0.5 \text{ m/km.}$$

4). En el proyecto de un canal , el caudal continuo a suministrar es de 1.2 m<sup>3</sup>/seg con una velocidad V = 0.5 m/seg , una relación de talud 1.5: 1 . Determine la base de fondo (Bf) y ancho de espejo de agua para la condición de mínima infiltración (Bs).

$$S = Q/V = 1.2/0.5 = 2.4 \text{ m}^2 \quad (1)$$

También podemos expresar

$$S = Bf \cdot h + m \cdot h^2 = \quad (2)$$

h = tirante

$$\frac{Bf}{h} = \frac{4 \cdot \text{tg } \theta}{2} \quad (3)$$

$$m = 1.5 \quad \theta = 33^\circ 40'$$

$$Bf = h \cdot \frac{4 \text{ tg } \theta}{2} =$$

$$Bf = h \cdot 1.211$$

Reemplazando en (2)

$$S = h \cdot 1.211 \cdot h + m \cdot h^2 =$$

$$S = (1.211 + 1.5) \cdot h^2 = 2.7 h^2$$

Reemplazando S de (1)

$$2.4 \text{ m}^2 = 2.7 h^2$$

$$h = \sqrt{\frac{2.4}{2.7}} = 0.94$$

$$\text{De (3)} \quad Bf = h \frac{4 \operatorname{tg} \theta}{2} = 0.94 \cdot 1.211 = 1.14$$

$$Bf = \mathbf{1.14 \text{ m}}$$

$$Bs = bf + 2 \cdot m \cdot h = 1.14 + (2 \cdot 1.5 \cdot 0.94) = \mathbf{3.96 \text{ m}}$$

5) En el problema anterior calcule la revancha ( r ) , ancho de coronamiento (AC) y ancho de canal (Bm).

a) Cálculo de la revancha

$$r = 1/3h = 1/3 (0.94) = 0.3 \text{ m} \quad \mathbf{r = 0.3 \text{ m.}}$$

b) Cálculo de ancho de canal .

$$Bm = bf + 2 \cdot m \cdot H \quad 1.14 + 2 \cdot (1.5) \cdot (h+r) = 1.14 + 2 \cdot (1.5) \cdot (1.24)$$

$$Bm = 1.14 + (2 \cdot (1.5) \cdot (1.24)) = \mathbf{4.86 \text{ m.}}$$

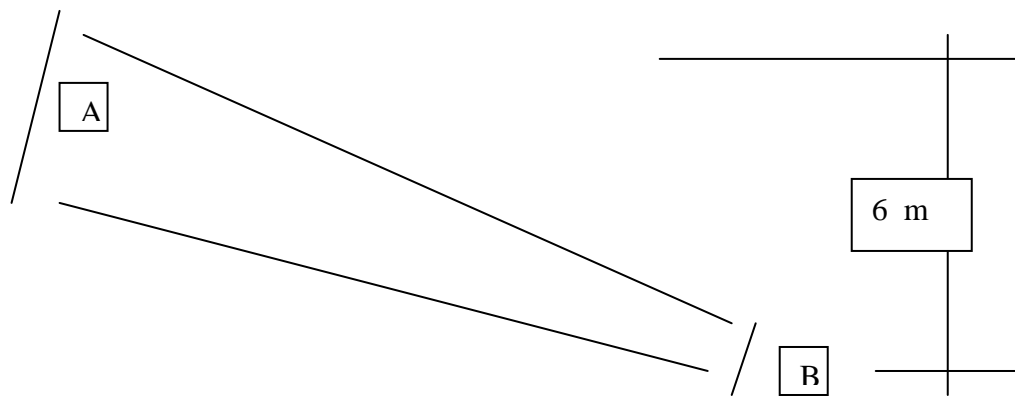
c) Ancho de coronamiento estimando una banquina (a) de 1.80m

$$AC = 2 \cdot (a) + Bm = 2 \cdot (1.80) + 4.86 = 8.46 \text{ m}$$

$$\mathbf{AC = 8.46}$$

### **Tuberías: Aplicación de la Ecuación de continuidad y del Teorema de Bernouilli**

1) Una tubería tiene un diámetro de 0.4 m. en la sección que pasa por el punto A y de 0.30 m. en la sección que pasa por el punto B. La diferencia de cotas entre A y B es 6 m.. La presión del agua en A es de 1 Kg./cm<sup>2</sup> y en B de 0.5 Kg./cm<sup>2</sup>. Calcule el caudal sin tener en cuenta las pérdidas de carga.



Solución:

Datos:  $D_A = 0.4$      $S_A = \frac{\pi}{4} \cdot D_A^2 = 0.7854 \times 0.4^2 = 0.1257 \text{ m}^2$

$D_B = 0.3 \text{ m}$      $S_B = \frac{\pi}{4} \cdot D_B^2 = 0.7854 \times 0.3^2 = 0.0707 \text{ m}^2$

$Z_A = 6 \text{ cm.}$

$Z_B = 0 \text{ m.}$

$P_A = 1 \text{ Kg./cm}^2 = 10.000 \text{ Kg./cm}^2$

$P_B = 0.5$

$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$

$g = 9.8 \text{ m/seg.}^2$

**Eq. de continuidad**

$Q_A - S_A \times V_A = S_B \times V_B$

$V_A = \frac{Q}{S_A} = \frac{Q}{0.1257}$

$$V_B = \frac{Q}{S_B} = \frac{Q}{0.0707}$$

### Teorema de Bernoulli

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g}$$

$$6 + \frac{10.000}{1.000} + \frac{(Q/0.1257)^2}{2 \times 9.8} = 0 + \frac{5000}{1000} + \frac{(Q/0.0707)^2}{2 \times 9.8}$$

$$16 + \frac{Q^2}{0.3097} = 5 + \frac{Q^2}{0.098}$$

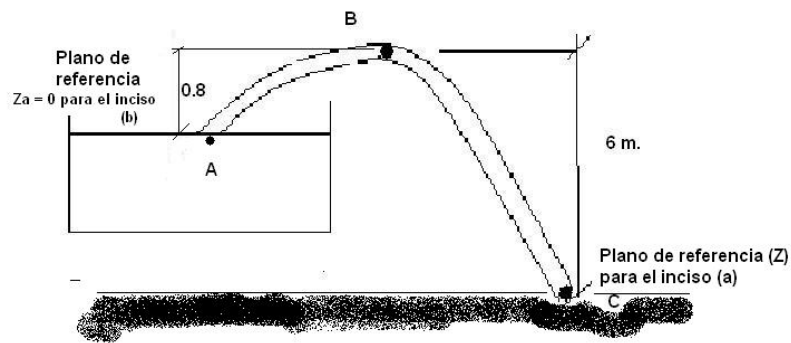
$$Q = 1.26 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

- I. Un depósito descarga por medio de un sifón. La diferencia de nivel entre la superficie libre (A) y el punto más alto del mismo es de 0.80 m. y el desnivel entre este y la salida (C) es de 6 m.. El diámetro interior del tubo es de 0.1 m. y las pérdidas de carga son: 0.3 m entre A y B y 0.5 entre B y C. Calcule:

- a) La velocidad dentro del sifón
- b) La presión en el punto (B)
- c) El caudal circulante

**La presión atmosférica es de 0.8 Kg./cm<sup>2</sup>**

**La diferencia entre la sup libre y el punto mas alto también es 0.8 (m.)**



Solución:

a) Cálculo de la velocidad del agua dentro del sifón:

Se aplica Bernoulli entre A y C

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} = Z_C + \frac{P_C}{\gamma} + \frac{V_C^2}{2g} + h_{A-C}$$

$$Z_A = 6 - 0.8 = 5.2 \text{ m}$$

$$\frac{P_A}{\gamma} = \frac{P_C}{\gamma} \quad (\text{Los puntos A y C están a la presión atmosférica})$$

$$V_A = 0 \quad (\text{El punto A está inmóvil})$$

$$Z_C = 0$$

$$h_{A-C} = 0.30 + 0.50 = 0.80 \text{ m.}$$

$$g = 9.8 \text{ m/seg.}^2$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$5.2(\text{es } Z_A) = \frac{V_c^2}{2 \times 9.8} + 0.80 (\text{es } h_{AC})$$

$$V_c = \sqrt{19.6 \times 4.4} = 9.28 \text{ m/seg.}$$

b) Cálculo de la presión en el punto B

Aplicando Bernouilli entre A y B y pasando el plano de comparación por A.

$$Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + h_{A B}$$

$$Z_A = 0$$

$$P_A = 0.8 \text{ Kg./cm}^2 = 8000 \text{ Kg/m}^2$$

$$V_A = 0$$

$$Z_B = 0.80 \text{ m.}$$

$$V_B = V_c = 9.28 \text{ m/seg.}$$

$$g = 9.8 \text{ m/seg.}^2$$

$$h_{A B} = 0.30 \text{ m.}$$

$$\frac{8000}{1000} (\text{Conversión de } 0.8 \text{ kg/cm}^2 \text{ a tn/m}^2 = 1000/10000)$$

$$\frac{8000}{1000} = 0.8 + \frac{P_B}{\delta} + \frac{(9.28)^2}{2 \times (9.8)} + 0.30 \rightarrow \frac{P_B}{\gamma} = 3.51 \text{ m.}$$

c) Cálculo del caudal:

$$Q = S \times V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times V = \frac{\pi}{4} \times (0.1)^2 \times 9.28 = 0.028 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

## 8 RIEGO POR ASPERSIÓN.

Calcular el caudal de un equipo de riego por aspersión, que aplica una lámina de 55 mm en una superficie de 12 ha de girasol. Las jornadas son de 8 horas diarias con intervalos de riego de 11 días.

$$Q(m^3/ha/hs) = \frac{lam(mm) * 10 * Sup(ha)}{\text{tiempo (hs)}}$$

$$Q(m^3/ha/hs) = \frac{55(mm) * 10 * 12(ha)}{11 * 8 (hs)}$$

## 9. RIEGO POR GRAVEDAD.

### Cálculo del Intervalo de Riego

1) Un suelo que posee 1.45 Mg/m<sup>3</sup> y una plancha de calcáreo a 0.9 m, muestra una capacidad de campo de 24% y un Pmp de 8%. Calcule el intervalo de riego si la evapotranspiración del lugar es 8mm/día y el riego se produce cuando resta un 30% del agua útil.

I. Cálculo del volumen de suelo:

$$V = \text{Superficie} \times \text{Profundidad} = 10.000 \text{ m}^2 \times 0.9 \text{ m} = 9000 \text{ m}^3$$

$$d = \frac{P}{V} \text{ luego } 1.45 \text{ Mg/m}^3 \times 9000 \text{ m}^3 = 13050 \text{ Tn}$$

II. Cálculo del volumen de agua

$$Mg = \frac{\text{kg} \times 1000}{\text{m}^3} \times \text{m}^3 = \text{Kg.} \times 1000 = \text{Tn.}$$

$$Cc - Pmp = 0.24 - 0.08 = 0.16$$

$$(0.16) \times 0.7 = 0.048 \cong 4.8 \% \text{ de suelo seco}$$

$$\frac{13050 \times 4.8}{100} = 626.4 \text{ T de agua} = \text{m}^3 \text{ de agua}$$

$$626.4 \text{ m}^3/\text{ha} \cong 62.64 \text{ mm. de lámina}$$

$$\text{Intervalo} = \frac{\text{Lámina}}{\text{Demanda}} = \frac{62.64}{8} = 7.5 \text{ días} \cong \mathbf{8 \text{ días}}$$

2) Calcular el intervalo entre dos riegos consecutivos y el caudal de agua a emplear en un suelo que posee las siguientes características:

Datos:

$C_c = 0.32$  mm de altura de agua /cm de profundidad de suelo

$P_m = 0.12$  mm de altura de agua/cm de profundidad de suelo

Profundidad del perfil = 60 cm.

Lámina neta de reposición al 45% del agua útil

$ET_c = 10$  mm/día

Superficie = 25 ha

Tiempo de riego = 16 horas/día

Solución

$$A. \text{Disponible} = C_c - P_{mp} = 0.32 - 1.2 = 0.20 \text{ mm de altura de agua}$$

Para la profundidad de 60 cm

$$0.2 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} = 120 \text{ mm}$$

$$120 \text{ mm} \times 0.45 = 54 \text{ mm}$$

$$\text{Intervalo} = \frac{L \text{á min } a(\text{mm})}{ETc(\text{mm/día})} = \frac{54}{10} = 5,4 \text{ días} \cong 6 \text{ días}$$

$$Q \times T = L \times A$$

$$Q = \frac{54 \text{ mm} \times 10.000 \text{ m}^2 (25)}{6 \text{ días} \times 16 \text{ horas}} = \frac{0.054 \text{ m} \times 250.000 \text{ m}^2}{6 \text{ d} \times 16 \text{ horas}} = 140 \text{ m}^3/\text{hora}$$

### Riego por surco

3) En un surco de 40 m. de longitud y 0.75 m. de ancho se realizó un ensayo de infiltración con un  $Q_e$  (caudal de entrada) = 45 litros/minuto.

d) Calcule la velocidad de infiltración mm/hora conociendo que el  $Q_s$  (caudal de salida) es de 30 litros/minuto;

e) El tiempo de riego ;

f) El tiempo de mojado si la profundidad del perfil es de 90cm. y la capacidad de almacenamiento es de 150 mm/m de profundidad.

a) Caudal que se infiltra

$$45 - 30 = 15 \text{ litros/minuto} = 15 \times 60 = 900 \text{ litros/hora}$$

Caudal/  $\text{m}^2$

$$\frac{Q}{A} = \frac{900}{40 \times 0.75} = 30 \text{ litros/m}^2 \times \text{hora}$$

Si  $1 \text{ litro/m}^2 = 1 \text{ mm. de altura de agua}$

**Velocidad de infiltración es 30 mm/hora**

b) Tiempo de riego

$$\frac{150\text{mm.}}{30\text{mm/hora}} = \frac{\text{Almacenamiento}}{\text{Veloc.deInfiltr.}} = \mathbf{5 \text{ horas}}$$

c) Tiempo de Mojado (cuando el agua llega al final del surco)

Es 1/4 del tiempo de riego

$$T_m = 5 \text{ ha} \times \frac{1}{4} \times 60 \text{ minutos} = 75 \text{ minutos}$$

4) Deseo regar surcos de 180 m de longitud y 0.8 m de perímetro de mojado, con un caudal en el Tm (tiempo de mojado) de 2 litros/seg y de 0.5 litros/seg. de caudal en el T infiltración (Ti). Calcular el tiempo total de riego y el número de sifones que se deberían usar para una carga hidráulica de 7.5 cm., aplicar una lámina de 50 mm., si el coeficiente de rozamiento del plástico es K= 0.6

$$0.5 \text{ lt/seg.} = 0.5 \times 3600 = 1800 \text{ lt./hora}$$

$$\frac{Q}{A} = I \text{ Prom.} = \frac{1800\text{lt./hora}}{180 \times 0.8} = 12.5 \text{ litros/m}^2 \text{ x hora}$$

$$\text{Si } 1 \text{ lt./m}^2 = 1 \text{ mm.}$$

$$\text{Velocidad de Infiltración} = 12.5 \text{ mm/hora}$$

$$\text{Tiempo total de riego} = \frac{50}{12.5} = \text{Lámina} = \mathbf{4 \text{ horas}}$$

Número de Sifones:

$$\text{a) } Q \text{ sifón} = K \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} = \quad K=0.6$$

$$2 \text{ lt/seg.} = K \cdot S \cdot \sqrt{(2)(9.8\text{m/seg}^2)(0.075\text{m})}$$

$$0.002 \text{ m}^3/\text{seg.} = K \cdot S \cdot \sqrt{(2)(9.8)(0.075)}$$

$$S = \frac{0.002 \text{ m}^3 / \text{seg}}{0.6 \sqrt{(2)(9.8 \text{ m} / \text{seg}^2)(0.075 \text{ m})}} =$$

$$b) S = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D^2 = \frac{S \times 4}{\pi} \rightarrow \sqrt{\frac{S \times 4}{\pi}} =$$

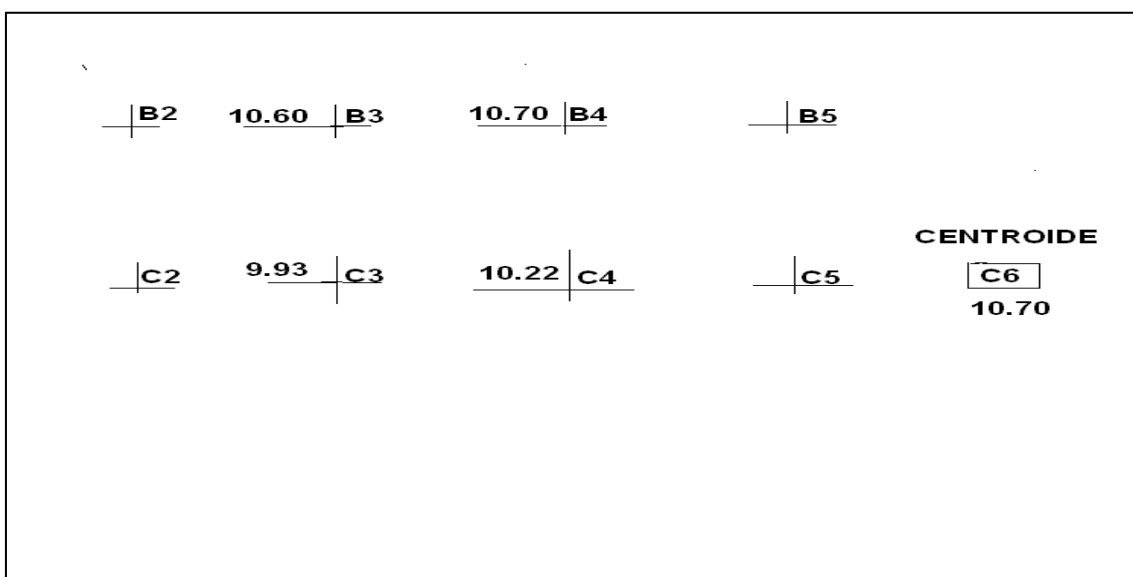
Tm = 4 sifones de 3 cm.

Ti = 1 sifón de 3 cm.

## SISTEMATIZACION DE SUELOS

### Problema de Nivelación

1) Calcule las *cotas proyecto* de cada uno de los puntos, indicando los valores correspondientes a cortes y rellenos, si el centroide está ubicado en la estaca **C6** y su cota altimétrica es 10.70 m. La pendiente horizontal del *Plano del centroide* es **decreciente** de E hacia W (-) 0.4% y la vertical es **creciente** de N



hacia el S (+) 0.2%. La distancia entre estacas es de **50** mts.

## Resolución

N ↑

9.8	B <sub>2</sub>	10.60	B <sub>3</sub>	10.70	B <sub>4</sub>	10.40	B <sub>5</sub>	10.60
		10.00	-0.6	10.20	-0.5			
9.90	C <sub>2</sub>	9.93	C <sub>3</sub>	10.22	C <sub>4</sub>	10.50	C <sub>5</sub>	Centr.
		10.10	+0.17	10.30	+0.08			10.70

### 2) NIVELACIÓN POR EL METODO DE LOS PERFILES MEDIOS

#### I. NIVELACION DE UNA PARCELA PARA RIEGO POR GRAVEDAD CON CERO PENDIENTE W - E Y COMPENSANDO LA PENDIENTE NATURAL N - S

		N					
		A	B	C	D	ΣH	Hm
1	W	0.843	0.735	0.814	0.872	<b>3.264</b>	<b>0.81600</b>
2	W	0.911	0.934	0.978	1.030	<b>3.853</b>	<b>0.96326</b>
3	W	0.959	0.967	1.021	1.054	<b>4.001</b>	<b>1.00025</b>
4	W	0.982	1.106	1.153	1.258	<b>4.499</b>	<b>1.12475</b>
		<b>Σ H</b>	<b>3.695</b>	<b>3.742</b>	<b>3.966</b>	<b>4.214</b>	<b>0.97606</b>
		<b>Hm.</b>	<b>0.92375</b>	<b>0.93550</b>	<b>0.99150</b>	<b>1.0535</b>	
		S					

## 1. Cálculo de la pendiente W-E

*Cota Base: Centroide 0.97606*

Letra de la Cota	Hm (msn)	Diferencia c/ el Centroide(**)	Cotas Proyecto (m)(*)	Corte (m)(***)	Relleno (m)(***)
A	0.92375	-0.05231	.0.90640	-0.01735	
B	0.93550	-0.04056	0.95284		+ 0.01734
C	0.99150	0.01544	0.99928		+ 0.00778
D	1.0535	0.07744	1.04572	- 0.00778	
				<b>-0.02513</b>	<b>0.02512</b>

(\*) Se obtienen a partir del cálculo de la pendiente a la izquierda y derecha del centroide restando y/o sumando al valor del mismo el valor del desnivel promedio para cada estaca.

$$\text{Ejemplo : } 0.97606 - \frac{0.04644}{2} = 0.995284 \text{ m.}$$

Se divide en 2 (dos) porque la distancia desde el centroide a la primera cota es la mitad.

(\*\*) Es la diferencia entre la cota terreno natural promedio (Ej: 0.92375 y el centroide 0.97606 = 0.05231 m.

Si el centroide es > da negativo (-) y a la inversa (+).

(\*\*\*) Cuando resulta corte el signo es negativo (-) y a la inversa con relleno es positivo (+).

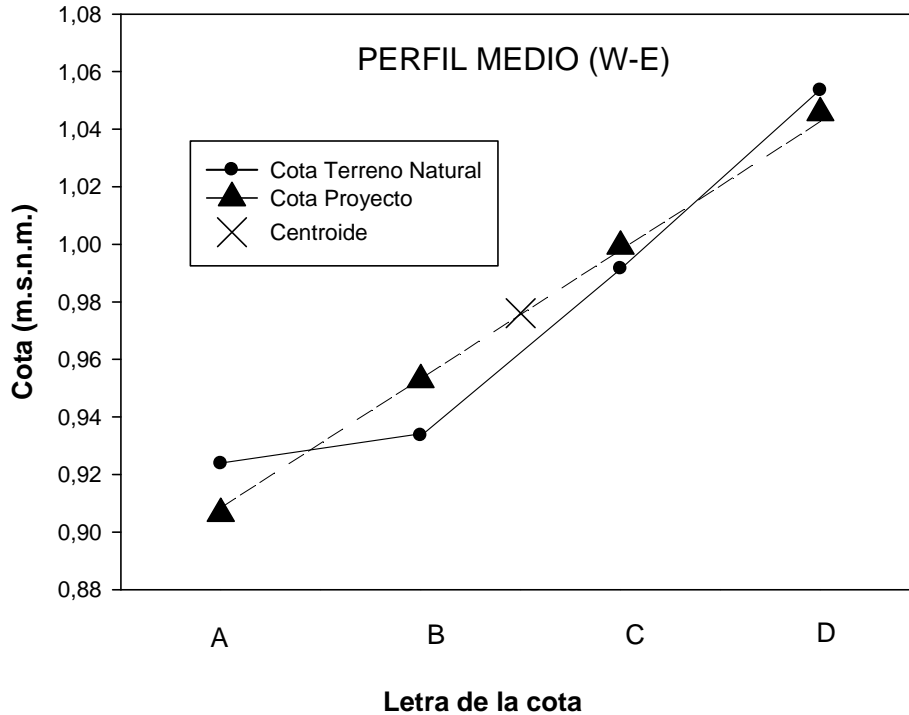
### A la izquierda del Centroide:

$$= \frac{-0.05231 - 0.04056}{2} = \frac{-0.09287}{2} = - \mathbf{0.04644}$$

Se suman las cotas diferencia con el centroide (A y B) y se divide en 2 porque existen dos (2) estacas a la derecha y dos (2) a la izquierda.

### A la derecha del Centroide:

$$= \frac{+0.01544 + 0.07744}{2} = \frac{+0.09288}{2} = + \mathbf{0.04644}$$



## 2. Cálculo de la pendiente N-S

*Cota Base: Centroide 0.97606*

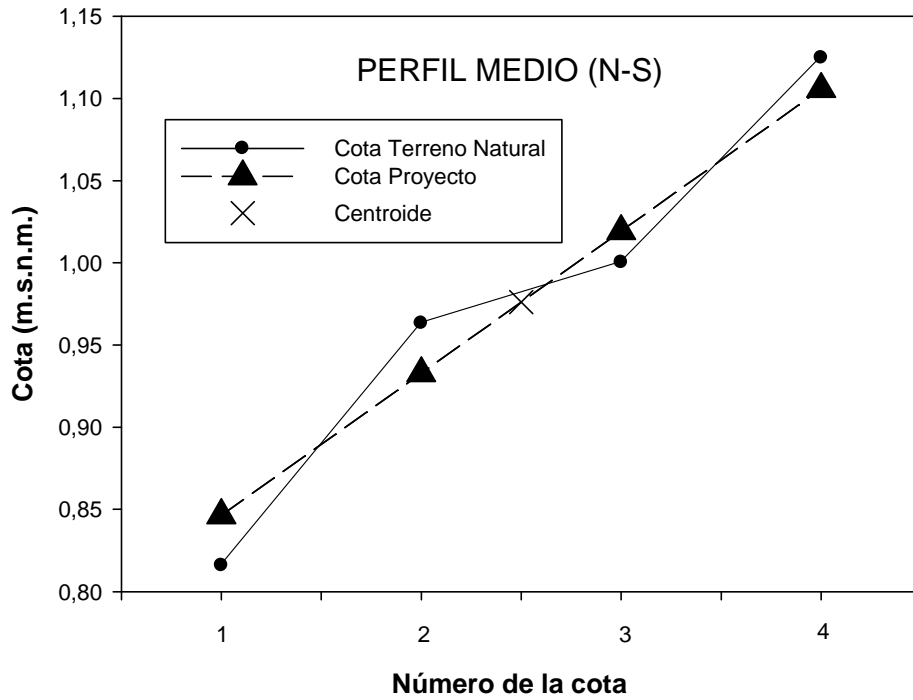
Número de la Cota	Hm (msn)	Diferencia c/ el centroide	Cotas Proyecto	Corte (m)	Relleno (m)
1	0.81600	- 0.16006	0.84640		+ 0.03040
2	0.96326	- 0.01280	0.93284	- 0.03042	
3	1.00025	+ 0.02419	1.01928		+ 0.01903
4	1.12475	+ 0.14869	1.10572	- 0.01903	
				<b>- 0.04945</b>	<b>+ 0.04943</b>

**A la Izquierda del Centroide:**

$$= \frac{-0.16006 - 0.01280}{2} = \frac{-0.17286}{2} = -0.08644$$

A la derecha del Centroide:

$$= \frac{+0.02419 + 0.14869}{2} = \frac{+0.17288}{2} = +0.08644$$



**3. Cálculo de Cotas Proyecto, Cortes y Rellenos considerando la parcela W – E sin pendiente y solo con pendiente N - S**

	A	B	C	D				
<b>1</b>	0.843 0.84640	A-1 -0.0034	0.735 0.84640	B-1 -0.1114	0.814 0.84640	C-1 -0.0324	0.872 0.84640	D-1 +0.0256
<b>2</b>	0.911 0.93284	A-2 -0.02184	0.934 0.93284	B-2 +0.00116	0.978 0.93284	C-2 +0.04516	1.030 0.93284	D-2 +0.09716

3	0.959	A-3	0.967	B-3	1.021	C-3	1.054	D-3
	1.01928	- 0.06028	1.01928	- 0.05228	1.01928	+ 0.00172	1.01928	+ 0.03472
4	0.982	A-4	1.106	B-4	1.153	C-4	1.258	D-4
	1.10572	- 0.12372	1.10572	+ 0.00028	1.10572	+ 0.04728	1.10572	+ 0.15228

#### 4. Movimiento de suelo

Para calcular el movimiento de suelo se multiplica la diferencia de la CT - CP en m. por el área de influencia de la estaca, en este caso  $625 \text{ m}^2$ :  $(\text{Dif. m}) \cdot (\text{Área } \text{m}^2) = \text{m}^3$

Cota terreno	Nomenclatura
Cota Proyecto	Diferencia CT - CPy.

Si la CP es  $>$  CT la diferencia es positiva (+) = RELLENO

Si la CP es  $<$  CT la diferencia es negativa (-) = CORTE

$625 \text{ m}^2$  es la diferencia de c/estaca  $(25\text{m} \times 25 \text{ m}) = 625 \text{ m}^2$ .

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Rellenos} &= (0.0256) \cdot 625 + (0.00116) \cdot 625 + (0.04516) \cdot 625 + (0.09716) \cdot 625 + \\ & (0.00172) \cdot 625 + (0.03472) \cdot 625 + (0.00028) \cdot 625 + (0.04728) \cdot 625 + (0.15228) \cdot 625 \\ &= \\ &= + 252.275 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Cortes} &= (-0.0034) \cdot 625 + (-0.1114) \cdot 625 + (-0.0324) \cdot 625 + (-0.02184) \cdot 625 + \\ & (-0.06028) \cdot 625 + (-0.05228) \cdot 625 + (-0.12372) \cdot 625 = \\ &= - 253.325 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Relación} = \frac{\Sigma \text{Cortes}}{\Sigma \text{Rellenos}} = 0.996$$

La relación  $\Sigma \text{ cortes} / \Sigma \text{ Rellenos} = 1$ , muestra que la línea pendiente proyecto que pasa por el centroide compensa cortes y rellenos en forma exacta. En el caso de requerir más suelo se puede modificar la línea de pendiente proyecto y el centroide para que los cortes superen a los rellenos en un 20%, elevando el coeficiente en ese caso a 1.2.

#### Clasificación del movimiento de suelo:

- Nivelación ligera = 150 – 350 m<sup>3</sup>/ha
- Nivelación Media = 350 – 700 m<sup>3</sup>/ha
- Nivelación Importante = más de 700 m<sup>3</sup>/ha

#### **CALCULO DE LAS PENDIENTES POR EL METODO DE MINIMOS CUADRADOS**

El método de mínimos cuadrados requiere cálculos algo más complicados y es un método alternativo para el cálculo de pendientes, cotas proyecto, cortes y rellenos. Es más preciso pero a la vez más trabajoso y menos sencillo de visualizar.

#### *Cálculo de la pendiente media en dos direcciones perpendiculares*

1º. La pendiente b, del eje de las filas 1, 2, 3, etc., en dirección Oeste – Este

2º La pendiente c, del eje de las columnas A, B, C, etc., en dirección Norte – Sur

Se emplea la fórmula:

$$b \text{ ó } c = \frac{\Sigma (XY) - \frac{\Sigma X \times \Sigma Y}{n}}{\Sigma (X)^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n}}$$

En la que:

b = pendiente natural media en dirección Oeste – Este

c = pendiente natural media en dirección Norte – Sur

(b y c se expresan en metros por estación de la cuadrícula)

$\Sigma$  = Total

X = orden de las cotas, contadas a partir del Norte y del Oeste.

Y = cotas elevación terreno natural promedio (Hm.)

n = número de filas o columnas

Para determinar las Cotas Proyecto se utiliza la siguiente fórmula:

$$A = Hm_{promedio} - b \cdot X_m \pm c \cdot Y_m$$

Dónde:

A = cota definitiva buscada.

Hm<sub>promedio</sub> = Centroide

b = pendiente W – E

c = pendiente N – S

X<sub>m</sub> = coordenada del punto (A), referida al centroide, según el eje W-E  
y expresada por número de cuadrículas.

Y<sub>m</sub> = coordenada del punto (A), referida al centroide, según el eje N-S  
y expresada por número de cuadrículas

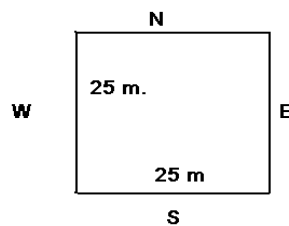
Cálculo de la diferencia promedio de altura derecha/izquierda

$$\pm 0.04644 \text{ W – E}$$

$$\pm 0.08644 \text{ N – S}$$

Dado que las dimensiones de la cuadrícula o área de influencia de la estaca es de:

$$25m. \times 25m. = 625 \text{ m}^2 \quad .$$



Pendientes medias:

Para la pendiente W –E

$$\begin{array}{l} 25 \text{ m} \text{ -----} 0.04644 \text{ m.} \\ 1 \text{ m} \text{ -----} \quad \quad \quad \times \quad = 0.0018 \text{ m. o sea } 0.18\% \text{ (18cm./100m.)} \end{array}$$

Para la pendiente N –S

$$\frac{25 \text{ m} \text{ ----- } 0.08644 \text{ m.}}{1 \text{ m} \text{ -----} \quad \quad \quad x \quad = 0.0034 \text{ m. o sea } 0.34\% \text{ (34cm./100m.)}$$

Imposición de pendientes

Si se desea *imponer* una pendiente *media* diferente de la calculada a partir del centroide partiendo del supuesto que en la dirección N – S 0.34% aparece como excesiva, entonces el cálculo de las nuevas Cotas Proyecto sería:

$$\frac{1 \text{ m} \text{ ----- } 0.0020 \text{ m de la nueva pendiente (0.20\%)}}{25 \text{ m} \text{ -----} \quad \quad \quad x \quad = 0.05\text{m. de desnivel entre estaca y estaca.}$$

Modificación de la ubicación del centroide.

En los casos en que la compensación entre *cortes* y *rellenos* resulta *perfecta*, no existe suelo remanente para la construcción de mesadas para canales o bien otros fines. Se aconseja en este caso *bajar la posición del centroide* a los efectos de obtener suelo de corte.

Igualmente se indica que el cociente entre la sumatoria de cortes y rellenos sea superior a 1, tentativamente 1.2 debido a que el suelos en la nueva posición de relleno *cede* con la aplicación sucesiva de los riegos.

**II . NIVELACION CON CERO PENDIENTE N – S  
Y COMPENSANDO EN SENTIDO W – E LA PENDIENTE NATURAL**

		N				
		A	B	C	Σ H	Hm
1	W	9.381	9.501	9.732	28.614	9.538
		9.108	9.402	9.603	28.113	9.371
		8.908	9.302	9.504	27.714	9.238
		Σ H	27.397	28.205	28.839	84.441
					Centroide	9.382
		Hm	9.132	9.401	9.613	

## S

### CALCULO DE LA PENDIENTE W – E

**Cota Base: Centroide 9.382**

Letra de la Cota	Hm (msn)	Diferencia c/ el Centroide	Cotas Proyecto (m)	Corte mm.	Relleno mm.)
A	9.132	- 0.250	9.2217	- 0.0897	
B	9.401	+0.019	9.3820		+ 0.019
C	9.613	+ 0.231	9.5423		+ 0.0707
				<b>- 0.0897</b>	<b>+ 0.0897</b>

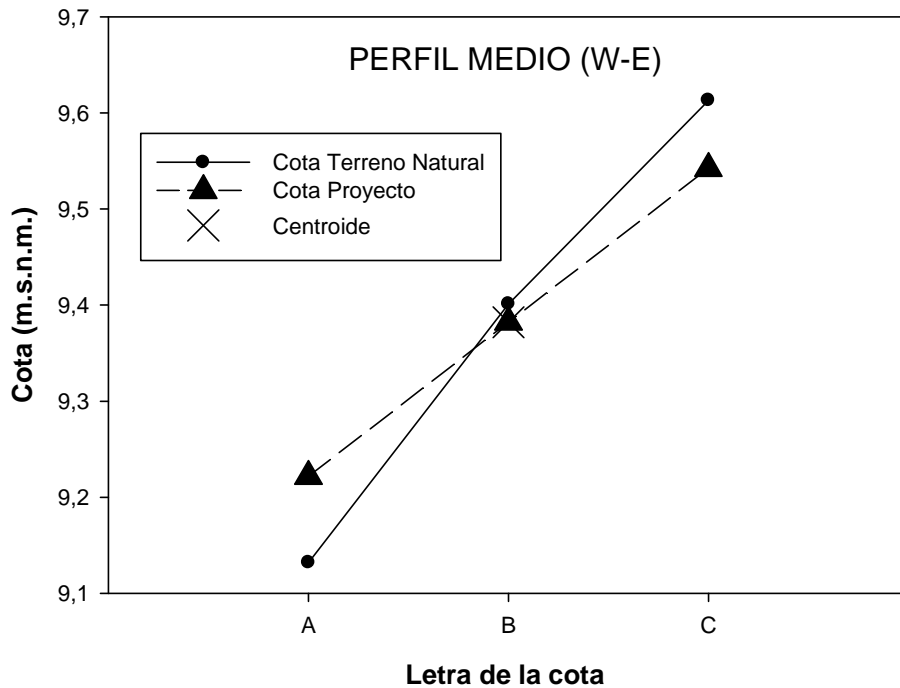
#### A la izquierda del centroide:

$$= \frac{-0.250 - \frac{0.19}{2}}{1.5} = -0.1603 \text{ (Pendiente entre estaca y estaca a la izquierda)}$$

Se divide por 2 (dos) dado que en este caso el centroide divide en dos el área de influencia de la estaca central quedando la mitad de cada área con pendiente +/-.  
Luego se divide por 1.5 porque la cantidad de estacas a derecha e izquierda es 1.5 estacas.

#### A la derecha del centroide:

$$= \frac{\frac{+0.019}{2} + 0.231}{1.5} = +0.1603 \text{ (Pendiente entre estaca y estaca a la derecha)}$$



**CALCULO DE LA PENDIENTE N – S**

**Cota Base: Centroide 9.382**

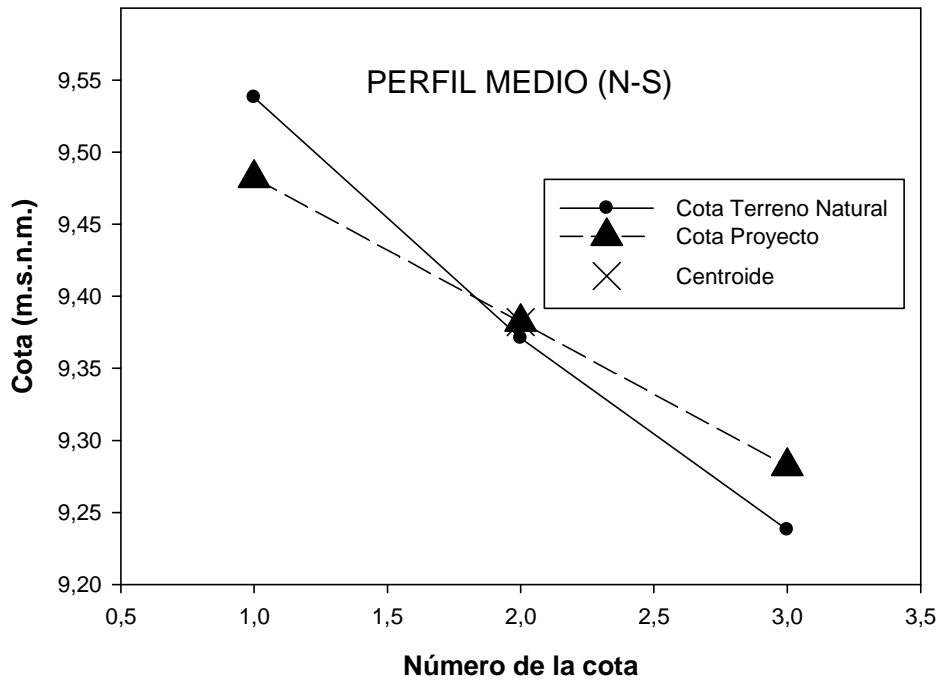
Número de la Cota	Hm (msn)	Diferencia c/ el centroide	Cotas Proyecto	Corte mm,	Relleno mm,
1	9.538	+ 0.156	9.482	- 0.056	
2	9.371	- 0.011	9.382		+ 0.011
3	9.238	- 0.144	9.282		+ 0.044
				<b>- 0,056</b>	<b>+ 0,055</b>

**A la izquierda del centroide:**

$$= \frac{+0.156 - \frac{0.011}{2}}{1.5} = + 0.1003$$

**A la derecha del centroide:**

$$\frac{\frac{-0.011}{2} - 0.144}{1.5} = -0.0996$$



La nivelación se realiza con 0 (cero) pendiente N – S y con la pendiente máxima compensación del centroide W – E .

Las pendientes proyecto (Py) surgen de estimar la pendiente media a partir del centroide sumando o restando las pendientes calculadas a la izquierda o derecha:

Ejemplo:

B a A:  $9.382 - 0.1603$  (Pendiente izquierda) = 9.2217 (Cota Py).

B a C:  $9.382 + 0.1603$  (Pendiente derecha) = 9.5423 (Cota Py)

La dirección de la pendiente utilizada es W – E y cero en sentido N –S.

	A		B		C	
1	9.381	A-1	9.501	A-2	9.732	A-3
	9.2217	0.1593	9.382	0.119	9.5423	0.1897

2	9.108	B-1	9.402	B-2	9.603	B-3
	9.2217	- 0,1137	9.382	0.02	9.5423	0.0607
3	8.908	C-1	9.302	C- 2	9.504	C-3
	9.2217	- 0.3137	9.382	- 0.08	9.5423	- 0.0383

-----> Sentido de la Nivelación (W – E)

Dado que el área de influencia de cada estaca es de  $2.500 \text{ m}^2$  (50 m. x 50 m.), la cantidad de suelo a mover es:

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Rellenos} &= (0.1593) \cdot 2.500 + (0.119) \cdot 2.500 + (0.1897) \cdot 2.500 + (0.02) \cdot 2.500 + (0.067) \cdot 2.500 = \\ &= 398.25 + 297.50 + 474.25 + 50.0 + 151.75 = \underline{\underline{+1371.75 \text{ m}^3}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ Cortes} &= (-0.1137) \cdot 2.500 + (-0.3137) \cdot 2.500 + (-0.08) \cdot 2.500 + (-0.0383) \cdot 2.500 = \\ &= (-284.25) + (-784.25) + (-200) + (-95.75) = \underline{\underline{-1364.25 \text{ m}^3}} \end{aligned}$$

$$\text{Relación } \frac{\Sigma \text{ Cortes}}{\Sigma \text{ Rellenos}} = \underline{\underline{0.994}}$$

La relación  $R = \frac{\text{Cortes}}{\text{Rellenos}}$  es igual a 1 (uno) porque se eligió nivelar con la pendiente de máxima compensación propia del centroide.

Llevado a hectárea:

Sí en  $22.500 \text{ m}^2$  tenemos  $1.370 \text{ m}^3$   
 en  $10.000 \text{ m}^2$  el movimiento será  $608.8 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

En el caso de desear cambiar la pendiente disminuyendo o aumentando la misma:

- Hacer pivotar la línea de pendiente del centroide en el punto del mismo.
- Obtener nuevas Cotas Proyecto
- Recalcular cortes y rellenos nuevamente
- Obtener una nueva relación  $\text{m}^3$  suelo movido

$$R = \frac{\text{Cortes}}{\text{Rellenos}}$$

Cálculo de la diferencia promedio de altura derecha/izquierda

- 0.1603 m. a la izquierda del centroide.  
+ 0.1603 m. a la derecha del centroide.

Para una dimensión de cuadrícula de 50 m. x 50 m.= 2.500 m<sup>2</sup> de área de influencia de cada estaca.

#### Cálculo de la pendiente media

$$\begin{array}{l} 50 \text{ m} \text{ -----} 0.1603 \text{ m.} \\ 1 \text{ m} \text{ -----} \frac{0.1603 \text{ m} \times 1 \text{ m.}}{50 \text{ m.}} = 0.0032 \text{ m. o sea } 0.32\% \end{array}$$

Dicha pendiente puede resultar excesiva para regar por gravedad por lo tanto se puede reducir a 0.20% particularmente en nivelaciones efectuadas con equipos láser.

El cálculo de las nuevas Cotas Proyecto quedaría entonces del siguiente modo:

$$\begin{array}{l} \text{En } 1 \text{ m.} \text{ -----} \rightarrow 0.0020 \text{ m. de pendiente.} \\ 50 \text{ m.} \text{ -----} \rightarrow 0.1 \text{ m. de desnivel} \end{array}$$

La Cota Proyecto en A<sub>1</sub> sería igual al valor del centroide. Menos 0.1 m. o sea:

$$9.382 \text{ m.} - 0.1 \text{ m.} = 9.282 \text{ m. CP en } A_1$$

## 10. RIEGO LOCALIZADO

1) Es necesario regar por goteo 1 (una) ha. de morrón en hileras distanciadas a 1(un) metro sobre un suelo franco. Para diseñar agronomicamente y planificar el riego se disponen de algunos datos y se deberán calcular los restantes.

### Datos de suelo y clima :

*Humedad volumétrica*

$$\theta\%_{cc} = 17\%$$

$$\theta\%_{pmp} = 9\%$$

*Profundidad de raíces = 0.9 m*

*Etc = 6mm/dia*

*Fracción o espacio de mojado calculado = 0.5*

### Datos del equipo:

*Se = separación entre goteros 0.3 m*

*Q de los emisores = 2.5 lt/hora*

Calcular :

1) *Lamina neta. (mm)*

2) *Intervalo de riego (dias).*

3) *Lamina bruta. (mm).*

4) *Duración del riego (hrs)*

5) *Caudal total (ha).*

### Solución

1) *Lamina neta*

$$\text{Lamina neta} = (\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \times 900 = 0.08 \times 900 = 72 \text{mm.}$$

$$\text{Lamina neta en la fracción mojada} = 72 \text{mm} \times 0.5 =$$

$$36 \text{mm}$$

2) *Intervalo de riego :*

$$\text{Lam (mm) / Etc (mm/dia)} = 36 / 6 = \\ 6 \text{ dias}$$

3) *Lamina bruta :*

$$\text{Lamina neta } \cdot (1/Ef) = 36 \text{ mm} \times 1/0.9 = \\ 40\text{mm}$$

4) *Duración del riego en horas*

$$Q \times T = L \times A$$

$$T = L \times A / Q = (0.04 \text{ m} \times (1 \text{ m} \times 0.30 \text{ m})) = 0.3 \text{ m}^2 / 2.5 \text{ lt/hr} =$$

$$4.8 \text{ hrs.}$$

5) *Caudal Total por hora y ha.*

$$100 \text{ m} / 0.3 \text{ m} = 333 \text{ emisores por linea}$$

$$333 \times 100 = 33300 \text{ emisores /ha.}$$

$$33300 \times 2.5 \text{ lt /hr} = 83250 \text{ lt}$$

$$83.2 \text{ m}^3/\text{hr/ha.}$$

## 11. DRENAJE

1) Calcular el radio hidráulico de un dren a cielo abierto de sección rectangular, sabiendo que la base es 0.70m y el agua llega en las paredes laterales hasta una altura de 0.40m

Solución

$$\text{Sección } S = b \times h = 0.7 \times 0.4 = 0.28 \text{ m}^2$$

$$P = \text{perímetro de mojado} = b + 2h = 0.7 + 2 \times 0.4 = 1.50 \text{ m}$$

$$R = S/P = 0.28/1.50 = 0.18 \text{ m}.$$

2) Calcular la velocidad del agua en un canal de drenaje a cielo abierto sabiendo que la pendiente es 0.003m /m y el radio hidráulico es 0.10 m . Usar la fórmula de Bazin .

Solución

$$V = \frac{87 \sqrt{R}}{\sqrt{R + \gamma}} \times \sqrt{RJ}$$

donde :

R= radio hidráulico

V = velocidad media m/seg.

J = pendiente expresada en m/m .

P = perímetro de mojado en m

$\gamma$  = Coeficiente de rugosidad que para tierra es 1.30

S= Sección de mojado en m<sup>2</sup>

### INCIDENCIA DEL DRENAJE EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO Y DESARROLLO DE LOS CULTIVOS

Las propiedades del suelo relacionadas con DRENAJE son :

Macroporosidad

Conductividad Hidráulica o Permeabilidad .

Capilaridad.

## Porosidad Total

$$p = 100 (1 - (d_a/d_r))$$

$$p = 100 (1 - (Vol/V_t))$$

## Macroporosidad

Es la diferencia en porosidad entre la Porosidad Total y la porosidad del suelo a CC.

MP = Porosidad Total – Porosidad del Suelo a CC.

$$\mu = P_t - C_c$$

$$\mu = \sqrt{K}$$

Donde K es Cond Hidráulica

$$\mu = \text{macroporosidad}$$

la macroporosidad ( $\mu$ ) Representa la fracción del suelo por el que se mueve el agua libre , el agua que excede la CC y que se debe drenar.

En un volumen determinado de suelo ( $V_s$ ) de macroporosidad ( $\mu$ ) el volumen de macroporos será del agua libre ( $V_a$ )

$$V_a = \mu \cdot V_s$$

O bien : Si a un suelo a  $C_c$  se añade un Volumen ( $V_a$ ), el suelo que se satura es :

$$V_s = V_a/\mu$$

Expresado en altura de agua . Si a un suelo a  $C_c$  se infiltra una altura ( $R$ ) de agua el nivel freático sube una altura ( $h$ ).

$$h = R/u,$$

donde R = altura de agua infiltrada (Lamina o lluvia).

h = altura del nivel freático.

3) Ejemplo : Calcular la macroporosidad (u) en un suelo franco arenoso donde la

$$d_a = 1.45 \text{ Mg/m}^3.$$

$$d_r = 2.53 \text{ Mg /m}^3$$

$$\theta_{cc} = 30.83$$

$$\theta_{pmp} = 18.69$$

$$\text{Agua Util : } 30.83 - 18.69 = 12.14$$

$$P_t = 100 (1 - (d_a/d_r)) = 39.92 \%$$

$$u = p - C_c = 39.92 - 30.83 = 9.09 \% = 0.09$$

4) Ejemplo : calcular la macroporosidad en un suelo arcilloso

$$d_a = 1.32$$

$$d_r = 2.64$$

$$\theta_{cc} = 28.52$$

$$\theta_{pmp} = 14.53$$

$$AU = 28.52 - 14.53 = 13.99$$

$$p = 100 (1 - (d_a/d_r)) = 50.0$$

$$u = p - C_c = 50.0 - 28.52 = 21.48 \% = 0.21$$

5) Suponiendo que ambos suelos se encuentran a Cc y llueven 40mm, cual será la elevación del nivel freático.?

$$h = R/u$$

$$h_1 = 40 \text{ mm.} / 0.09 = 444 \text{ mm}$$

$$h_2 = 40 \text{ mm} / 0.21 = 190 \text{ mm.}$$

Este cálculo muestra que una misma cantidad de agua , produce elevaciones freáticas diferentes , dependiendo de la macroporosidad .

## **CANTIDADES DE AGUA EN LOS CALCULOS DE DRENAJE**

Algunas relaciones :

*Volumen de agua / Unidad de sup.( m<sup>3</sup>/ha).*

*Altura o lámina de agua : (mm).*

*Relaciones entre ambas 1mm = 10 m<sup>3</sup>/ ha.*

*1mm /dia = 0.1153 l/(seg.ha).*

*1mm de lámina = 1lt. en un m<sup>2</sup>*

## **CALCULO DE MOVIMIENTO DEL PLANO FREATICO**

I. Para un suelo que tiene 48% de porosidad (p) y 39 % de Cc , le llueven 30mm pero escurre el 25% , dado que el suelo se encuentra a Cc calcular la elevación del plano freático.

$$R = 30 \times 0.75 = 22.5 \text{ mm}$$

$$u = p - Cc = 0.48 - 0.39 = 0.09$$

$$h = R/u = 22.5/ 0.09 = 250 \text{ mm.}$$

II. Un suelo a Cc la C.F está a 2.5 m , llueven 63 mm , calcular la nueva altura de la C.F.

$$d_a = 1.5 ; d_r = 2.52 ; p_{mp} = 18\% ; A_U 16\%$$

$$p = 100 ( 1 - (1.5/2.52)) = 40\%$$

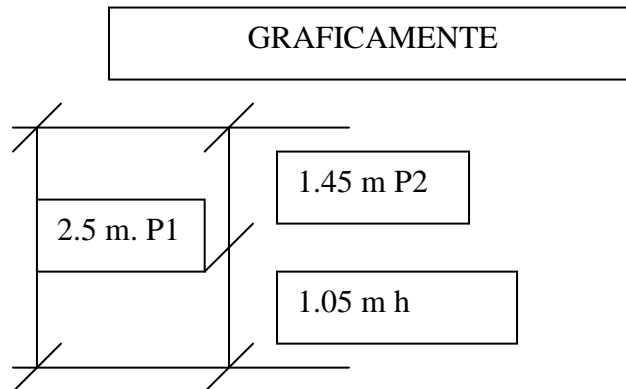
$$C_c = P_m + A_u = 18 + 16 = 34\%$$

$$u = p - Cc = 0.4 - 0.34 = 0.06$$

$$h = R/u = 63 / 0.06 = 1050 \text{ mm} = 1.05 \text{ m}$$

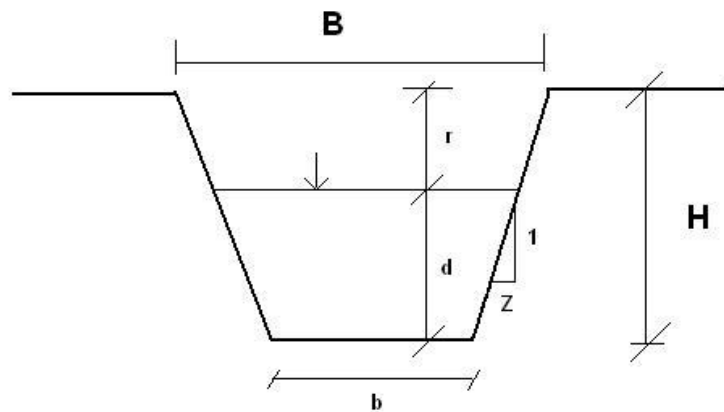
Altura final

$$P_2 = p_1 - h = 2.50 - 1.05 = 1.45 \text{ m}$$



## 12. TRABAJOS PRACTICOS

### DIMENSIONAMIENTO DE UN CANAL DE DRENAJE



Para calcular estas dimensiones se usan las siguientes ecuaciones

$$Q = A \times V$$

$$A = b d + Z d^2$$

V = velocidad de flujo (m/s).

b = base (m).

d = Tirante hidráulico (m).

Z = Talud de la pared (adim)

n = coeficiente de Manning (adim)

P = Perímetro mojado (m)

So = Pendiente de la rasante (m).

H = Profundidad de la zanja (m)

r = Revancha o altura libre (m)

B = Ancho superior de la zanja (m)

$$V = \frac{1}{n} \times \left( \frac{A}{P} \right)^{2/3} \times (S_o)^{1/2}$$

$$P = b + 2 \times d \left( 1 + Z^2 \right)^{1/2}$$

$$H = d + r \qquad B = b + 2 \times Z \times H$$

**Donde**

$Q$  = Caudal de drenaje ( $m^3 / s$ )

$A$  = Area transversal de conducción ( $m^2$ ).

Para calcular las dimensiones del dren , la formula de Manning la expresamos de la siguiente forma

$$Q = A \times V$$

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} \times (S_o)^{1/2}$$

$$\frac{(Q \times n)}{S_o^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

$$\left(\frac{(Q \times n)}{S_o^{1/2}}\right)^3 = \frac{A^5}{P^2}$$

$$\left(\frac{(Q \times n)}{S_o^{1/2}}\right)^3 = \frac{(b \times d + Z \times d^2)^5}{(b + 2 \times d \times (1 + Z^2)^{1/2})^2}$$

Para realizar el cálculo , se conocen los siguientes valores :

$Q$  = Calculado de acuerdo a un estudio hidrológico y de Precipitaciones

$n$  = (coef. de rugosidad de Manning) se obtiene de la Tabla 1  
 $d$  y  $b$  son asumidos .

Tabla 1 : Coeficiente de rugosidad

Condición del dren	Valor de $n$
Muy limpio	0,022 – 0,030
Limpio	0,029 – 0,050
Con poca vegetación	0,040 – 0,067
Con moderada vegetación	0,050 – 0,100
Con exceso de vegetación	0,067 – 0,200

Fuente: Grassi, C.J.. 1991 . Drenaje de Tierras Agrícolas.

Tabla 2 : Valor del talud , de acuerdo al material

Material de excavación	$Z$
Roca firme	0.25
Hard- pan duro. Roca con fisuras	0.5
Grava cementada . Arcilla y hard-pan ordinario	0.75

Arcilla con grava . Suelos francos	1
Limo arcilloso	1
Suelos francos con grava	1.5
Suelos franco- arenosos	2
Suelos muy arenosos	3

Fuente : Ven Te Chow. 1959. Open Channel Hydraulics

Tabla 3 : Velocidad máxima no erosiva en función del material y calidad del agua.

Material de excavación	Velocidad Máxima No erosiva (m/s)		
	Aguas Claras	Agua con limo coloidal	Agua con arena o gravas
Arena fina no coloidal	0.45	0.75	0.45
Material franco arenoso no coloidal	0.50	0.75	0.60
Material franco limoso no coloidal	0.60	0.90	0.69
Limos aluviales no coloidales	0.60	1.10	0.60
Material franco arenoso firme	0.75	1.10	0.70
Cenizas Volcánicas	0.75	1.10	0.60
Grava fina	0.75	1.50	1.15
Arcilla firme coloidal	1.15	1.50	0.9
Material franco o particulado bien proporcionado	1.15	1.50	1.50
Limos aluviales Coloidales	1.15	1.50	0.90
Material limoso o particulado bien proporcionado	1.20	1.70	1.50
Particulado grueso	1.20	1.80	1.95
Piedras redondeadas	1.50	1.70	1.95
Esquistos y arcilla compacta	1.80	1.80	1.50

El valor de (b) corresponde a un valor asumido de 0.5m . Este valor corresponde a un valor generalmente al ancho de la pala excavadora.

### ***Cálculo práctico de un canal de Drenaje :***

Se requiere calcular un dren partiendo de los siguientes datos

$$Q = 250 \text{ l/s} = 0.25 \text{ m}^3 / \text{s} , \text{ Textura : franca}$$

$$\text{Pendiente del suelo} = 0.2 \%$$

Solución :

Seleccionamos  $n = 0.04$  para dren limpio según Tabla 1.

Como pendiente se asume la propia del terreno. ( 0.2 %).

Seleccionamos  $Z = 1$  , por suelo franco (Tabla 2).

Se asume  $b = 0.5 \text{ m}$ .

Aplicando estos valores en la fórmula :

$$\left( \frac{(Q \times n)}{S_o^{1/2}} \right)^3 = \frac{(b \times d + Z \times d^2)^5}{(b + 2 \times d \times (1 + Z^2)^{1/2})^2}$$

obtenemos:

$$\left( \frac{(0.25 \times 0.04)}{(0.002)^{1/2}} \right)^3 = \frac{(0.5 \times d + 1 \times d^2)^5}{(0.5 + 2 \times d \times (1 + 1^2)^{1/2})^2}$$

$$0.01118 = \frac{(0.5 \times d + d^2)^5}{(0.5 + 2 \times d \times 2^{1/2})^2}$$

Para calcular el parámetro (d) se van probando sucesivamente diferentes valores hasta obtener el valor mas cercano a 0.01118 , que en este caso se consigue con d=0.53

$$\left( \frac{(0.5 \times 0.53 + (0.53)^2)^5}{(0.5 + 2 \times (0.53) \times 2^{1/2})^2} \right) = \frac{0.048480319}{3.996266376} = 0.01213$$

al calcular la velocidad obtenemos 0.47 m/s , inferior a la velocidad máxima no erosiva . Tabla 3 .

La profundidad total  $H = d+r = 0.53 + 0.5 = 1.03 \text{ m}$  .

El ancho superior B , entonces es igual a  $B = 0.5 + 2 \times 1 \times 1.03 = 2.56 \text{ m}$ .

$$B = 2.56 \text{ m}$$

## CALCULO DE UN SISTEMA DE DRENAJE

### Régimen Permanente

En un **sistema de tránsito de flujo** la cantidad de agua que **ingresa y egresa** determina el régimen a que está sometido el sistema. Se dice que es **permanente** o de flujo invariable cuando la freática es estable o de régimen variable cuando el plano freático **presenta variaciones** por riego o lluvia.

### Fórmula de Hooghoudt

Para diseñar un sistema de drenaje se requiere conocer los parámetros que gobiernan el mismo (Fig. 1) :

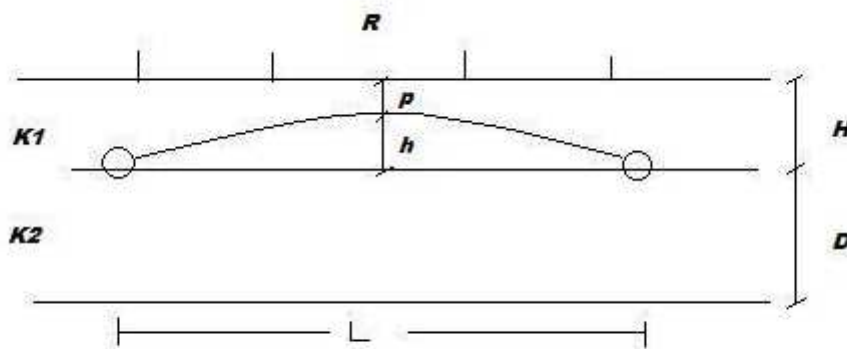


Figura 1 : Espaciamiento y demás parámetros que gobiernan el sistema.

La fórmula de Hooghoudt es la siguiente:

$$L^2 = \frac{8k_2hd}{R} + \frac{4k_1h^2}{R}$$

Sector 1      Sector 2

$L$  = espaciamiento en m.

$K$  = percolación (m/día).

$k_1$  = permeabilidad (C.H.) sobre los drenes.

$K_2$  = permeabilidad (C.H.) debajo de los drenes.

$h$  = altura de la freática en el punto medio.

$d$  = espesor equivalente de Hooghoudt que depende de  $L$ ,  $D$  y  $r$  (radio de los drenes).

El sector 1 de la fórmula se refiere al sector por debajo de los drenes y el sector 2 por encima

$d$  = espesor equivalente de Hooghoudt

$$d = \frac{L}{8(R_h + R_r)}$$

$$R_h = (\text{Resistencia horizontal}) = \frac{(L - 1.4D)}{8DL}$$

$$R_r = (\text{Resistencia radial}) = \frac{1}{\pi} \ln \frac{0.7D}{r}$$

$r$  = radio del dren

### **EJEMPLO I:**

$$K_1 = 0.25 \text{ m/d}$$

$$K_2 = 1.50 \text{ m/d}$$

$$H = 1.20$$

$$D = 2.00$$

$$p \text{ (profundidad óptima de la freática)} = 0.8 \text{ m}$$

$$R \text{ (recarga)} = 15 \text{ mm/d} = 0.015 \text{ m/d}$$

$$r = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$$

$$h = H - P = 1.20 - 0.80 = 0.40 \text{ m}$$

Para el cálculo se sigue el procedimiento de tanteos

Se prueba con el valor  $L = 40 \text{ m.}$ , se calcula el espesor equivalente de Hooghoudt  $d$  en función de  $r$ ,  $D$  y  $L$  igual a  $d = 1.55 \text{ m}$ , por lo tanto:

$$L^2 = \frac{8k_2 hd}{R} + \frac{4k_1 h^2}{R} \text{ se obtiene } (1)$$

$$L^2 = 40^2 = 1600 \text{ m}^2 \text{ Superficie de saneamiento}$$

$$\frac{8 \times 1.5 \times 0.4 \times 1.55}{0.015} + \frac{4 \times 0.25 \times 0.4^2}{0.015} = 506 \text{ m}^2$$

Como  $506 \ll 1600 \text{ m}^2$ , el valor tanteado,  $L = 40 \text{ m}$  es excesivo. Se prueba  $L = 20 \text{ m}$  con una  $d = 1.25 \text{ m}$ .  $L^2 = 20^2 = 400 \text{ m}^2$ , reemplazo

$$\frac{8 \times 1.5 \times 0.4 \times 1.25}{0.015} + \frac{4 \times 0.25 \times 0.4^2}{0.015} = 410 \text{ m}^2$$

Dado que  $410 \cong 400 \text{ m}^2$ , el espaciamiento es  $L = 20 \text{ m}$ .

Reemplazando en (1)

$$R = \frac{8k_2 dh}{L^2} + \frac{4k_1 h^2}{L^2}$$

Por encima se aplica la fórmula

$$R_1 = \frac{4 \times 0.25 \times 0.4^2}{20^2} = 0.0004 \text{ m/d} = 0.4 \text{ mm/d}$$

Por debajo

$$R_2 = \frac{8 \times 1.5 \times 0.4 \times 1.25}{20^2} = 0.015 \text{ m/d} = 15 \text{ mm/d}$$

$$R_1 + R_2 = 15.4 \text{ mm/d} \text{ no coincide } c/R = 15 \text{ mm/d}$$

y la razón es que el espaciamiento no es exactamente de  $20 \text{ m}$  sino algo mayor.

### Caudal a eliminar

Una vez calculado el  $L$  y la profundidad de los drenes, se requiere calcular el caudal a transportar para así dimensionar diámetro y pendiente, la cual se puede calcular.

Los drenes son conducciones abiertas o cerradas cuyo caudal se incrementa con la longitud. Según la Figura 2.

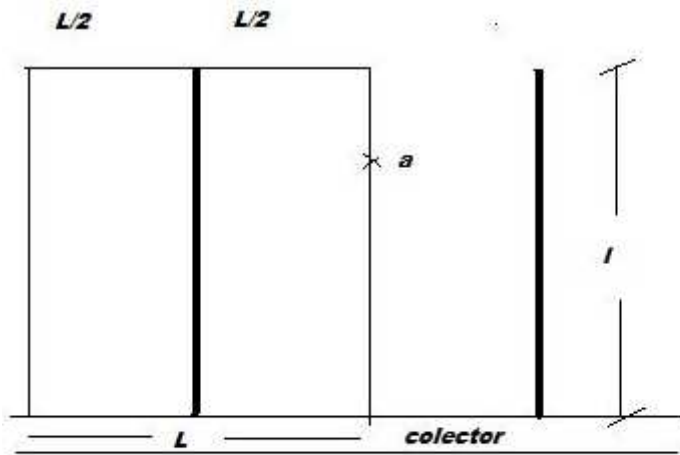


Figura 2 : Vista en planta de la superficie de saneamiento y colector.

Espacio entre drenes =  $L$

Cada dren recoge el agua de una zona que mide  $L/2$ , saneando una anchura  $L$  igual al espaciamiento, si el caudal por unidad de superficie es  $R$  el caudal recogido por unidad de longitud de dren será  $R \times L$ . En el punto "a" de la figura 2 situado a una distancia "a" del origen, el caudal será:

$$Q = R \times L \times a$$

en el extremo del dren, si su longitud es "l"

$$Q = R \times L \times l$$

$$Q = 0.015 \text{ m/día} \times 200 \text{ m} \times 20 \text{ m} = 60 \text{ m}^3/\text{día}$$

### ***Cálculo del diámetro del dren***

Calcular el diámetro del dren para el ejemplo anterior .

$$R = 0.015 \text{ m /d .}$$

$$L = 20 \text{ m.}$$

$$l = 200 \text{ m}$$

Pendiente  $i = 0.0015$

Para un dren corrugado :

$$\text{diámetro} = 0.2557 Q^{0.375} i^{-0.187}$$

$$\mathbf{0.052 \text{ m} = 5.2 \text{ cm}}$$

### 13. TEMAS PRACTICOS APLICADOS

#### TRATAMIENTOS DE LOS PROBLEMAS DE SALINIDAD

##### Lixiviación:

El requerimiento de lixiviación o lavado o fracción de lavado es la fracción de agua de riego que debe atravesar la zona radicular para desplazar sales que se acumulan en dicha zona.

El modo de expresión de lixiviación es en porcentaje (%): Así 1mg de lixiviación de 0.15 significa que el 85% del agua de riego corresponde a la evapotranspiración y el 15% restante a la lixiviación.

En riego por gravedad y aspersion de baja frecuencia

$$R_L(\text{neta}) = \frac{CE_a}{5CE_e - CE_a} =$$

En riego por goteo y aspersion de alta frecuencia

$$R_L(\text{neta}) = \frac{CE_a}{2 \max CE_e} =$$

$CE_a$  = CE del agua de riego

$CE_e$  = CE del extracto de saturación del suelo

$\max CE_e$  = CE del extracto de saturación para lo cual el descenso de la producción es el 100%

Hay que tener en cuenta que la eficiencia de lavado es del 100% en suelos arenosos y hasta el 30% en suelos arcillosos.

$$R_L(\text{real}) = \frac{R_L \text{ neta}}{\text{Efic.de lavado}}$$

##### Drenaje:

Si la profundidad del plano freático está a menos de 2 m, el agua asciende por capilaridad debido a la evapotranspiración.

Si el agua freática contiene sales, estas se acumulan en la superficie y el agua que las transporta pasa a la atmósfera y se evapora.

La salinidad del agua de drenaje es:

$$\text{CE del agua de drenaje} = \frac{\text{CE del agua de riego}}{\text{Fracción de lixiviación}}$$

### **El factor de lavado (FL):**

La fracción del agua de riego que atravesando la zona radicular, arrastra el exceso de sales se llama requerimiento de lixiviación (RL). El factor de lavado (FL) será en % :

$$\text{FL} = 1 - \text{RL}$$

### **El factor de rociado ( $F_r$ )**

En el agua aplicada por aspersión, se producen pérdidas por evaporación directa desde el aspersor a la planta. En condiciones normales estas pérdidas varían desde 1% al 6%. En condiciones severas (mayor viento y muy alta temperatura) estos son mayores

$$F_r = 1 - P_r$$

Donde  $P_r$  = pérdida por evaporación directa

### **Coefficiente de uniformidad**

Define la uniformidad del agua infiltrada. El 100% asegura distribución uniforme.

Lámina media infiltrada en el 25%

$$\text{Coeficiente de uniformidad} = \frac{\text{del área menos regada}}{\text{lá min a infiltrada en toda la parcela}}$$

La lámina media infiltrada en el 25% del área más regada se calcula como la mitad del 25% de los valores más bajos de la lámina infiltrada.

En riego por aspersión se utiliza el coeficiente de Christiansen

$$C_u = 1 - \frac{\Sigma(d)}{M \times n}$$

$\Sigma(d)$  = Suma de los valores absolutos de las desviaciones

M = Valor medio de la lámina infiltrada en los puntos de control

n = número de puntos de control

Para riego localizado

$$C_u = \frac{q_{25}}{q_a}$$

Donde

$q_{25}$  = caudal medio de los emisores que suma el 25%

$q_a$  = caudal medio de todos los emisores

$$C_u = \left( 1 - \frac{1.27C_v}{\sqrt{e}} \right) \frac{q_m}{q_a} =$$

e = número de emisores por planta

$q_m$  = caudal mínimo

$q_a$  = caudal medio

$C_u$  = coeficiente de variación del emisor

Conducciones cerradas: Tuberías

¿Qué son las pérdidas de carga localizada?

¿Qué es la longitud equivalente?

¿Qué es el golpe de ariete?

Diámetros pequeños hasta 150 mm. → Velocidad hasta 1 m/seg.

Diámetro medio 150 – 350 mm. → Velocidad 1 y 1.5 m/seg.

Diámetro grande 350 mm. → Velocidad 2 m/seg.

## ALGUNAS DEFINICIONES Y FORMULAS

### I. HIDROLOGIA

$$Q = 0,61 \times S_c \sqrt{2gh}$$

$$Q = S \times v$$

Vertederos

$$Q = 1,84 \times L \times H^{3/2} \quad (\text{Rectangular})$$

$$Q = C \times Tg \propto \times H^{3/2} \quad (\text{Triangular})$$

$$Q = 1,854 \times C \times H^{3/2} \quad (\text{Trapezoidal})$$

$$Q = m \times H^n \quad (\text{Aforador Parshall})$$

### II. CALIDAD DE AGUA

$$RAS = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca] + [Mg]}{2}}}$$

$$ST = CE \times 0,64$$

$$FL = \frac{\text{Lámina percolada}}{\text{Lámina aplicada}} = \frac{CE \text{ riego}}{CE \text{ drenaje}}$$

$$NL = \frac{CEa}{(2 \times CEa) - CEa} (\text{ETP-pp}) \quad (\text{factor 2 para riego por goteo; 5 para riego por aspersión})$$

$$\sum \text{suma de cationes } \left(\frac{\text{meq}}{l}\right) = \sum \text{suma de aniones } \left(\frac{\text{meq}}{l}\right)$$

$$BI\% = \frac{\text{suma de cationes} - \text{suma de aniones}}{\text{suma de cationes} + \text{suma de aniones}} \times 100$$

$$\text{Dureza total (mg/l de CaCO}_3) = [Ca^{++} \text{ meq/l}] + [Mg^{++} \text{ meq/l}] \times 50$$

### III. FISICA DE SUELOS – LAMINA

$$f = \frac{V_p}{V_t} \quad \circ \quad f = \frac{V_t - V_s}{V_t} \quad \circ \quad f = 1 - \frac{V_s}{V_t} \quad \circ \quad f = 1 - \frac{\delta a_p}{\delta r}$$

$$\delta a_p = \frac{M_t}{V_t}$$

$$\delta r = \frac{M_s}{V_s}$$

$$\omega(\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s - T} \times 100$$

$$\theta(\%) = \omega(\%) \times \delta a_p$$

$$Lám = \omega(\%) \times \delta_{ap} \times P$$

o

$$Lám = (CC - PMP) \times \delta_{ap} \times P$$

$$Lám \text{ reposición} = Lám \times \% \text{ de reposición}$$

$$Lám \text{ neta} = Lám \text{ reposición} = ETC - pp$$

$$Lám \text{ bruta} = \frac{Lám \text{ neta}}{Eficiencia}$$

$$Cc - Pmp = AU \quad AU = \text{agua útil}$$

### I. Lámina por el procedimiento edafológico:

$$d(\text{mm}) = ((W_{cc} - W_m) / 100) \cdot 0.6 \cdot da \cdot D \cdot 1 / Ef$$

$W_{cc}$  = H° a cap de campo.

$W_m$  = Humedad en pmp

$da$  = densidad aparente

$D$  = profundidad

$Ef$  = eficiencia

### II. Lamina neta calculada:

Lamina neta de reposición

UC - precipitación efectiva

### III. Lamina neta real :

Lamina neta x 0.6

### IV. Lamina Bruta :

Lamina Bruta = Lamina neta real / eficiencia (de aplicación y manejo).

### V. Relaciones entre caudal, superficie, lámina y tiempo de aplicación:

- Caudal (Q) x Tiempo (T) = Lamina (L) x Superficie (S)

$$Q \times T = L \times S$$

$$I_p = \frac{Lam}{T} = \frac{Q}{S} = \text{Infiltración promedio}$$

Infiltración Acumulada :

$$I_{ac} = L_{am} = K.T^n$$

## VI. Uso Consuntivo:

$E_{to}$  = Evapotranspiración del cultivo de referencia

$E_{tc} = K_c \cdot E_{to}$  Evapotranspiración del cultivo = U.C. (Uso consuntivo)

U. C. =  $E_{tc}$

U. C = Es el agua utilizada por el cultivo para la transpiración y formación de tejidos . La lluvia es una oferta de agua y se debe restar al cálculo de demanda (U.C.) por lo tanto será:

$L_n = E_{tc}$  (ó U.C. )- Precipitación efectiva = Requerimiento neto de riego

y

$L_b = L_n \cdot (1/E_f)$  = Requerimiento bruto de riego.

Nr diaria = Nr mensual/días del mes en estudio

Intervalo de riego = Lamina de reposición/necesidad de riego diaria

Lámina o pérdida susceptible de drenaje =  $L_b - L_n = 1.34 - 0.67 = 0.67$   
lt/seg.ha.

En volumen /dia

$0.67 \text{ l/s.ha.} \times \text{ha} \times 86400 \text{ S} = 57.888 \text{ lt} = 57.9 \text{ m}^3 / \text{ha} \cdot \text{dia}$

$57.9 \text{ m}^3/\text{dia} / 10.000 \text{ m}^2/\text{d} = 5,7 \text{ mm/dia}$  COEFICIENTE DE DRENAJE

Glover Dumm (espaciamiento entre drenes)

$$L^2 = \pi \cdot \frac{KDT}{S} \times \frac{1}{\ln\left(1.17 \cdot \frac{y_0}{yt}\right)}$$

Percolación profunda = Lamina (1-Ef)

## 5) INFILTRACIÓN

$$Iac = K \times T^n$$

$$I = k \times T^{-n} \quad (\text{Velocidad de infiltración}) \quad k = n \times K \times 60$$

$$Ip = \frac{Iac}{t} = K \times t^{n-1} \quad (\text{Infiltración promedio})$$

$$Ib = k \left[ \left( \frac{-nh}{0.1} \right)^{\frac{1}{n+1}} \right]^{-n} \quad (\text{Infiltración básica})$$

$$t = \left( \frac{60 \times Iac \times (-n+1)}{k} \right)^{\frac{1}{-n+1}} \quad (\text{Tiempo de infiltración})$$

$$Iac = \frac{k}{60(-n+1)} \times t^{-n+1}$$

## 6) ACUIFEROS - BOMBAS Y MOTORES

$$Pot(HP) = \frac{Q \times H}{76 \times ef.}$$

$$Pot(CV) = \frac{Q \times H}{75 \times ef.}$$

$$Ce = Pt/1,36$$

$$Cc = Pt \times 0,22$$

## 7) HIDRAULICA – CANALES

$$Q = S \times v$$

$$S = \frac{Bf + Bs}{2} \times h \quad S = Bf \times h + m \times h^2$$

$$Bs = Bf + 2mh$$

$$m = \frac{x}{h}$$

$$t = h\sqrt{1+m^2} \quad mh^2 + bf \times h - S = 0 \quad (\text{Bascara})$$

$$pm = bf + 2t$$

$$R = \frac{S}{Pm}$$

$$Vm = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}}$$

$$r = \frac{1}{3} h$$

$$Bf = h \times \frac{4TgQ}{2} \quad (\text{Mínima infiltración})$$

$$Bf = h \times \frac{2TgQ}{2} \quad (\text{Mínima resistencia})$$

$$Bm = bf + 2 \times m \times H$$

### Tuberías

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta h \quad (\text{Bernoulli})$$

$$\Delta h = \frac{f \times L}{4 \times R} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$Q = S_A \times V_A = S_B \times V_B \quad (\text{Ecuación de Continuidad})$$

$$J = 0,0826 \times f \times \frac{Q^2}{D^5} = \frac{\Delta h}{l} \quad (\text{Darcy})$$

$$hl = K \times \frac{V^2}{2g}$$

$$J = \frac{10,643 \left( \frac{Q}{C} \right)^{2,25}}{D^{4,87}} \quad (\text{Hazen})$$

### 8) RIEGO POR ASPERSION

$$Q \times T = L \times S$$

$$IR = \frac{l \alpha m}{ETC}$$

$$S = \pi \times r^2$$

$$Q = C_V \times C_C \times S \times \sqrt{2gh}$$

$$P = \frac{Q}{S}$$

$$N^{\circ} \text{aspersores} = \frac{Q_T}{\text{consumo} \times \text{aspersor}}$$

$$\text{Long ala} = EL \times (\text{asp} - 1) + \frac{3}{5} Ea$$

### 9) RIEGO POR GRAVEDAD

$$Q_{\text{sifón}} = K \times S \sqrt{2g \Delta h}$$

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

### 10) RIEGO LOCALIZADO

$$Q_{\text{gotero}} = C \times S \times \sqrt{2gh}$$

$$Q \times T = L \times S$$

$$IR = \frac{l \alpha m}{ETC}$$

$$H = \frac{8 \times f \times L \times Q^2}{\pi^2 \times g \times D^5} \quad (\text{Pérdidas de carga})$$

$$Q = K \times H \quad (\text{Régimen laminar})$$

$$Q = K \times (H)^{1/2} \quad (\text{Régimen turbulento})$$

### 11) DRENAJE

Régimen permanente:

$$L^2 = \frac{4K \times (B^2 - d^2)}{C_d} \quad (\text{Donnan})$$

$$L^2 = \frac{8K_2 h d}{R} + \frac{4K_2 h^2}{R} \quad \text{o} \quad S^2 = \frac{4KH}{R} (2d + H) \quad (\text{Hooghoudt})$$

Régimen variable:

$$L^2 = \frac{\pi^2 KDT}{5 \ln(1,16^{h_0}/h_2)} \quad (\text{Glover Dumm})$$

$$V = \frac{87\sqrt{R}}{\sqrt{R+Y}} \times \sqrt{R \times J}$$

$$d = \frac{L}{3(R_h + R_r)}$$

$$R_h = \frac{L - 1,4D}{8DL}$$

$$R_r = \frac{1}{\pi} \ln \frac{0,7D}{r}$$

$$EC = \frac{EN \times ET}{EN - ET}$$

Diámetro de drenes:

Lisos:

$$d = 0,193 \times Q^{0,368} \times i^{-0,211}$$

Corrugados:

$$d = 0,2557 \times Q^{0,375} \times i^{-0,187}$$

#### **14. AGRADECIMIENTOS:**

A la Sra. Sonia Susana María Peralta del Laboratorio de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Hilario Ascasubi, por su invaluable colaboración en la confección de esta Guía.

A la colaboración de los ayudantes de la Cátedra Ings. Agrs. Martín Espósito y Paola Fernandez .

A la colaboración de la Técnica Sup. en Suelos y Aguas Luciana Dunel del INTA EEA Hilario Ascasubi

## **15. BIBLIOGRAFIA:**

**Fuentes Yagüe J.L.** 1998. Técnicas de Riego. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación . Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 469 Pp.

**Pizarro F.** 1978. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos . Editora agrícola española S.A. 521Pp.

**Chambouleyron J.L.** 1980. Riego y Drenaje . Enciclopedia Argentina de Agricultura y jardineria .Ed. Acme S.A.C.I. 327 Pp.

**Luque J.A. R.J. Vazquez y J.L. Luque .** 1991. Drenaje Agrícola y desagüe de tierras inundables. Editorial Hemisferio Sur 215 Pp.