

VII

Hidráulica aplicada al riego a presión



Tipos de tubería

En todo proyecto de riego presurizado, además de los emisores, las tuberías conforman el eje medular de distribución del agua a lo largo y ancho de la parcela, de ahí que el conocimiento de sus características será de importancia para tomar decisiones de diseño. A continuación se citan las principales características de algunas de las tuberías más utilizadas en riego

Aluminio:

Esta tubería viene generalmente diseñada para presiones de trabajo de $8,8 \text{ Kg/cm}^2$. La longitud de los tubos de aluminio es de 9 mts

Cuadro 7.1 Diámetros en tuberías de aluminio.

Diámetro Nominal (mm)	Diámetro interno (mm)
50	48.81
75	74.01
100	99.21
125	124.36
150	149.45
175	174.55
200	199.54
250	249.38

Tubería plástica de cloruro de polivinilo (P.V.C) :

Al compra la tubería lo que se pide es el diámetro nominal y el SDR que necesita; la forma para conocer cuál es el SDR requerido se despeja de la siguiente fórmula:

$$SDR = \frac{2 \cdot S}{P} + 1$$

donde:

S: esfuerzo hidrostático de diseño (140 kg/cm²)

SDR: relación entre el diámetro externo de la tubería y espesor de la pared.

P: presión de trabajo de la tubería (kg/cm²)

Actualmente se fabrican tuberías de P.V.C. para usar en sistemas móviles de riego; estas tuberías son de color celeste y resisten los rayos ultravioleta. Las tuberías de P.V.C. móviles, generalmente se diseñan con un SDR de 32,5 o sea para una presión de trabajo de 8,8 kg/cm²; las longitudes de estas tuberías son de 6 m.

Cuadro 7.2 Especificaciones para tubería móvil de riego, distribuido en el país

Dia ext (mm)	Dia Int (mm)	SDR	P. trabajo (kg/cm ²)
48.26	45.22	32.5	8.8
73.03	68.55	32.5	8.8
50.00	56.63	32.5	8.8
75.00	83.42	32.5	8.8
100.00	107.28	32.5	8.8

Cuadro 7.3 Especificaciones de tuberías PVC.

Diámetro Nominal		SDR	Presión de trabajo Kg/cm ²	Lon. tubo (m)	Dia. Exterior	Dia. Interior	Presión de ruptura Kg/cm ²	Peso por tubo (Kg)
(mm)	Pulg.				(mm)	(mm)		
12	½	13,5	22.1	6	21.34	18.20	70.2	0.87
12	½	Sch40	42	6	21.34	15.80		1.34
18	¾	17	17,6	6	26.67	23.53	56.2	1.11
18	¾	Sch40	34	6	26.70	20.90		1.79
25	1	17	17.6	6	33.40	29.48	56.2	1.73
25	1	Sch40	32	6	33.40	26.60		2.67
31	1 1/4	17	17.6	6	42.16	37.18	56.2	2.75
38	1 1/2	17	17.6	6	48.26	42.58	56.2	3.62
50	2	17	17.6	6	60.33	53.21	56.2	5.62
62	2 1/2	17	17.6	6	73.03	54.45	56.2	8.22
75	3	17	17.6	6	88.90	78.44	56.2	12.19
100	4	17	17.6	6	114.30	100.84	56.2	20.16
150	6	17	17.6	6	168.28	148.46	56.2	43.69
200	8	17	17.6	6	219.08	193.28	56.2	74.24
25	1	26	11.2	6	33.40	30.36	35.1	30.36
31	1 1/4	26	11.2	6	42.16	38.90	35.1	38.90
38	1 1/2	26	11.2	6	48.26	44.56	35.1	44.56
50	2	26	11.2	6	60.33	55.71	35.1	55.71
62	2 1/2	26	11.2	6	73.03	67.45	35.1	67.45
75	3	26	11.2	6	88.90	82.04	35.1	82.04
100	4	26	11.2	6	114.30	105.52	35.1	105.52
150	6	26	11.2	6	168.28	155.32	35.1	155.32
200	8	26	11.2	6	219.08	202.22	35.1	202.22
250	10	26	11.2	6	273.05	252.07	35.1	252.07
300	12	26	11.2	6	323.85	298.95	35.1	298.95
31	1 1/4	32,5	8.8	6	422.00	390.00	28.1	1.67
38	1 1/2	32,5	8.8	6	48.26	45.22	28.1	1.86
50	2	32,5	8.8	6	60.33	56.63	28.1	2.90
62	2 1/2	32,5	8.8	6	73.03	68.55	28.1	4.25
75	3	32,5	8.8	6	88.90	83.42	28.1	6.58
100	4	32,5	8.8	6	114.30	107.28	28.1	10.84

Continuación Cuadro 7.3

Diámetro Nominal		SDR	Presión de trabajo Kg/cm ²	Lon. tubo (m)	Dia. Exterior (mm)	Dia. Interior (mm)	Presión de ruptura Kg/cm ²	Peso por tubo (Kg)
(mm)	Pulg.							
150	6	32,5	8.8	6	168.28	157.92	28.1	23.54
200	8	32,5	8.8	6	219.08	205.62	28.1	39.94
250	10	32,5	8.8	6	273.05	256.23	28.1	62.22
300	12	32,5	8.8	6	323.85	303.93	28.1	87.51
31	11/4	41	7.0	6	42.16	39.80	22.1	1.08
38	11/2	41	7.0	6	48.26	45.90	22.1	1.45
50	2	41	7.0	6	60.32	57.38	22.1	2.23
62	2 1/2	41	7.0	6	73.03	69.46	22.1	3.10
75	3	41	7.0	6	88.90	84.58	22.1	5.18
100	4	41	7.0	6	144.30	108.72	22.1	8.74
150	6	41	7.0	6	168.28	160.08	22.1	18.90
200	8	41	7.0	6	219.08	208.42	22.1	31.92
250	10	41	7.0	6	273.05	259.75	22.1	49.58
300	12	41	7.0	6	323.85	308.05	22.1	69.86
380	15	41	7.0	6	388.60	369.70	22.1	93.60

Polietileno (p.e):

Se conocen dos tipos de polietileno:

1. baja densidad "blando". Posee mayor resistencia al agrietamiento y es más flexible.
2. Alta densidad "duro"

Cuadro 7.4 Características tubería polietileno blando.

P.trabajo (kg/cm ²)	Dia. nominal (mm)	Dia. Interior (mm)
2,5	12	9,8
2,5	16	13,1
2,5	20	16,9
2,5	25	21,7
2,5	32	28,7
2,5	40	36,0
2,5	50	45,0
4	12	9,6
4	16	12,7
4	20	16,5
4	25	21,1
4	32	27,0
4	40	33,8
4	50	42,3
6	12	9,2
6	16	12,3
6	20	15,1
6	25	19,2
6	32	24,5
6	40	30,8
6	50	38,4
8	12	7,9
8	16	10,4
8	20	13,0
8	25	16,3
8	32	20,9
8	40	26,3
8	50	33,0

Cuadro 7.5 Características tubería polietileno duro.

P. trabajo (kg/cm ²)	Dia. nominal. (mm)	Dia. interior (mm)
2,5	50	46,7
2,5	63	59,7
2,5	75	71,1
2,5	90	85,5
2,5	110	104,4
4	32	28,7
4	40	36,7
4	50	45,8
4	63	58,0
4	75	69,0
4	90	82,8
4	110	101,3
6	25	21,7
6	32	28,1
6	40	35,0
6	50	43,8
6	63	55,2
6	75	65,7
6	90	78,9
6	110	96,4
8	20	16,7
8	25	21,7
8	32	27,0
8	40	33,8
8	50	42,4
8	63	53,3
8	75	63,7
8	90	76,4
8	110	93,4

Diseño de tubería y estimación de pérdidas

Tuberías principales o sin salida

Para conocer la relación existente entre las pérdidas por fricción que se dan, al transportar un caudal en una tubería de determinada sección transversal, utilizamos la ecuación de Hazen Williams:

$$J = 1.131 * 10^9 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} D^{-4.872}$$

donde:

J: Pérdida por fricción en (m/m).

Q: Caudal en la tubería (m³/h).

D: Diámetro interno de la tubería (mm).

C: Coeficiente de Hazen Williams. Este depende del tipo de material en que se construye la tubería

La fórmula anterior, si se multiplica por la longitud de la tubería, se obtiene la pérdida total.

$$Hf = 1.131 * 10^9 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} * D^{-4.872} * L$$

Algunos valores de coeficientes C, se dan a continuación:

Cuadro 7.6 Coeficientes de material a utilizar en la ecuación de Hazen Williams

Material	Coeficiente C
Acero Nuevo	140
Aluminio Nuevo	140
Acero Viejo (15 años)	120
Acero Remachado (10 años)	110
Aluminio con acoples	120
Galvanizado con uniones	115
P.V.C	150
Polietileno	140

Existen tres métodos generales para el diseño líneas principales

Diseño por el Método de Carga Unitaria

Este método consiste en seleccionar un diámetro de tubería de tal forma que las pérdidas por fricción no sobrepasen un límite establecido. Un límite que se utiliza muchas veces es el de decir que se admite como pérdida de carga 2.3m/100 m de longitud de tubería.

$$J = 1.131 \cdot 10^9 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \cdot D^{-4.87} ;$$

$$0.023 \frac{m}{m} = \frac{1.131 \cdot 10^9 \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.872}} ;$$

si se quiere conocer el Diámetro se tendría que:

$$D = \left[\frac{1.131 \cdot 10^9 \cdot Q^{1.852} \cdot L}{0.023 \cdot C^{1.852}} \right]^{0.205}$$

Este diámetro es teórico, se debe verificar cuales son los diámetros comerciales superior e inferior y recalcular la pérdida que se produce con esos diámetros.

Diseño por el método de la Velocidad Permisible

Se aceptan como velocidades permisibles un rango comprendido entre 1.5 y 3 m/s como máximo. En forma general y para evitar posibles problemas con golpes de ariete se recomiendan velocidades límites de 1.5 m/s.

Para la selección del diámetro utilizamos la ecuación de continuidad:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{Q}{\pi \cdot D^2 / 4} \quad \Rightarrow \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{V \cdot \pi}}$$

donde:

Q: caudal que circula en la tubería

A: área de la tubería

V : velocidad media en la tubería (1.5 m/s)

D: diámetro de la tubería

Este diámetro es teórico, se debe verificar cuales son los diámetros comerciales superior e inferior y recalculer la pérdida que se produce con esos diámetros.

Diseño por el método de pérdidas de carga

Este método consiste en tratar de perder la diferencia de presiones que hay desde un punto inicial A, hasta el punto de salida B. Para el cálculo de estas pérdidas se debe hacer un balance de energías utilizando Bernoulli:

$$H_f = H_A \pm \Delta Z_{A-B} - H_B$$

donde

H_A : Carga en A.

H_B : Carga en B.

ΔZ : Diferencia de alturas

H_f : Pérdida de carga.

Al conocer las pérdidas en el tramo, podemos estimar el diámetro utilizando la ecuación de Hazen Williams

$$D = \left[\frac{1.131 \cdot 10^9 \cdot Q^{1.852} \cdot L}{H_f \cdot C^{1.852}} \right]^{0.205}$$

Combinación de diámetros en tubería sin salidas múltiples:

Algunas veces se hace necesario llevar a cabo una combinación de diámetros de tal forma de poder llegar con cierta presión a un punto determinado, o en otros casos con la finalidad de “consumir” toda la carga disponible que se tenga. La combinación de diámetros es necesaria ya que como se sabe en el mercado solo existen ciertos diámetros que se fabrican en forma comercial, por lo que muchas veces se debe recurrir a combinarlos para tener las presiones que se requieren en los diseños.

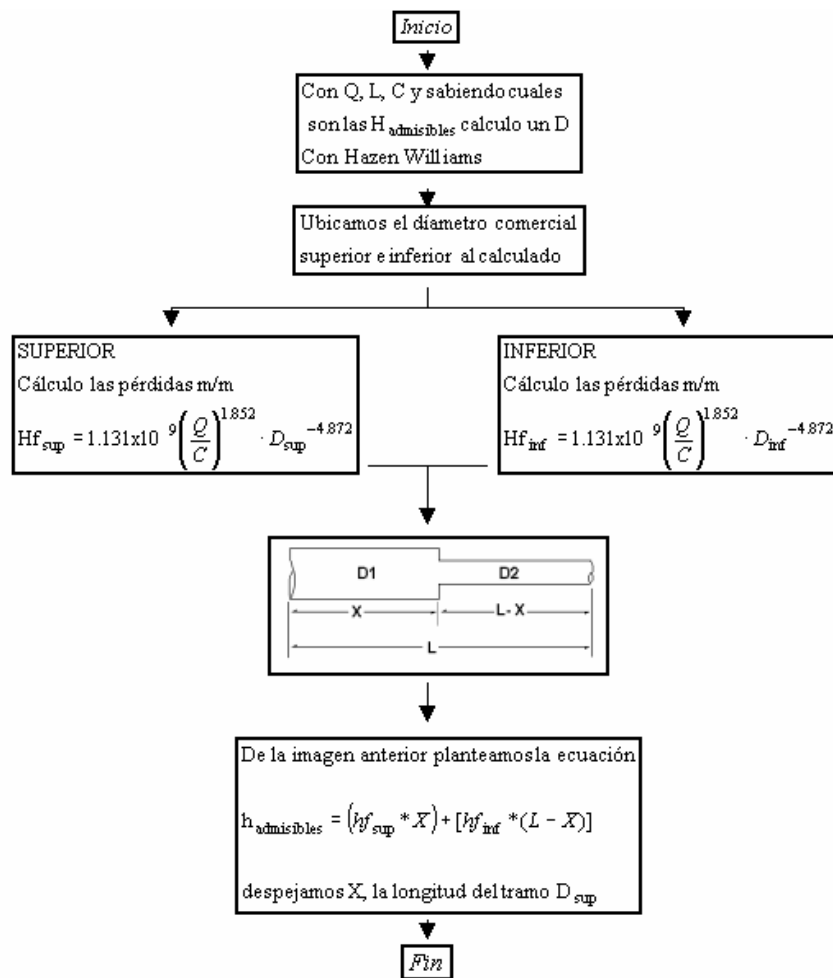


Figura 7.1 Esquema para la realización de una combinación de diámetros en tuberías sin salidas

Ejemplo. Diseño de tubería sin salidas

Se desea conducir 11.76 m³/h a lo largo de 398 mts en tubería PVC SDR 32.5, la presión en el punto inicial y final es de 20 m.c.a y el punto inicial se encuentra a 1.95 mts más arriba que el final. Diseñe la tubería.

SOLUCION

Primero estimamos las pérdidas admisibles
Por Bernoulli

$$H_f = H_{inicio} + \Delta Z - H_{final}$$

$$H_f = 20 + 1.95 - 20 = 1.95 \text{ m.c.a}$$

Inicio Z=1.95 m

Final Z=0

Posteriormente se digitan los datos básicos para el diseño y se oprime el botón de evaluar. El programa se encarga de el diámetro teórico, así como la recomendación de los diámetros superior e inferior. Si el usuario lo desea al oprimir el botón de Combinación de Diámetros inmediatamente se despliega la modelación de distancias de cada diámetro para alcanzar las pérdidas justas.

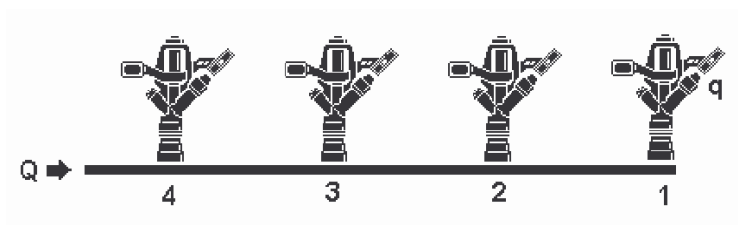
Se puede usar el diámetro comercial superior, ya que no supera el máximo de las pérdidas admisibles

Una forma de gastar todas las pérdidas admisibles es combinando los diámetros.

Figura 7.2

Tuberías con salidas múltiples ó laterales

Las principales características hidráulicas de un lateral es el ser una tubería con una serie de salidas espaciadas a una misma distancia, donde se da un detrimento en el caudal que circula desde un inicial (Q) hasta el de última salida (q)



q: Caudal en el aspersor.

Q : Caudal total del lateral ($Q = q * \# \text{ salidas}$)

Figura 7.3 Descarga de aspersores

Para modelar las condiciones de caudal, material y pérdidas utilizamos la ecuación de Hazen Williams modificada con un factor F, así tenemos,

$$hf_{\text{consalidas}} = hf_{\text{sin salidas}} (\text{Calculado con Hazen Williams}) * F$$

$$J = 1.131 \cdot 10^9 \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \cdot D^{-4.87} * F$$

Donde:

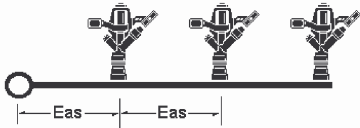
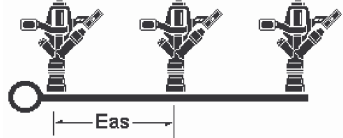
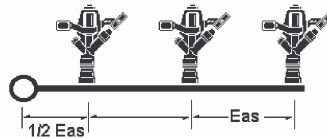
$hf_{\text{con salidas}}$: Pérdida en tubo con salida.

$hf_{\text{sin salidas}}$: Pérdida en tubo sin salida.

F: Factor según el número de salidas.

Crhistiansen desarrollo la serie del factor F en función a la ubicación de la primer salida, el cuadro 7.7 muestra las fórmulas pertinentes para el calculo de F:

Cuadro 7.7 Factor F desarrollado por Christiansen para diferentes ubicaciones del primer aspersor

I aspersor a Eas

$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2}$
I aspersor al Inicio del lateral

$F_{(0)} = \frac{N \left[\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right] - 1}{N-1}$
I aspersor a Easp/2

$F = \frac{2N}{2N-1} \left[\frac{1}{m+1} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \right]$

Donde:

N: Número de salidas

M: Constante en función del material

Plástico 1.760
 Aluminio 1.852

Cuadro 7.8 Coeficientes F para laterales de aluminio y plástico¹

N° Salidas	Plástico (1.760)			Aluminio (1.852)		
	F ₁ ^a	F ₂ ^b	F ₃ ^c	F ₁ ^a	F ₂ ^b	F ₃ ^c
5	0.469	0.337	0.410	0.457	0.321	0.396
10	0.415	0.350	0.384	0.402	0.336	0.371
12	0.406	0.352	0.381	0.393	0.338	0.367
15	0.398	0.355	0.377	0.385	0.341	0.363
20	0.389	0.357	0.373	0.376	0.343	0.360
25	0.384	0.358	0.371	0.371	0.345	0.358
30	0.381	0.359	0.370	0.368	0.346	0.357
40	0.376	0.360	0.368	0.363	0.347	0.355
50	0.374	0.361	0.367	0.361	0.348	0.354
100	0.369	0.362	0.366	0.356	0.349	0.352
200	0.366	0.363	0.365	0.353	0.350	0.352

(a): Cuando la distancia desde la entrada del lateral a la primera salida es E_{asp} (m).

(b): Cuando la primera salida está cerca de la entrada del lateral.

(c): Cuando la distancia desde la entrada del lateral a la primera salida es E_{asp}/2 (m).

Combinación de diámetros en tuberías con salidas múltiples

Algunas veces si se coloca un diámetro **X** las pérdidas por fricción son mucho menores que las admisibles y si se coloca el diámetro comercial inferior las pérdidas resultantes sobrepasan las admisibles;

la combinación de diámetros nos permita estar los más cercano posible a lo admisible.

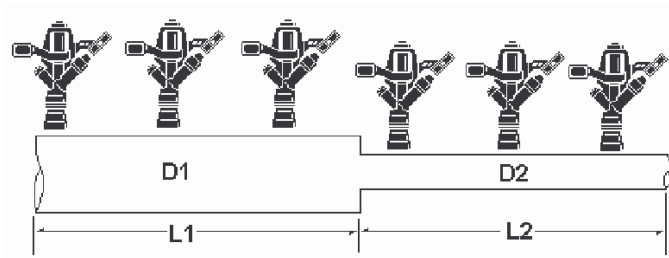


figura 7.4 Combinación de Diámetros

En términos generales el procedimiento a seguir para el cálculo de pérdidas por fricción en laterales es el siguiente:

1. Con el caudal total del lateral; calcular las pérdidas por fricción; asumiendo que este tiene toda la longitud del diámetro mayor

$$H_{f_{\text{punto1}}} \longrightarrow \text{función } (D1, Q_{\text{total}}, N_{\text{total}}, F_{\text{total}}, L_{\text{total}})$$

2. Calcular las pérdidas por fricción en la longitud que se quiere colocar el diámetro menor; pero con el caudal que lleva ese tramo, el factor f de ese tramo, la longitud de ese tramo y asumiendo que ese tramo es de diámetro igual al diámetro mayor.

$$H_{f_{\text{punto2}}} \longrightarrow \text{función } (D1, Q_2, N_2, F_2, L_2)$$

3. La diferencia de pérdida por fricción obtenida entre los dos valores anteriores; es la pérdida de carga para el tramo de mayor diámetro.

$$hf_{tramo1} = hf_{punto1} - hf_{punto2}$$

4. Calcular la pérdida de carga para el tramo de menor diámetro con su respectivo caudal, longitud y f, por supuesto con el diámetro menor.

$$Hf_{tramo2} \longrightarrow \text{función } (D_2, Q_2, N_2, F_2, L_2)$$

5. La pérdida de carga total del lateral será la obtenida en el punto 3 más la obtenida en el punto 4.

$$hf_{total} = hf_{tramo1} + hf_{tramo2}$$

Ejemplo. Diseño de tubería con salidas

Para cierta parcela se riega con aspersión. Las características del sistema son las siguientes:

- Caudal aspersor: 0.196 m³/h
- Presión de operación (Po) : 20 m.c.a
- El lateral está a nivel y las pérdidas que se pueden aceptar son del 20% Po
- 6 aspersores por lateral a cada 8 mts. Primer aspersor a 4 mts del inicio
- Tubería de Polietileno blando de 2.5 km/cm²
- Pérdidas estimadas admisibles 1.62 m.c.a

SOLUCION

Cálculo de las pérdidas admisibles:

Asumiendo unas pérdidas admisibles del 20 % de presión de operación

$$H_f = 20\% * P_o = 0.2 * 20 \Rightarrow 4 \text{ m.c.a}$$

Cálculo de la longitud del lateral

$$L = 5 * 8 + 4 = 44 \text{ mts}$$

Digitamos los datos y oprimimos el botón de Evaluar

Cálculos en laterales

Qué desea calcular ?
☒ **Díametro de la tubería** ☐ Pérdidas en el tramo

Datos básicos para el diseño

Caudal por salida	0.196	m3/h	Primer salida a :	E asp / 2
Número de Salidas	6		Seleccione el Material a utilizar	Polietileno (C= 140)
Pérdidas admisibles	4	m	Selecc. Polietileno	Blando de 2.5 kg/cm2
Longitud	44	m		

Evaluar

Coeficiente por múltiples salidas

Coeficiente del material	1.76
F	0.3997

Diámetro Caudal lateral

Diámetro	15.8923	mm	Caudal lateral	1.176	m3/día
----------	---------	----	----------------	-------	--------

Diámetros Superior

Diámetro Comercial	20	mm	Diámetro interno	16.9	mm
Pérdidas efectivas en el tramo	2.9656	m			

Diámetro Inferior

Diámetro Comercial	16	mm	Diámetro interno	13.1	mm
Pérdidas efectivas en el tramo	10.2571	m			

Nótese que se puede usar el diámetro superior o combinar los diámetros

Figura 7.5

Si combino diámetros uso en el primer tramo 4 aspersores ocupando una distancia de 28 metros.

A screenshot of a Windows-style dialog box titled "RiegoP". It has a blue title bar with a close button (X) in the top right corner. The main area is light beige. The text "Ingrese la Longitud del tramo con el diámetro mayor" is displayed. Below the text is a text input field containing the number "28". To the right of the input field are two buttons: "Aceptar" (Accept) and "Cancelar" (Cancel).

Figura 7.6

A screenshot of a Windows-style dialog box titled "RiegoP". It has a blue title bar with a close button (X) in the top right corner. The main area is light beige. The text "Ingrese el número de aspersores presentes en el primer tramo" is displayed. Below the text is a text input field containing the number "4". To the right of the input field are two buttons: "Aceptar" (Accept) and "Cancelar" (Cancel).

Figura 7.7

A continuación se muestra la pantalla de resultados a la combinación de diámetros.

A screenshot of a results screen titled "Combinación de Diámetros". At the top, there is a button labeled "Desea combinar diámetros...". Below this, the screen is divided into two columns. The left column contains labels for "Longitud tramo 1", "Longitud tramo 2", and "Pérdidas efectivas en todo el tramo". The right column contains labels for "Pérdidas tramo 1" and "Pérdidas tramo 2". Each label is followed by a text input field and the unit "m". The values entered in the fields are: Longitud tramo 1: 28.0; Longitud tramo 2: 16.0; Pérdidas tramo 1: 2.737; Pérdidas tramo 2: 0.791; and Pérdidas efectivas en todo el tramo: 3.528. The values 28.0, 16.0, 2.737, 0.791, and 3.528 are highlighted in red.

Longitud tramo 1	Pérdidas tramo 1
28.0 m	2.737 m
Longitud tramo 2	Pérdidas tramo 2
16.0 m	0.791 m
Pérdidas efectivas en todo el tramo	
3.528 m	

Figura 7.8

Distribución de presiones en tuberías

Presiones en tuberías sin salidas ó principal

En una tubería principal la distribución de presiones está esquematizada en la figura 7.9, de igual forma para su análisis utilizamos la ecuación de Bernoulli:

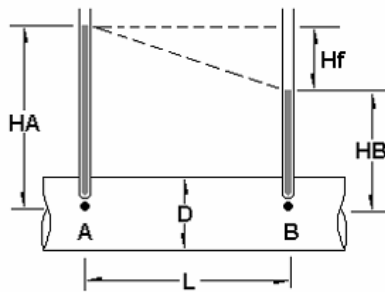


Figura 7.9 Distribución de presiones en la principal

En una tubería sin salidas tenemos que

$$P_A = P_B + hf \pm \Delta Z$$

donde:

P_A : Presión en A

P_B : Presión en B

hf : Pérdidas en el tramo

ΔZ : Diferencia de altura (si la tubería va subiendo se suma el ΔZ , si la tubería va hacia se abajo se le resta.)

Presiones en tuberías con salidas múltiples ó laterales

La siguiente figura muestra la relación de presiones, pérdidas y distancias, dentro los cuales podemos tener certeza para la valoración hidráulica de los laterales:

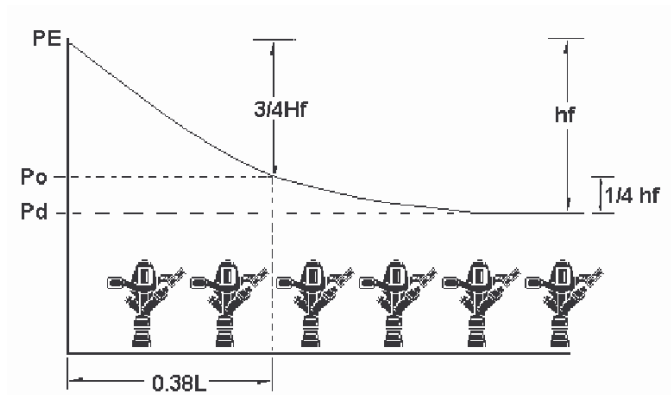


Figura 7.10 Relación de presiones y pérdidas en laterales

Donde:

P_E : Presión a la entrada del lateral.

H_f : Pérdida por fricción.

L : Longitud del lateral.

P_o : Presión de operación del aspersor.

P_d : Presión distal o presión final.

Analizando puntualmente las condiciones de la figura pasada podemos contabilizar la presión de operación, distal y de entrada a partir de la ecuación de Bernoulli. Específicamente tenemos:

Cálculo de la presión de entrada:

$$P_{\varepsilon} = P_0 + \frac{3}{4}hf + h_{el} \pm \Delta z * 0.38$$

- ΔZ = diferencia de altura entre entrada y final del lateral.
- El ΔZ será positivo si el lateral sube, y será negativo si el lateral baja.

En este sentido existen 3 modificaciones a la ecuación anterior, a saber

1. Si a la tubería es construida combinando diámetros

$$P_{\varepsilon} = P_0 + \frac{5}{8}hf + h_{el} \pm \Delta z * 0.38$$

2. Si el sistema es de bajo caudal, como el goteo y sin combinación de diámetros

$$P_{\varepsilon} = P_0 + 0.77 * hf + \pm \Delta z * 0.23$$

3. Si el sistema es de bajo caudal, combinando diámetros

$$P_{\varepsilon} = P_0 + 0.63 * hf + h_{el} \pm \Delta z * 0.39$$

Cálculo de la presión distal o presión final:

$$P_d = P_\varepsilon - hf - h_{el} \pm \Delta Z$$

$$P_d = P_0 - \frac{1}{4} hf \pm 0.62 * \Delta Z$$

$\Delta Z(+)$ \Rightarrow subiendo

$\Delta Z(-)$ \Rightarrow bajando

Importante. Cabe decir que solo la primer ecuación es válida para sistemas de bajo caudal y ó laterales diseñados combinando los diámetros

Hidráulica de los emisores

Relación caudal – presión

Casí todos los emisores que se pueden utilizar en riego, responden a una relación entre la presión y el caudal descargado, a esta relación se le ha llamado la ecuación del gotero:

$$q = K \cdot h^x$$

donde:

q: caudal de salida

h: presión en la entrada del emisor

k: Constante de descarga

x: Exponente de descarga

Nótese que de no contarse con está información (la cual debe ser entregada por el proveedor), se puede deducir la ecuación aplicando el siguiente método a un par de valores:

$$X = \frac{\ln \frac{q_1}{q_2}}{\ln \frac{h_1}{h_2}}$$

$$K = \frac{q_1}{h_1^X}$$

A continuación se citan algunos valores para el exponente de descarga, propuestos por Pizarro (1990) y utilizados por el programa.

Cuadro 7.9 Coeficientes de descarga de emisores

Emisor	X
De régimen laminar	1
Microtubos	0.875
Helicoidal	0.7
De régimen turbulento (orificio, laberinto)	0.5
Vortex	0.4
Auto compensados	0.1
Auto compensado perfecto	0

Las relaciones de presión-caudal, suelen venir dadas por los fabricantes en forma gráfica, en la siguiente figura se muestra algunos las relaciones más características.

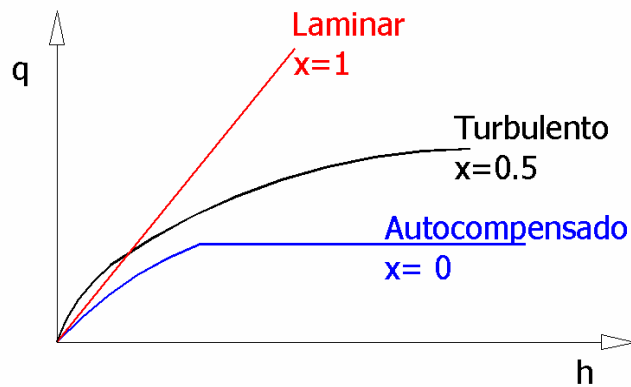


Figura 7.11 Relación Presión – Caudal en emisores

Ecuación del orificio

Esta es una forma característica de los emisores de tipo turbulento. La descarga que se da en un aspersor viene expresada según la ecuación de Torricelli, es decir la ecuación para la descarga de un orificio.

$$q = C * A * \sqrt{2 * g * h}$$

Donde:

q: descarga del aspersor en la boquilla.

C: coeficiente de descarga.

A: área de la boquilla.

g: aceleración de la gravedad.

h: Presión del aspersor

El valor de $C \approx 0.95$ a 0.98

Una de las aplicaciones más utilizadas de esta ecuación para el riego, es al establecer la relación de caudales versus presiones a través de lateral. A partir del caudal y presión de operación se puede calibrar esta ecuación, a continuación se describe un pequeño procedimiento que detalla este cálculo:

$$Q_o = C * A * \sqrt{2 * g * P_o}$$

despejamos los valores constantes y los expresamos en una nueva constante λ :

$$\frac{Q_o}{\sqrt{P_o}} = C * A * \sqrt{2 * g} = \lambda$$

luego esta relación de constantes se mantiene a lo largo de la tubería por lo que el caudal a la entrada esta expresado por:

$$Q_{Entrada} = \lambda \sqrt{P_{Entrada}}$$

de igual forma el caudal en la última salida se calcula:

$$Q_{distal} = \lambda \sqrt{P_{Distal}}$$

Ejemplo. Distribución de presiones en redes de riego

En un sistema sólido de riego por aspersión se desea saber los caudales e intensidades de aplicación en las siguientes puntos. Entrada y final del lateral, inicio de la múltiple.

Caudal operación : 0.196 m³/h

Presión de operación : 20 m.c.a

Esp asp. X Esp. Lat. : 8 X 8 : 64 m²

Altura del elevador : 60 cm

Datos del lateral:

Hf: 0.877 m.c.a

Diferencia de cotas: 22 cm subiendo

Datos de la múltiple

Hf: 0.734 m.c.a

Diferencia de cotas: 0.18 cm subiendo

SOLUCION

Ingreso los datos básicos y oprimo el botón de Calcular

Cálculo de presiones
Hidráulica de tuberías Menú principal

Cálculo de presiones, caudales e intensidades

Tipo de riego: ☒ Aspersión ☐ Goteo
 Tipo de sistema: ☒ Sólido ☐ Solo lateral
 Combinó diámetros en la lateral: ☒ No ☐ Si
 Combinó diámetros en la múltiple: ☒ No ☐ Si

Datos básicos para el diseño

Presión de Operación	20	m	Pérdidas en el lateral	0.877	m
Caudal de Operación por salida	0.196	m ³ /h	Delta de Z en el lateral	0.22	m Sube
Altura del elevador	6	m	Pérdidas en la múltiple	0.734	m
Area Efectiva de riego por salida	64	m ²	Delta de Z en la múltiple	0.18	m Sube

	Pr. Piso (m)	Pr. Aspersor (m)	Caudal(m ³ /h)	Intensidad (mm/h)
Aspersor operación	20.6	20.0	0.196	3.063
Entrada lateral	21.341	20.741	0.2	3.119
Aspersor distal	20.244	19.644	0.194	3.035
Entrada múltiple	21.96	21.36	0.203	3.165

Entrada al múltiple

Laterales

Calcular Limpiar Imprimir Menú principal

19/07/2005

Figura 7.12

Cálculo del equipo de bombeo

En los sistemas de riego presurizado, lo común es la utilización de bombas centrífugas, para así compensar: pérdidas, elevación y presiones requeridas, con el fin de operar eficientemente nuestros sistemas. La acción de la bomba es la adición de energía cinética y potencial al agua, esta energía hará que el líquido efectúe trabajo, tal como circular por una tubería como subir a una mayor altura (Karassik,1982). Este principio se observa gráficamente en la figura 7.13 y es desarrollado matemáticamente por la ecuación de Bernoulli:

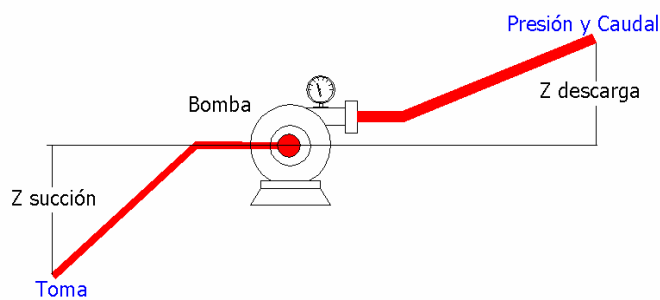


Figura 7.13 Modelo de equipo de bombeo

Energía entre la toma y la descarga:

$$P_{toma} + Z_{toma} + \frac{V_{toma}^2}{2g} + H_{bomba} = P_{descarga} + Z_{descarga} + \frac{V_{descarga}^2}{2g} + \text{Pérdidas}$$

donde:

P: Presión

Z: Altura

V: velocidad

H_{bomba}: carga de la bomba

Potencia de la bomba

La potencia hidráulica de la bomba se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Potencia = \frac{Q \cdot CDB}{274 \cdot Efic}$$

donde:

Potencia: es la potencia hidráulica bruta, en Caballos de fuerza (Hp)

Q: caudal del sistema (m³/h)

274: factor conversor de unidades

Efic: es la eficiencia del sistema moto-bomba (decimales)

CDB: es la carga dinámica de la bomba, sus unidades son en metros y para su determinación se utiliza la siguiente ecuación:

$$CDB = (Presión_{descarga} + Pérdidas_{succión} + Pérdidas_{descarga} \pm \Delta Z) \cdot 1.05$$

donde:

ΔZ : Diferencia de cotas entre la toma y la descarga

1.05: es el factor del 5% de las pérdidas secundarias.

NPSH

La carga neta positiva de succión o NPSH es la diferencia entre la carga absoluta total en el lado de la succión y la carga de presión de vapor (Manual Durman Esquivel, 2000). Su importancia en un sistema de bombeo es que jamás se debe permitir que la presión del sistema caiga por debajo de la presión de vapor ya que se evaporaría el agua dentro del ducto.

Para evitar que se alcance la presión de vapor dentro de la tubería se debe estimar el NPSH disponible en nuestro sistema y compararlo con el NPSH requerido por la bomba para mantener el agua por debajo de la presión de vapor. Siempre se cumple:

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} = P_{\text{atm}} - (Z_{\text{succión}} + P_v + H_{\text{succión}})$$

$$\text{NPSH}_{\text{disponible}} > \text{NPSH}_{\text{requerido}}$$

donde:

P_{atm} : Presión atmosférica (ver cuadro de P_{atm} vrs Altitud)

$Z_{\text{succión}}$: Diferencia de cotas entre la succión y la bomba

P_v : Presión de vapor (ver cuadro de P_v vrs Temperatura)

$H_{\text{succión}}$: Pérdidas a través de la tubería de succión

Cuadro 7.10 Presión del atmosférica vrs Altitud

Posición sobre el nivel del Mar (m.s.n.m)	Presión atmosférica (m.c.a)
0	10.32
250	10.03
500	9.73
750	9.45
1000	9.17
1250	9.02
1500	8.64
1750	9.37
2000	8.11
2500	7.58
3000	7.05

Cuadro 7.11 Presión de vapor vrs temperatura

Temperatura (°C)	Presión de Vapor (m.c.a)
0	0.06
5	0.09
10	0.12
15	0.17
20	0.25
25	0.33
30	0.44
35	0.58
40	0.76

Selección de la bomba

Para la selección de una bomba con los datos de Potencia, CDB, y caudal podemos comparar en las curvas características de una bomba, siempre y cuando no se tengan NPSH disponibles menor que el requerido y si esta nos satisface nuestras necesidades se puede utilizar.

Ejemplo. Selección de bomba

Para regar por aspersión unas hortalizas en San Isidro del Guarco (altitud: 1500, Temperatura media durante el riego 20°C), se desea seleccionar una bomba.

Los datos del sistema son:

Caudal necesario: 40 m³/h

Presión al final de la descarga: 24 m.c.a

La ubicación del equipo de bombeo es como se muestra a continuación:

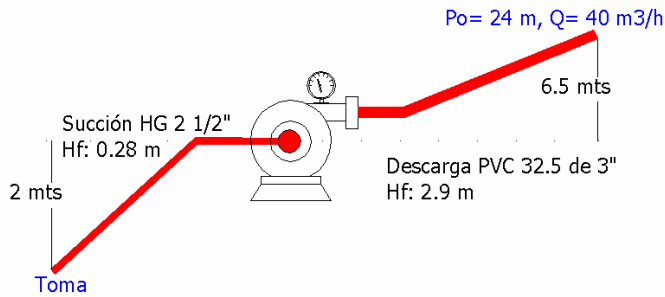


Figura 7.14

Desarrollo

Primero se digitan los datos básicos para la selección

Selección de la bomba

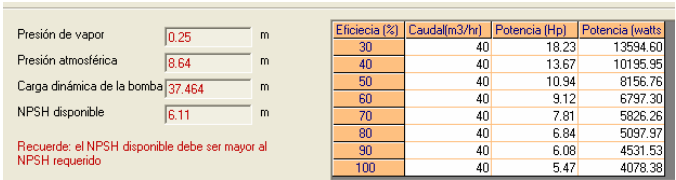
Si no existe tubería succión (pozo) o de descarga solo deje las casillas vacías

Datos básicos para la selección

Temperatura ambiente	20 °C	Pérdidas en la succión	.28 m
Elevación sobre el mar	1500 m.s.n.m.	Delta de Z en la succión	2 m Sube
Caudal requerido	40 m³/h	Pérdidas en la descarga	2.9 m
Presión al final de la descarga	24 m	Delta de Z en la descarga	6.5 m Sube

Figura 7.15

Luego se oprime el botón de Calcular y los resultados se muestran en la siguiente figura



Se proponen
diferentes
valores de
eficiencias

Figura 7.16