

# **UNIDAD N° 3**

**Hidráulica aplicada. Presión hidrostática. Principios de conservación de la masa y la energía. Perdidas de carga: medición y estimación mediante modelos matemáticos**

## **INDICE GENERAL**

<b>1. Hidráulica aplicada: Concepto y aplicaciones</b>	<b>3</b>
1.1. Hidrostática	3
1.2. Presión	4
1.3. Hidrodinámica	4
1.4. Velocidad del agua en conductos. Caracterización del flujo	5
<b>2. Energía</b>	<b>5</b>
2.1. Energía potencial y energía cinética	5
2.2. Energía debida a la presión	6
2.3. Energía total de un volumen de agua	6
2.4. Ley de conservación de la energía: Teorema de Bernoulli	7
2.5. Teorema de Torricelli	7
<b>3. Circulación de agua en tuberías</b>	<b>9</b>
3.1. Pérdidas de carga por fricción: $h_f$	10
3.2. Pérdidas de carga locales	11
3.3. Pérdidas locales: uso del factor K	11
3.4. Pérdidas locales: longitud equivalente	12
<b>4. Velocidad económica</b>	<b>13</b>
<b>5. Bibliografía</b>	<b>14</b>

## 1. Hidráulica aplicada: Concepto y aplicaciones

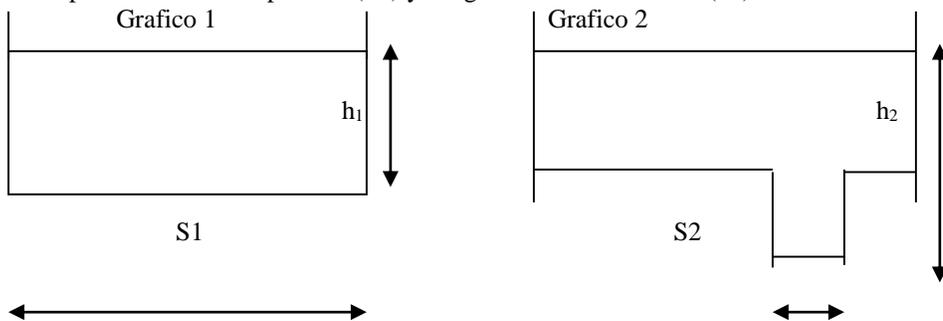
La palabra hidráulica proviene de las raíces griegas hydr. (agua) y aula (tubo). Históricamente, la hidráulica amplió su campo al estudio del comportamiento de todos los fluidos, es decir líquidos diferentes al agua y también a los gases, tanto en reposo (hidrostática), como en movimiento (hidrodinámica). Sus principios se aplican tanto al flujo en tuberías a presión, como a conductos abiertos, en los que el agua fluye a presión atmosférica en respuesta a la fuerza de gravedad. En la presente guía se hará referencia fundamentalmente al agua.

Dentro de la temática correspondiente a Riego y Drenaje, los principios de Hidráulica se aplican en:

1. Diseño de canales
2. Conducción de agua por tuberías
3. Diseño de sistemas de riego por aspersión, micro aspersión y goteo
4. Hidrometría
5. Selección de equipos de bombeo

### 1.1. Hidrostática

Estudia el comportamiento del agua en reposo. La fuerza que ejerce un líquido sobre la base del recipiente que lo contiene es igual a su peso. La Fuerza (F) y el peso (p) se miden en las mismas unidades. En el grafico 1, la base del recipiente tiene una superficie (S1) y el agua alcanza una altura (h1).



El volumen (V) del recipiente es

$$v(m^3) = s(m^2) * h(m)$$

Siendo:

v (m<sup>3</sup>) = volumen

s (m<sup>2</sup>) = superficie

h (m) = altura

El peso (p) del líquido es:

$$p = Pe * v \quad \text{siendo:}$$

p = peso (gr.)

Pe = peso específico (gr cm<sup>-3</sup>)

v = volumen (cm<sup>3</sup>)

Por lo tanto, en el gráfico 1, la fuerza que el líquido ejerce sobre la base del recipiente es:

$$F = p = Pe * v = Pe * s_1 * h_1$$

En el grafico 2 se observa un recipiente similar, pero en su base se encuentra una salida, como una válvula. El área de la salida es (S2) y la fuerza total sobre la salida será:

$$F = p = Pe * v = Pe * s_2 * h_2$$

## 1.2. Presión

La presión (Pr) se define como fuerza (F) por unidad de superficie (s):

$$Pr = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}}$$

Las unidades de presión y sus equivalencias son las siguientes:

$$1Bar \cong 760mmdeHg \cong 10,33m.c.a.(metrocolumnaagua) \cong 1 \frac{kg}{cm^2} \cong 14,7 \frac{libras}{pulgada^2}$$

$$1Bar \cong 100KPa(kilopascal) \cong 14,7 psi$$

Es frecuente utilizar con fines prácticos la equivalencia:

$$1atm \cong 1 \frac{Kg}{cm^2} \cong 10,33m.c.a$$

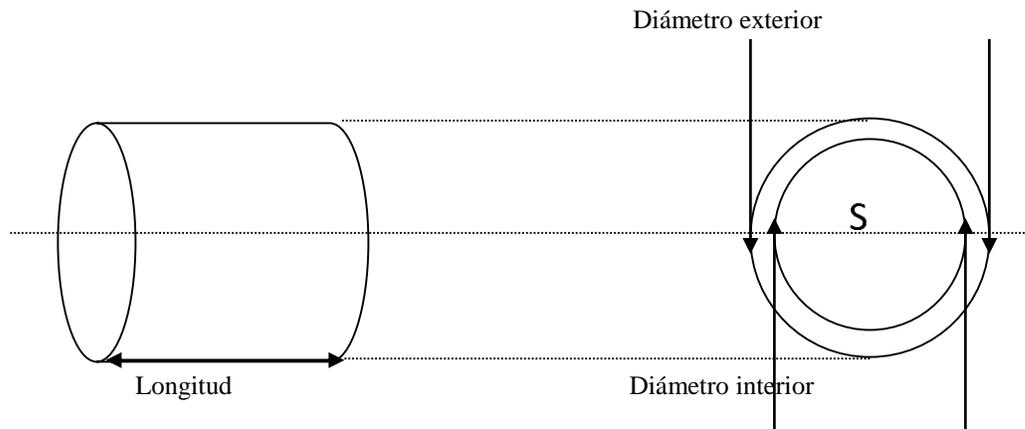
La presión hidrostática unitaria es el peso que ejerce un líquido sobre una superficie unitaria. La presión absoluta es la suma de la presión atmosférica más la presión existente en cualquier punto de un fluido. La presión manométrica (o también llamada presión efectiva), está dada por las fuerzas de presión o tensiones compresivas que actúan normalmente a las superficies de contorno en el interior de una masa líquida. Se mide con manómetros y no incluye a la Presión atmosférica. Es la que interesa medir en los sistemas de riego a presión y a la salida de las bombas.

## 1.3. Hidrodinámica

Estudia el comportamiento del agua en movimiento. En Hidrodinámica se estudiarán las relaciones entre las dimensiones de un conducto, con el caudal de agua que circula por el sistema y la velocidad de su flujo, como así también la dinámica de la energía en esos sistemas. Las dimensiones que caracterizan a un conducto son: su sección (s) y su longitud (L).

El volumen (v) está dado por:

$$v(m^3) = s(m^2) * L(m) \text{ siendo } S(m^2) = \text{superficie} = \frac{\pi * D^2}{4}$$



El caudal (Q) se define como el volumen de agua que entra o sale del conducto por unidad de tiempo:

$$Q\left(\frac{m^3}{s}\right) = \frac{\text{Volumen}(m^3)}{\text{tiempo}(s)}$$

La velocidad con la cual el agua fluye dentro del conducto se expresa como:

$$\text{Velocidad} = \left(\frac{m}{s}\right) = \frac{\text{Longitud}(m)}{\text{tiempo}(s)}$$

$$Q\left(\frac{m^3}{s}\right) = \frac{\text{Seccion}(m^2) * \text{Longitud}(m)}{\text{tiempo}(s)}$$

#### 1.4. Velocidad del agua en conductos. Caracterización del flujo

El régimen de flujo se denomina laminar cuando el avance de agua en un conducto se produce en forma de delgadas láminas. En el caso de tuberías estas láminas serían concéntricas, influenciadas por la viscosidad cinemática y con velocidades crecientes desde, velocidades nulas para la lámina inmediata a las paredes, hasta una velocidad máxima para el filete ubicado en el centro de la tubería. Al aumentar la velocidad de flujo las delgadas láminas comienzan a mezclarse entre sí, llegando a una condición de flujo denominado turbulento. Esta es la condición común en la hidráulica aplicada a conductos.

El flujo turbulento se caracteriza por su inestabilidad: tanto la velocidad como la dirección de los filetes líquidos, cambian de un punto a otro del conducto y varían de un momento a otro en cada punto del mismo. Simultáneamente, aumenta la influencia de la superficie interna del conducto sobre el flujo. Mientras más rugosa la superficie, mayor será el volumen del líquido afectado por las protuberancias presentes y menor será su velocidad.

## 2. Energía

Es la capacidad que tiene un cuerpo de realizar trabajo. Trabajo (J) es el producto de una fuerza (F), por una distancia (L)

### 2.1. Energía potencial y energía cinética

Un cuerpo de peso p, ha sido elevado a una altura h (cota), por lo que posee una energía potencial Ep:

$$\text{Energía Potencial} = p \cdot h$$

$$\text{Energía Potencial} = m \cdot g \cdot h$$

Si ese cuerpo cae libremente, perderá energía potencial, y ganará energía cinética (Ec) en el momento de su impacto sobre la línea de base (z=0), el cuerpo habrá perdido totalmente su energía potencial y su energía cinética será igual al trabajo originalmente invertido:

$$\text{Energía cinética} = \frac{1}{2} m * v^2$$

$$\text{Energía cinética} = \frac{1}{2} \frac{p(k) * v^2 \left(\frac{m^2}{s^2}\right)}{g\left(\frac{m}{s^2}\right)}$$

Si el cuerpo cae sobre el piso, su energía cinética se disipa en su totalidad en forma de energía térmica, pero podría utilizarse esa energía para realizar trabajo.

## 2.2. Energía debida a la presión

$$\text{Energía presión} = \frac{P * p}{Pe} \text{ Siendo:}$$

Energía de presión (km), P presión hidrostática (kg/m<sup>2</sup>), p peso (kg) y Pe Peso específico (kg/m<sup>3</sup>)

## 2.3. Energía total de un volumen de agua

La energía total de un volumen de agua (Et), es la suma de sus energías parciales:

**Energía total = E potencial + E cinética + E presión**

$$Et(kgm) = p(k) * h(m) + \frac{p(k) * v^2 (m^2 s^{-2})}{2g(ms^{-2})} + \frac{p(k) * P(km^{-2})}{Pe(km^{-3})}$$

Dividiendo los valores de energía por peso (p), obtenemos la energía por unidad de peso de agua, conocidas generalmente como unidades de carga. Se expresan en metros de columna de agua (m.c.a) lo que permite simplificar los cálculos en todo lo referente a Hidráulica aplicada.

Se acostumbra representar la carga con la letra H: Carga (metros) = H (metros)

Siendo:

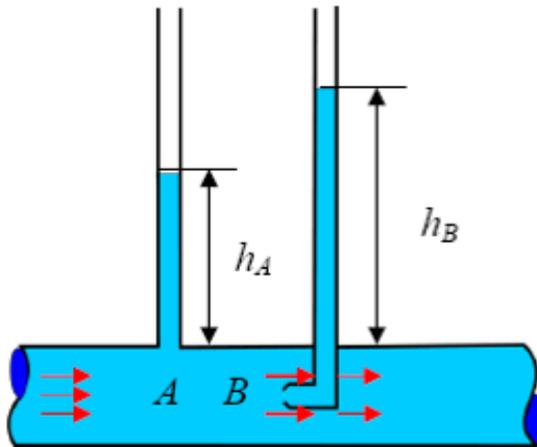
$$H_{total} = \frac{Et}{p} = H_p + H_c + H_P$$

$$H_{total} = \frac{Et}{p} = h + \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{Pe}$$

Siendo: Hp la carga debida a la posición en un conducto lleno de agua. Se mide como la cota (h) con respecto a una línea de base, o cota de referencia.

HP es la carga debido a la presión en tuberías, si la línea de referencia, es el eje central de la tubería. Se mide con el piezómetro.

El tubo de Pitot mide la suma de la carga debida a la cinética (hc) + presión (hp) si la línea de referencia, es el eje de la tubería. La entrada cónica (hidrodinámica) del tubo de Pitot enfrenta la corriente, la cual impulsa a la columna de agua dentro del tubo.

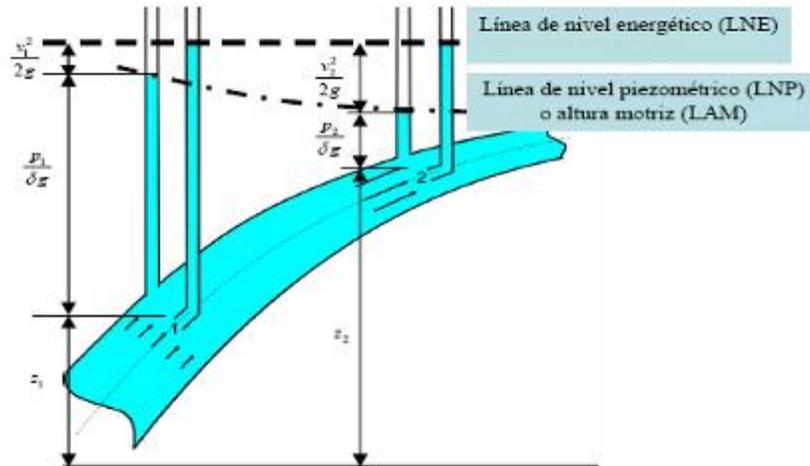


#### 2.4. Ley de conservación de la energía: Teorema de Bernoulli

La energía total ( $E_t$ ) de un líquido ideal (que fluye sin fricción en un punto (1), es igual a la energía total en cualquier otro punto.

$$E_{t(1)} = E_{t(2)} = E_{t(3)} = E_{t(n)}$$

Sin embargo, cada uno de los componentes de  $E_t$  puede variar. Por ejemplo, si en tuberías, el flujo es pendiente arriba, la energía potencial aumentará y disminuirá la energía debida a la presión. Lo contrario sucederá si el flujo corre a favor de la pendiente. Asimismo al cambiar la sección de un conducto, variará también la energía cinética. a pesar de estos cambios, la energía total será la misma en todos los puntos del sistema, para una condición ideal.



Para una condición real, incluyendo la Pérdida de carga:

Si se transforman los valores de energía, en valores de carga (H) m se puede expresar:

$$HT_1 = HT_2 = HT_3 = HT_n$$

Y considerando los componentes de la carga en cualquier punto, por ejemplo 1 y n:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_n + \frac{P_n}{\rho g} + \frac{v_n^2}{2g}$$

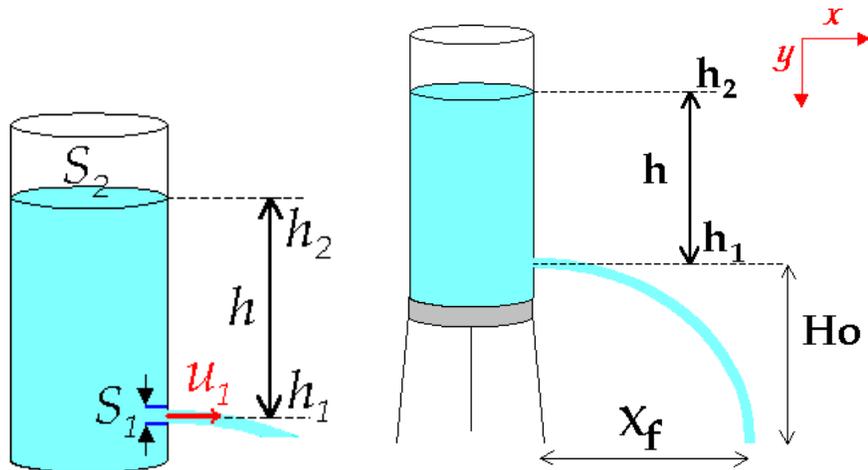
que es la expresión del Teorema de Bernoulli para tuberías, siendo para conductos abiertos:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = z_n + \frac{v_n^2}{2g}$$

En contenidos correspondientes a aforos, riego por aspersión y riego por goteo, se resuelven diferentes situaciones con las bases hidráulicas que se desarrollan a continuación:

#### 2.5. Teorema de Torricelli

En el gráfico siguiente se observa un depósito de agua cerca de cuyo fondo se ha abierto una salida lateral con un sistema de vasos comunicantes



Tomando como línea de base ( $z = 0$ ), al centro de la salida lateral y con la altura de agua ( $h$ ) dentro del depósito, se aplica el teorema de Bernoulli, al punto 1

$$Ht_1 = z_1 + \frac{P_1}{Pe} + \frac{v_1^2}{2g}$$

Dado en que en 1 la carga debida a la posición es nula,  $z(1) = 0$ , lo mismo que la carga debida a la velocidad ya que no hay flujo, la expresión sería:

$$Ht_1 = \frac{P_1}{Pe}$$

Si se deja escurrir el agua libremente por la salida lateral se puede aplicar el teorema de Bernoulli al punto 2:

$$Ht_2 = z_2 + \frac{P_2}{Pe} + \frac{v_2^2}{2g}$$

Dado que en el punto 2 la carga debida a la posición se anula,  $z(2) = 0$  y la carga debida a la presión también es cero ya que el punto se encuentra a la presión atmosférica, resulta:

$$Ht_2 = \frac{v_2^2}{2g}$$

Ya que la energía total del sistema se conserva, también se conservará la carga

$$Ht_1 = Ht_2$$

Reemplazando

$$\frac{P}{Pe} = \frac{v^2}{2g}$$

Despejando velocidad queda:

$$v = \sqrt{\frac{2gP}{Pe}} \quad \text{siendo}$$

$$H(\text{presión}) = P/Pe$$

Reemplazando

$$v = \sqrt{2g * h}$$

A partir de la relación entre la presión y la velocidad se puede desarrollar la relación entre presión y caudal o descarga (Q).

$$Q = S * v$$

$$Q = S * \sqrt{2g * h}$$

Siendo entonces la velocidad de la corriente en el punto 2 una función de la carga, se puede arribar a la ecuación general del gasto de orificios. A través de coeficientes experimentales que corrigen la velocidad teórica, teniendo en cuenta las pérdidas de carga, y corrigiendo la menor sección de la vena contraída respecto del área del orificio, quedando:

$$Q = c * S * \sqrt{2g * h} \quad \text{siendo:}$$

Q caudal (m<sup>3</sup>/s);

c coeficiente de gasto (adimensional);

S sección del orificio (m<sup>2</sup>);

h carga del orificio (m)

$$Q \left( \frac{m^3}{s} \right) = c * S(m^2) * HP(m.c.a)$$

La gran importancia práctica que tiene esta fórmula estriba en la posibilidad de estudiar y de anticipar el efecto que un cambio en la presión, dentro de un sistema de riego por aspersión o goteo, tendrá sobre el caudal que entregan los emisores (aspersores o goteros)

Hasta este punto se ha considerado condiciones de flujo ideales, bajo las cuales la suma de las energías potencial, cinética y de presión a lo largo de un conducto, se mantiene constante.

En condiciones reales la suma de energía no se mantendrá constante, ya que durante el movimiento o flujo de las partículas del agua dentro del conducto se produce un roce o fricción, tanto de las moléculas del agua entre sí, como entre estas y las paredes interiores del conducto.

A consecuencia de dicha fricción, una parte de la energía disponible se disipa en forma de calor, y por lo tanto la energía total del líquido, es decir, su capacidad para realizar trabajo útil, disminuye continuamente en el sentido de flujo.

### 3. Circulación de agua en tuberías

Se denomina tubería es todo conducto cerrado de agua. Las empleadas en riego son de sección circular y se caracterizan por:

- Diámetro exterior = D
- Diámetro interior = d
- Sección = S
- Longitud = L
- Volumen = V
- Material de fabricación = acero, aluminio, PVC, polietileno, etc.
- Espesor de pared = e

- Clase = K, que expresa la presión de trabajo de la tubería en cuestión, en atmósferas, por ejemplo = K4: 4 atm de presión de trabajo, K6: 6 atm de presión de trabajo. En el caso de tuberías de PVC las clases usuales en el mercado son 4,5,6 y 10 atm.

Como quedo expresado anteriormente, en condiciones reales, se produce una pérdida de energía en dirección del flujo. La energía perdida por fricción (f), se presenta por E (f). Además, se presentan aumentos de energía del agua cuando empleamos equipos de bombeo, E (b). Para ello hemos de consumir energía de alguna otra fuente como lo es un motor de combustión, motor eléctrico, etc..

Por lo tanto, para un liquido real hemos de escribir la ecuación de Bernoulli, como sigue:  
 E total (Et<sub>1</sub>) + Energía Bombeo (Eb) – Perdida Energía por Fricción (Ef) = E total (Et<sub>2</sub>)  
 En función de los componentes de la energía la fórmula tomará la forma siguiente:  
 Ep<sub>1</sub> + Ec<sub>1</sub> + EP<sub>1</sub> + E bombeo – E fricción = Ep<sub>2</sub> + Ec<sub>2</sub> + EP<sub>2</sub>

y en función de los componentes de carga la fórmula será:  
 Hp<sub>1</sub> + Hc<sub>1</sub> + HP<sub>1</sub> + H bombeo – H fricción = Hp<sub>2</sub> + Hc<sub>2</sub> + HP<sub>2</sub>

El término referente a la energía o (carga) cinética aporta por lo general un porcentaje muy reducido de la energía (carga) total del sistema, y frecuentemente se le desprecia en las aplicaciones prácticas.

### 3.1. Pérdidas de carga por fricción: hf

El cálculo de la energía perdida por fricción debe considerarse al diseñar un sistema de conducción de agua por tubería (aspersión y goteo). La distintas metodologías utilizadas se describen a continuación.

- Para régimen turbulento intermedio: Formula de Hazen - Willams (utilizar en diseños de sistemas de riego localizado). En su expresión más frecuente, viene dada por:

$$hf(m. c. a.) = \frac{10,376 * L(m) * Q \left( \frac{m^3}{s} \right)^{1.852}}{C^{1.852} * d(m)^{4.871}}$$

Esta fórmula se recomienda para tuberías cuyo diámetro sea superior a 5 cm y la velocidad inferior a 3 m s<sup>-1</sup>, respondiendo, con ello a una amplísima gama de condiciones de flujo turbulento. La ventaja de esta expresión es que el coeficiente de rugosidad (c) no es función del N° de RE. A continuación se presenta una tabla con valores de c más frecuentes.

Valores del coeficiente de fricción c empleados con la Fórmula de Hazen-Williams

Material de la Tubería	Coficiente c
PVC	150
Polietileno	140
Aluminio	140
Aluminio con Acoples	130
Acero Nuevo	110
Hormigón	95
Acero de 5 años	80

### 3.2. Pérdidas de carga locales

Si el líquido que fluye por la tubería cambia de dirección o de velocidad debido a alguna particularidad de ésta, se ocasionan pérdidas de carga por fricción. Se las denominan pérdidas locales  $H_l$ , para distinguirlas de las pérdidas longitudinales  $H_f$ , las cuales se presentan en tuberías rectas y han sido descritas anteriormente.

Las pérdidas locales son consecuencia de la turbulencia creada en el líquido por obstáculos tales como curvas, derivaciones, cambio de diámetro, el paso por accesorios tales como válvulas, filtros, etc. En las instalaciones de riego es imprescindible instalar toda clase de accesorios.

### 3.3. Pérdidas locales: uso del factor K

La fórmula básica que se emplea para dichos cálculos se deriva de la de Darcy-Weisbach ya vista.

$$h_f = f * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

en cual se sustituyen  $f * L/d$  por un factor  $K$ , característico de cada accesorio, el cual se determina experimentalmente:

$$h_l = K * \frac{v^2}{2g}$$

A continuación se representan algunos ejemplos de pérdidas de carga locales,  $H_l$  en diversos accesorios. Los ejemplos que se presentan a continuación deben servir únicamente de guía, y no deben tomarse como válidos para cualquier accesorio disponible en el mercado. Los datos presentados no se obtuvieron a base de una teoría, sino, como resultado de ensayos realizados sobre un accesorio determinado. Tanto el diseño del accesorio, como la calidad del material empleado en su producción, el acabado de sus superficies internas como el deterioro de éstas con el uso, afectan a las pérdidas de carga del accesorio. De la fórmula de Darcy-Weisbach surge que también la descarga ( $Q$ ), o bien, la velocidad ( $v$ ) afectan a dichas pérdidas.

Al diseñar un sistema de riego, es sumamente importante considerar además del precio y de la calidad de los accesorios, a sus características hidráulicas. Un artículo barato y mal diseñado ocasionará pérdidas de carga excesivas, lo que tendrá como consecuencia la necesidad de sobredimensionar o bien el diámetro de la tubería, o la estación de bombeo, o bien ambas. Para accesorios de mayor valor, como lo son las válvulas, medidores de agua, filtros de toda clase, etc., es posible obtener directamente del fabricante la información pertinente. Es de recomendar que durante la planificación de un sistema de riego, se obtenga toda la información de la compañía o de su agente.

Nota: Es sumamente importante prestar atención a las unidades empleadas en las tablas, gráficos y ábacos y así evitar errores en los cálculos de  $H_l$ .

**Valores de factor K, para el cálculo de pérdidas de carga (m.c.a.) en accesorios empleando la fórmula :**

$$h_l = K * \frac{v^2}{2g}$$

Pieza, conexión o dispositivo	$K_f$
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.0
Válvula alfallera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

### 3.4. Pérdidas locales: longitud equivalente

Otra forma de representar las pérdidas de carga ocasionadas por accesorios instalados sobre tuberías, es expresándola en términos de longitud equivalente. Por longitud equivalente de un accesorio se entiende un tramo de tubería recto, ficticio, adicional al de la tubería real, sobre la cual va montado dicho accesorio y el cual ocasionará una pérdida de carga longitudinal  $H_f$  idéntica a la del accesorio.

A continuación, se presenta una tabla de longitudes equivalentes para algunos de los accesorios más utilizados en riego.

DIAMETRO INTERNO (m.m.)	CURVA 90° R-3D	CURVA 90° R-2D	CODO	TE	MANGUERA R-100	
LONGITUD EQUIVALENTE EN m DE TUBO RECTO						
25	0.52	0.70	0.82	1.77	0.30	
32	0.73	0.91	1.13	2.38	0.40	
40	0.85	1.10	1.31	2.74	0.49	
50	1.07	1.40	1.68	3.35	0.55	
65	1.28	1.65	1.98	4.27	0.70	
80	1.55	2.07	2.47	5.18	0.85	
90	1.83	2.44	2.90	5.79	1.01	
100	2.13	2.77	3.35	6.71	1.16	
115	2.41	3.05	3.66	7.32	1.28	
125	2.71	3.66	4.27	8.23	1.43	
150	3.35	4.27	4.88	10.06	1.55	
200	4.27	5.49	6.40	13.11	2.41	
250	5.18	6.71	7.92	17.07	2.99	
300	6.10	7.92	9.75	20.12	3.35	
350	7.01	9.45	10.97	23.16	4.27	
400	8.23	10.87	12.80	26.52	4.88	
450	9.14	12.19	14.02	30.48	5.49	
500	10.36	13.11	15.85	33.83	6.10	

#### 4. Velocidad económica

En todas las instalaciones de bombeo los dimensionamientos de los diámetros de las líneas de aspiración y elevación obedecen a criterios donde se conjugan las inversiones y los costos operativos. Para obtener un costo total mínimo, se constata que las velocidades de escurrimiento permanecen dentro de los siguientes límites:

$$V \text{ máxima de aspiración} = \text{entre } 1,5 \text{ y } 2 \text{ m s}^{-1}$$

$$V \text{ máxima de elevación} = \text{entre } 2,5 \text{ y } 3 \text{ m s}^{-1}$$

Así, el dimensionamiento del diámetro de las líneas de aspiración y elevación puede basarse en estos límites de velocidad, llamados de velocidad económica, a través del uso de la ecuación de continuidad.

$$Q = S * v = \frac{\pi * d^2}{4} * v$$

$$d.elev = \sqrt{\frac{4Q}{\pi * v.elev}}$$

$$d.asp = \sqrt{\frac{4Q}{\pi * v.asp}}$$

Siendo:

d.asp: Diámetro de la tubería de aspiración (m)

d.elev: Diámetro de la tubería de elevación (m)

Q Caudal ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )

v: velocidad económica ( $\text{m s}^{-1}$ )

A través de estas fórmulas, uno puede aproximar los diámetros de las tuberías de un sistema de riego presurizado estableciendo una velocidad.

Ejemplo.

Definir el diámetro de la tubería que deberá conducir un caudal de 10 m<sup>3</sup>/h evitando superar una velocidad de 2 m/s.

$$\mathbf{diámetro} = \sqrt{\frac{4 * Q}{(\pi * Vel)}}$$

$$\mathbf{diámetro} = \sqrt{\frac{4 * 0.00277 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{(3.1416 * 2(\text{m/s}))}}$$

Diámetro = 0.042 m de diámetro.

Esto significa que partiendo de un tubo con diámetro de 42mm o superior, no excederemos la velocidad determinada por el sistema.

## 5. Bibliografía

5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON IRRIGATION PROCEEDINGS Tel Aviv Israel 26-27 March 1990

DRIP AND MICROIRRIGATION for Trees Vines and Row Crops (with special sections on buried drip) 1994 by The Irrigation Training & Research Center

DRIP TRICKLE IRRIGATION IN ACTION (VOLUME I-II) Proceedings of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress November 18-21, 1985 by American Society of Agricultural Engineers. Center Plaza Holiday Inn - Fresno California USA ISBN 0-444-42681-8 (set)

FIFTEENTH INTERNATIONAL IRRIGATION EXPOSITION & TECHNICAL CONFERENCE IRRIGATION ASSOCIATION TECHNICAL CONFERENCE Proceedings November 5-8 1994 Atlanta Georgia

FUNDAMENTOS DEL CALCULO HIDRAULICO EN LOS SISTEMAS DE RIEGO Y DRENAJE REGADIOS CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DE REGADIOS 1992 MAPA - IRYDIA 1992 Ediciones Mundi- Prensa NIPO 253-92-014-1 ISBN 84-341-0777-5 (MAPA-IRYDIA) ISBN 84-7114-423-9 (De Mundi - Prensa)

IRRIGATION 1983 by the Irrigation Association Library of Congress Catalog Card N°83-81439

IRRIGATION ENGINEERING SPRINKLER TRINCKLE SURFACE IRRIGATION PRINCIPLES DESIGN AND AGRICULTURAL PRACTICES 1984 Authors and Irrigation Engineering Scientific Publications (IESP) ISBN 965-222-029-9 (Hardcover) ISBN 965-222-030-2 (Softcover)

Manual de Hidráulica Ing. Dante Dalmati Centro de Estudiantes de Ingeniería de la Universidad de La Plata 1984

MICROIRRIGATION A Compilation of Published Articles from Applied Engineering in Agriculture and Transactions of the ASAE 1995 by American Society of Agricultural Engineers ISBN 0-929355-63-6  
MICROIRRIGATION FOR A CHANGING WORLD CONSERVING RESOURCES PRESERVING THE ENVIRONMENT Proceedings of the Fifth International Microirrigation Congress April 2-6 1995 Hyatt Regency Orlando Orlando Florida 1995 by American Society of Agricultural Engineers LCCN 95-60363 ISBN 0-929355-62-8

RIEGO LOCALIZADO REGADIOS CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DE REGADIOS 1992 MAPA - IRYDIA 1992 Ediciones Mundi - Prensa NIPO 253-92-013-6 ISBN 84-341-0770-8 (MAPA - IRYDIA) ISBN 84-7114-397-6 (Mundi - Prensa)

RIEGO POR MICROASPERSION Octubre 1989 PRENSA XXI S.A. ISBN 84-86052-16-5

RIEGOS A PRESION MEDIA Y ALTA FRECUENCIA DISEÑO CALCULO INSTALACION ELEMENTOS AUXILIARES Enero 1988 - PRENSA XXI SA ISBN 84-86052-12-2

THE IRRIGATION ASSOCIATION 1987 TECHNICAL CONFERENCE PROCEEDINGS CONSERVING ENERGY WATER AND OTHER RESOURCES THROUGH IRRIGATION Orange Country Convention /Civic Centre 1988 by the Irrigation Association Library of Congress Catalogue Card Number 76-12209

VISIONS OF THE FUTURE Proceedings of the Third National Irrigation Symposium October 28 November 1990 Phoenix Civic Plaza - Phoenix Arizona by American Society of Agricultural Engineers LCCN 90-84064 ISBN 0-929355-09-1