

TP N° 3

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

Equipo docente:

Ing. Agr. Leopoldo J. Génova (Dr. M. Sc.), Profesor Titular
Ing. Agr. Ricardo Andreau, Profesor Adjunto
Ing. Agr. Marta Etcheverry (M. SC.), Jefe de Trabajos Prácticos
Ing. Agr. Pablo Etchevers, Jefe de Trabajos Prácticos
Ing. Agr. Walter Chale, Ayudante Diplomado
Ing. Agr. Calvo Luciano Ayudante Diplomado
Ing. Agr. Facundo Ramos Artuso Ayudante Diplomado

INDICE GENERAL

1. Hidráulica aplicada: Concepto y aplicaciones	3
1.1. Hidrostática	3
1.2. Presión	4
1.3. Hidrodinámica	4
1.4. Velocidad del agua en conductos. Caracterización del flujo	5
2. Energía	5
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	8
3. Circulación de agua en tuberías	10
3.1. Pérdidas de carga por fricción: h_f	11
3.2. Fórmula de Darcy Weisbach para el cálculo de h_f	11
3.3. Utilización del diagrama de Moody:	11
3.4. Fórmulas empíricas para el cálculo de h_f	12
3.5. Pérdidas de carga locales	13
3.6. Perdidas locales: uso del factor K	14
3.7. Perdidas locales: longitud equivalente	16
4. Velocidad económica	17
5. Ejercicio desarrollado	18
6. Ejercitación	20
7. Bibliografía	22

1. Hidráulica aplicada: Concepto y aplicaciones

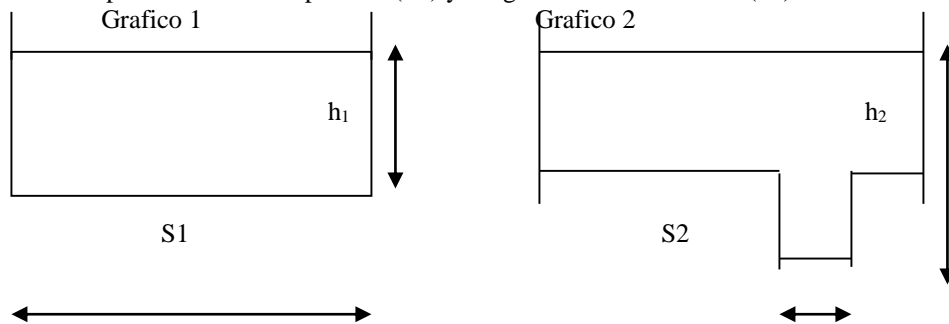
La palabra hidráulica proviene de las raíces griegas hydr. (agua) y aula (tubo). Históricamente, la hidráulica amplió su campo al estudio del comportamiento de todos los fluidos, es decir líquidos diferentes al agua y también a los gases, tanto en reposo (hidrostática), como en movimiento (hidrodinámica). 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

$$v(m^3) = s(m^2) * h(m) \text{ siendo}$$

v (m³) = volumen
s (m²) = superficie
h (m) = altura

El peso (p) del líquido es:

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

p = peso (gr.)
Pe = peso específico (gr cm⁻³)
v = volumen (cm³)

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:

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

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

Es frecuente utilizar con fines prácticos la equivalencia:

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

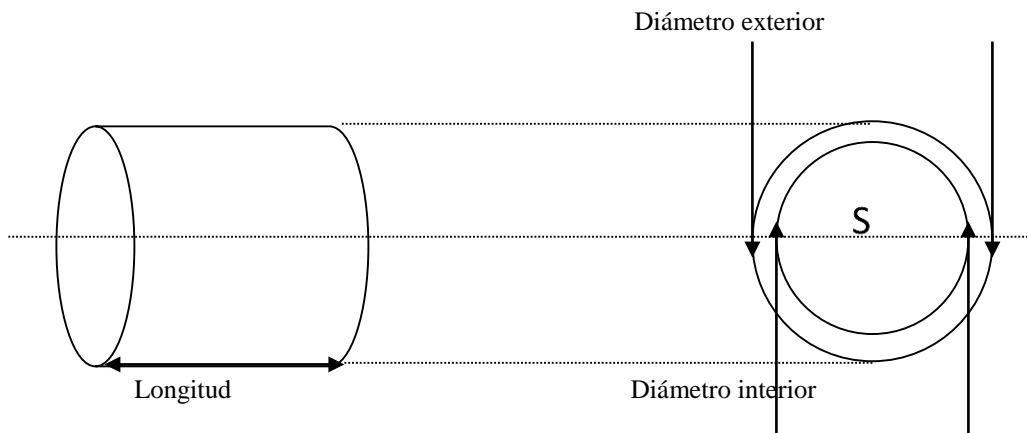
La presión hidrostática unitaria es el peso que ejerce un líquido sobre una superficie unitaria. La presión absoluta es la suma de la presión atmosférica más la presión existente en cualquier punto de un fluido. La presión manométrica (o también llamada presión efectiva), está dada por las fuerzas de 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:

$$\begin{aligned} \text{Energía Potencial} &= p \cdot h \\ \text{Energía Potencial} &= m \cdot g \cdot h \end{aligned}$$

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:

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

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

2.2. Energía debida a la presión

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

Energía de presión (km), P presión hidrostática (kg/m²), p peso (kg) y Pe Peso específico (kg/m³)

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:

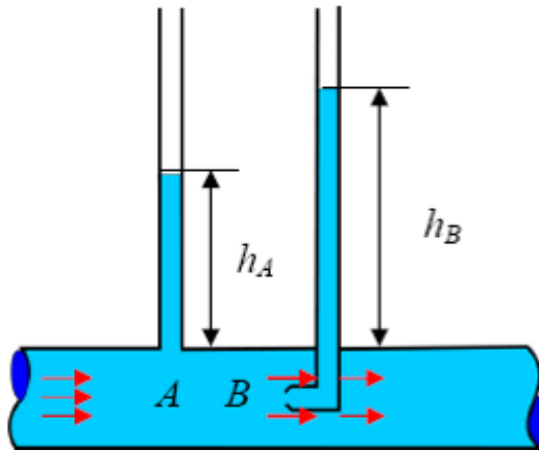
$$H_{total} = \frac{Et}{p} = Hp + Hc + HP$$

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

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.

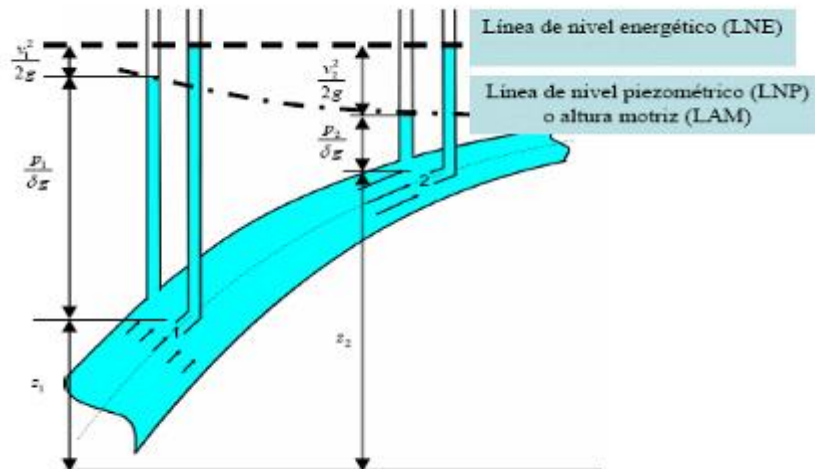


2.4. Ley de conservación de la energía: Teorema de Bernoulli

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:

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

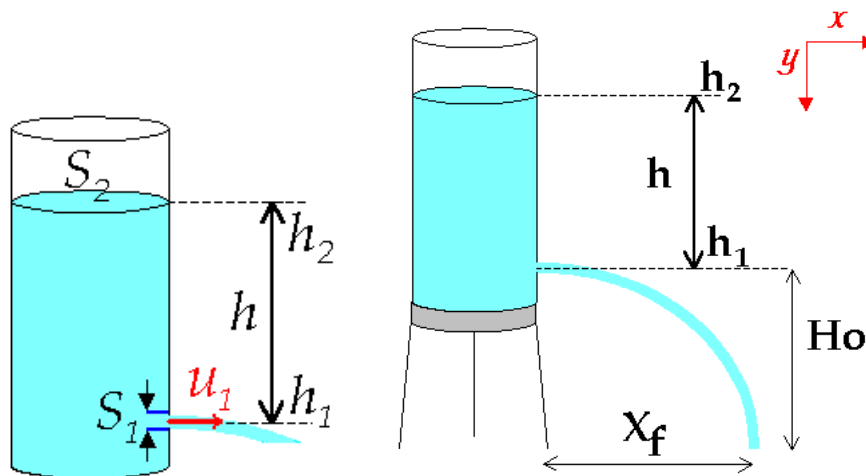
que es la expresión del Teorema de Bernoulli para tuberías, siendo para conductos abiertos:

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

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:

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

$$H(\text{presión}) = \frac{P}{Pe}$$

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 (m³/s) ;

c coeficiente de gasto (adimensional);

S sección del orificio (m²);

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.
- Rugosidad = E, es una medida de la aspereza de la superficie interior del conducto, la cual se encuentra en contacto con el líquido que fluye en este. Tiene unidades de longitud (mm).

En la tabla siguiente se encuentran tabuladas la rugosidad de distintas tuberías.

RUGOSIDAD DE LAS TUBERIAS:	Rugosidad en mm:	Rugosidad en mm:
Material:	Valor máximo	Valor mínimo
Plásticos:	0,03	0,003
Tuberías por extrusión:	0,015	
Hierro revestido con asfalto:	0,0024	
Acero comercial	0,03	0,09
Hierro galvanizado:	0,2	0,06
Hierro colocado:	0,25	
Acero Forjado:	0,3	0,09
Hierro fundido	0,1	0,6
Aluminio:	0,1	0,3
Tuberías de Hormigón:	3,0	0,3
Acero remachado:	9,0	0,9

Rugosidad relativa = es la fracción obtenida al dividir la rugosidad de una tubería por su diámetro interior expresado en mm.

$$Rugosidad\ relativa = \frac{E(mm)}{d(mm)}$$

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 líquido real hemos de escribir la ecuación de Bernoulli, como sigue:

$$E\ total\ (Et_1) + Energía\ Bombeo\ (Eb) - Pérdida\ Energía\ por\ Fricción\ (Ef) = E\ total\ (Et_2)$$

En función de los componentes de la energía la fórmula tomará la forma siguiente:

$$Ep_1 + Ec_1 + EP_1 + E\ bombeo - E\ fricción = Ep_2 + Ec_2 + EP_2$$

y en función de los componentes de carga la fórmula será:

$$H_{p1} + H_{c1} + H_{p1} + H \text{ bombeo} - H \text{ fricción} = H_{p2} + H_{c2} + H_{p2}$$

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). Las distintas metodologías utilizadas se describen a continuación.

3.2. Fórmula de Darcy Weisbach para el cálculo de hf

La fórmula de Darcy Weisbach obtenida a partir del escurrimiento en tuberías con flujo laminar, permite calcular las pérdidas de carga teniendo en cuenta los elementos mencionados en el apartado anterior y un factor de rugosidad o factor de fricción – f – adimensional, que depende de la rugosidad relativa de la tubería.

Esta fórmula es de uso universal ya que se emplea para cualquier condición de flujo (laminar, crítico, o turbulento) y tipo de fluido, variando en cada caso el valor de f.

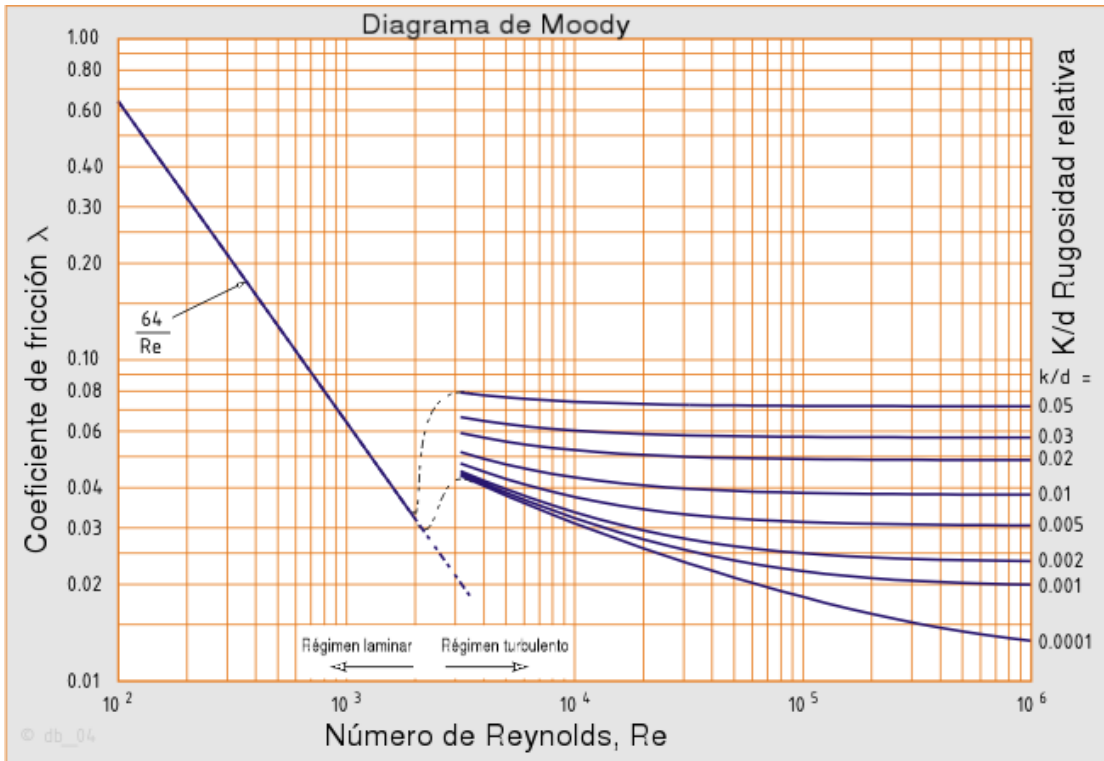
$$hf(m.c.a.) = f \frac{\text{Longitud}(m) * \text{Velocidad}^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2}{\text{diámetro}(m) * 2 * g(m/s^2)}$$

El factor de rugosidad f se determina según el régimen de flujo:

1. Para régimen laminar depende únicamente del número de Reynolds (RE).
2. f (régimen laminar) = $64 / RE$
3. Para régimen crítico tiene valores inciertos
4. Para régimen turbulento liso f (régimen turbulento liso) = $0,0032 + 0,21 * RE^{-0.237}$
5. Para régimen turbulento intermedio: depende de RE y de la Rugosidad relativa (E/d).
6. Para régimen turbulento rugoso (turbulencia completa): depende solo de la rugosidad relativa.

3.3. Utilización del diagrama de Moody:

Para determinar el valor f se utiliza el diagrama de Moody. Se entra al gráfico de Moody por la curva correspondiente a la rugosidad relativa de la tubería con que se está trabajando, y por abscisas con el N° de Reynolds. A partir del punto de intersección, se traza una horizontal, hasta el valor de f.



3.4. Fórmulas empíricas para el cálculo de hf

Son las utilizadas mayormente para el diseño de sistemas de riego a presión. Hay una gran cantidad de Software desarrollado incluyendo la utilización de estas formulas. Si se emplean para la condición de flujo para el que se las ha determinado, presentan un error estimado razonable (5%). Su utilización masiva se debe a que en el uso cotidiano serían mayores los errores derivados de una incorrecta determinación de f (para el empleo de Darcy - Weisbach) que el que pudiese cometerse empleando las empíricas. No requieren la determinación de f. Responden a la expresión general:

$$J = c \cdot d^{-\alpha} \cdot Q^{\beta} \text{ siendo}$$

J pérdida de carga unitaria en (m/m)

d diámetro en m

Q caudal en m³/s

Se describen a continuación las más usadas:

- Para régimen turbulento liso existen diferentes fórmulas, según el rango de RE en el que esté trabajando, por ejemplo la fórmula de la ASAE (American Society of Agricultural Engineers) se la emplea para rangos de $10^5 < RE \leq 10^7$, que para temperaturas del agua de 15°C queda:

$$hf(m.c.a.) = \frac{0,00098 * L(m) * Q \left(\frac{m^3}{s} \right)^{1,828}}{d(m)^{4,828}}$$

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

$$hf(m.c.a.) = \frac{10,376 * L(m) * Q \left(\frac{m^3}{h} \right)^{1,852}}{c^{1,852} * d(mm)^{4,871}}$$

Esta fórmula se recomienda para tuberías cuyo diámetro sea superior a 5 cm y la velocidad inferior a 3 m s⁻¹, 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

Formula de Scobey (utilizar en diseños de riego por aspersión para el cálculo de tuberías de aluminio o acero galvanizado con acoples).

$$hf(m.c.a.) = \frac{E*k*L*Qx^{1,9}}{dx^{4,9}} \quad \text{Siendo:}$$

E constante: 0,0041 cuando hf d y L se expresan en metros y el Q en m³ s⁻¹
 k coeficiente de rugosidad de Scobey. A continuación se presenta una tabla con sus valores más frecuentes.

Coficiente de Rugosidad de Scobey k

Material de tubería	k
Plástico y Fibrocemento	0,32
Tubos de aluminio con acoples	0,40
Tubos de acero galvanizado con acoples	0,42

Como se observa en esta tabla, los coeficientes de rugosidad para al aluminio y el acero galvanizado tienen en cuenta las pérdidas de carga accidentales que se originan en los acoples rápidos de los tubos utilizados normalmente, en las instalaciones móviles o semifijas de los sistemas de aspersión.

- Para régimen turbulento rugoso:

Esta fórmula empírica es utilizada para tuberías, pero su mayor aplicación en hidráulica es en conductos abiertos (canales)

$$hf(m.c.a.) = \frac{10,3 * n * L(m) * Q \left(\frac{m^3}{s} \right)}{Diametro(m)^{5,33}}$$

Siendo n un coeficiente que depende de las características de las paredes del conducto. Para PE, n=0,07; en PVC, n=0,007 a 0,008

3.5. 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 Hl, para distinguirlas de las pérdidas longitudinales Hf, 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.

3.6. 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, Hl 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 Hl.

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

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

Válvulas (diámetro nominal)

TIPO	3"	4"	5"	6"	8"	10"
Globo, rosca	6,00	5,70				
Globo, brida	7,00	6,30	6,00	5,80	5,60	5,50
Compuerta,	0,14	0,12				
Rosca	0,21	0,16	0,13	0,11	0,08	0,06
Compuerta,	1,30	1,00				
Brida	2,20	2,10	2,00	2,00	2,00	2,00
Angulo, rosca	2,10	2,00				

Angulo, brida	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
De retención	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Válvulas de retención con flujo parcial

Angulo de la compuerta	15	30	45	60	75
Valor de K	1,7	3,2	9,5	30	90

Difusores ensanchamiento gradual de sección en forma de cómo truncado

Angulo de vértice	20	20	60	80
Valor de K	0,20	0,28	0,32	0,35

Valores del Factor K						
Diámetro	3"	4"	5"	6"	8"	10"
Codo 90 rosca común	0,8	0,7				
Codo 90 rosca arco	0,30	0,23				
Codo 90 brida común	0,34	0,31	0,30	0,28	0,26	0,25
Codo 90 brida arco	0,25	0,22	0,20	0,18	0,15	0,14
Codo 45 rosca común	0,30	0,28				
Codo 45 brida arco	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16
TE de 90 Flujo recto Rosca	0,90	0,90				
TE de 90 Flujo recto Brida	0,16	0,14	0,13	0,12	0,10	0,09
TE de 90 Flujo lateral Rosca	1,20	1,10				
TE de 90 Flujo lateral Brida	0,73	0,68	0,65	0,60	0,56	0,52











Valores aproximados de K (pérdidas locales)			
Pieza	Pérdida	Pieza	Pérdida
Ampliación gradual	0,30	Confluencia	0,40
Boquillas	2,75	Medidor Venturi	2,50
Compuerta abierta	1,00	Reducción gradual	0,15
Controlador de caudal	2,50	Válvula de ángulo abierto	5,00
Codo a 90	0,90	Válvula de compuerta abierta	0,20
Codo a 45	0,40	Válvula tipo globo abierta	10,00
Rejilla	0,75	Salida de tubo	1,00
Curva a 90	0,40	T. Pasaje directo	0,60
Curva a 45	0,20	T. Salida de lado	1,30
Curva a 22 grados 30 minutos	0,10	T. Salida bilateral	1,80
Entrada normal de tubo	0,50	Válvula de pie	1,75
Entrada de borde	1,00	Válvula de retención	2,50
existencia de pequeña derivación	0,03	Velocidad	1,30









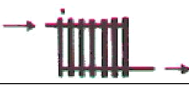




3.7. Pérdidas locales: longitud equivalente

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.

Así por ejemplo si un codo de 3" tiene una longitud equivalente a 2,25 m, ello indica que un tramo de tubería de 3" y de 2,25 m de longitud ocasionará una pérdida de carga idéntica a la del codo.

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

Diámetros de las tuberías	Pulgadas	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
	Milímetros	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
	Manguito de unión	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
	Cono de reducción	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1	1,3	2	2,3	3	4	5
	Codo o curva de 45°	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,3	1,5	1,6
	Curva de 90°	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1	1,3	1,5	1,5	2	2,6	3,4
	Codo de 90°	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,3	1,7	1,9	2	2,2	2,9	4
	"Te" de 45°	1	0,8	0,9	1	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,3
	"Te" arqueada o de curvas ("pantalones")	1,5	1,7	1,8	1,9	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6	6,6
	"Te" confluencia de ramal (paso recto)	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2
	"Te" derivación en ramal	1,8	2,5	3	3,6	4,1	4,6	5	5,5	6,2	6,9	7,7	8,9
	Válvula retención de batiente	0,2	0,3	0,6	0,8	1,2	1,5	1,9	2,7	3,4	4,9	6,6	8,3

Diámetros de las tuberías	Pulgadas	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
	Milímetros	10	15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150
	Válvula retención de pistón	1,3	1,7	2,3	2,9	3,7	4,7	5,8	6,9	8,4	11	13	15
	Válvula retención paso de escuadra	5,1	5,4	6,5	8,5	12	13	17	21	25	36	42	51
	Válvula de compuerta abierta	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,8	1,1	1,4	1,7
	Válvula de paso recto y asiento inclinado	1,1	1,3	1,7	2,3	2,9	3,5	4,5	5,5	6,7	8,8	11	13
	Válvula de globo	4,1	5	6,3	8,3	11	13	17	21	25	33	39	48
	Válvula de escuadra o ángulo (abierta)	1,9	2,6	3,4	4,3	5,6	6,9	8,6	11	14	17	21	26
	Válvula de asiento de paso recto	-	3,4	3,6	4,5	5,7	8,1	9	-	-	-	-	-
	Intercambiador	-	-	-	2,1	5	13	13	14	25	-	-	-
	Radiador	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,8	6,5	7	7,5	8	10
	Radiador con valvulería	3,8	4,4	5,3	6	6,8	7,5	8,8	10	11	13	14	15
	Caldera	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,8	6,5	7	7,5	8	10
	Caldera con valvulería	3	4,2	4,9	5,6	6,3	7	8	8,8	9,5	10	11	12
	Contador general individual o divisionario	4,5 a 10 mc.d.a.											

Nota: Para tuberías lisas (k=0,05 mm) multiplicar los valores del cuadro por 1,40

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:

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

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

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)

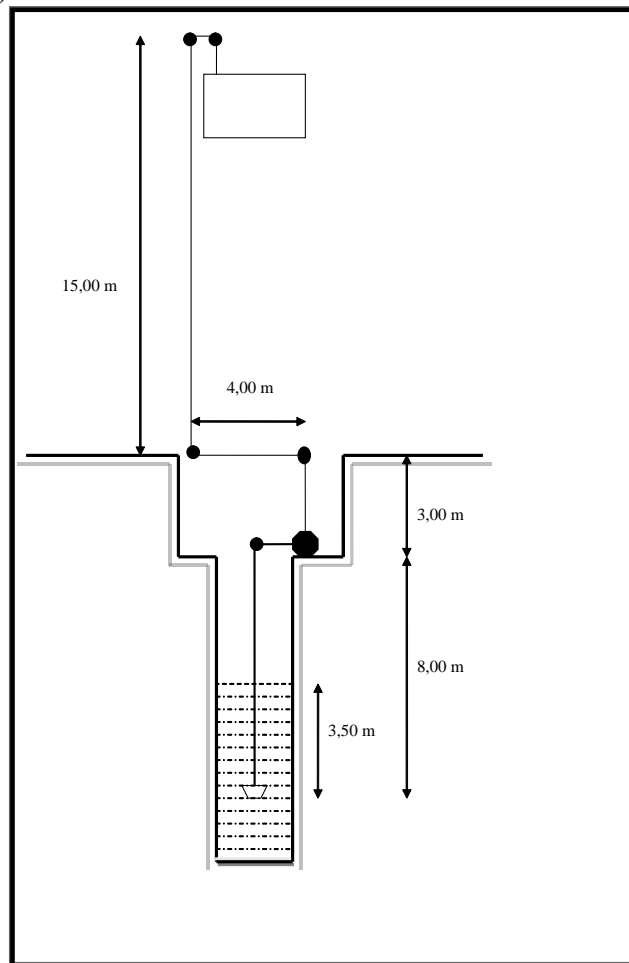
d.elev: Diámetro de la tubería de elevación (m)

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

v: velocidad económica ($m s^{-1}$)

5. Ejercicio desarrollado

Determinación de la altura manométrica y cálculo de las pérdidas de carga (por el método de las longitudes de cañerías equivalentes).



Datos: Caudal $Q : 14,5 l s^{-1}$

Diámetro $d : 75 mm (3'')$

Rugosidad absoluta $e : 0,15 mm$ (hierro galvanizado nuevo)

Altura de aspiración $H_a : 4,50 m$

Altura de elevación $H_e : 18,00 m$

Obtención de la información necesaria para el cálculo

Rugosidad relativa $e/d : 0,002$

Sección $s : 0,0044 m^2$

Velocidad v : $3,29 \text{ m s}^{-1}$
 Viscosidad cinemática $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$
 Número de Reynolds Re : 250.000
 Coeficiente de fricción f : $0,025$
 Pérdida de carga en la cañería de aspiración (h.asp)
 Longitud equivalente para sección de 3 pulgadas **ver página 16**

Válvula de retención batiente	3,40 m
Codo 90° rosca común	2,00 m
Caño de aspiración	8,00 m
Total:	13,40 m

$$H_{fa} = f \frac{L * v^2}{d * 2g} = 0,025 \frac{13,4m * (3,29 \frac{m}{s})^2}{0,075m * 2 * 9,8(\frac{m}{s^2})} = 2,46m$$

Pérdida de carga en la cañería de elevación (h.elev) **ver página 16**

4 codos de 90° rosca común (2 m * 4)	8,00 m
Longitud de la cañería de elevación	22,00 m
Total:	30,00 m

$$H_{fe} = f \frac{L * v^2}{d * 2g} = 0,025 \frac{30,00m * (3,29 \frac{m}{s})^2}{0,075m * 2 * 9,8(\frac{m}{s^2})} = 5,52m$$

La altura manométrica H_m será:

$$H_m : H_a + h_{fa} + H_e + h_{fe}$$

$$H_m: 4,50 \text{ m} + 2,46 \text{ m} + 18,00 \text{ m} + 5,52 \text{ m} = 30,48 \text{ m}$$

2) Determinación de la altura manométrica y cálculo de las pérdidas de carga (por el método de los coeficientes K , de pérdidas por accesorios).

Datos: Caudal Q : $14,5 \text{ l s}^{-1}$
 Diámetro d : 75 mm (3")
 Rugosidad absoluta e : $0,15 \text{ mm}$ (hierro galvanizado nuevo)
 Altura de aspiración H_a : $4,50 \text{ m}$
 Altura de elevación H_e : $18,00 \text{ m}$
 Obtención de la información necesaria para el cálculo
 Rugosidad relativa e/d : $0,002$
 Sección s : $0,0044 \text{ m}^2$
 Velocidad v : $3,29 \text{ m s}^{-1}$
 Viscosidad cinemática $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$
 Número de Reynolds Re : 250.000
 Coeficiente de fricción f : $0,025$
 Pérdida de carga en la cañería de aspiración (h.asp)

$$H_{f \text{ asp}} = f \frac{L * v^2}{d * 2g} = 0,025 \frac{8,00m * (3,29 \frac{m}{s})^2}{0,075m * 2 * 9,8(\frac{m}{s^2})} = 1,47m$$

$$H_{f \text{ válvula}} = K_{válvula} \frac{v^2}{2g} = 2,5 \frac{(3,29 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,8(\frac{m}{s^2})} = 1,38m$$

$$Hf_{curva} = K_{curva} \frac{v^2}{2g} = 0,4 \frac{(3,29 \frac{m}{s})^2}{2 * 9,8 (\frac{m}{s^2})} = 0,22m$$

hf aspiración = 1,47 m + 1,38 m + 0,22 m = 3,07 m

Pérdida de carga en la cañería de elevación (h elev)

$$Hf_{caño elev} = f \frac{L * v^2}{d * 2g} = 0,025 \frac{22,00m * (3,29 \frac{m}{s})^2}{0,075m * 2 * 9,8 (\frac{m}{s^2})} = 4,04m$$

$$Hf_{curva} = K_{curva} \frac{v^2}{2g} * 4 = 0,4 \frac{(3,29 \frac{m}{s})^2 * 4}{2 * 9,8 (\frac{m}{s^2})} = 0,88m$$

hf elevación = 4,04 m + 0,88 m = 4,92 m

La altura manométrica Hm será:

Hm : Ha + hf asp + He + hfelev

Hm: 4,50 m + 3,07 m + 18,00 m + 4,92 m

Hm = 30,49 m

6. Ejercitación

- 1) Determine la altura geométrica y manométrica para el siguiente sistema. Calcule las pérdidas de carga por el método de las longitudes equivalentes

Cultivo arroz irrigado

Demanda de agua 2,5 l/s ha (dotación)

Jornada de trabajo 15 hs

Área a regar 20 ha

Altura de aspiración 3,5 m

Altura de elevación 7 m

Longitud de la tubería de aspiración 10 m

Longitud de la tubería de elevación 22 m

Tipo de tubería PVC (factor de rozamiento f= 0,031)

Piezas especiales:

Aspiración: válvula de pie 65 m

Curva de 90 grados 4,1 m

Elevación: Curva de 90 grados 3,3m

Dos curvas de 45 grados = 3m (cada una 1,5m)

Salida de tubería =6 m

Considerar velocidades económicas de 1,5 m/s en aspiración y 2,5 m/s en elevación.

2) Calcule la altura manométrica total para una bomba centrífuga de eje horizontal que funciona en el siguiente sistema:

Cota pelo de agua del río: 10,74 m

Cota eje de la bomba: 12,50 m

Cota descarga: 17,25 m

Presión estable del equipo de riego por aspersión: 3,5 atm

Perdida de carga total estimada 1,25 atm

3) El agua necesaria para regar un cultivo por melgas, será conducida por tuberías de aluminio de $\phi = 6''$ y $f = 0,02$, que tiene dos codos y una válvula. En el punto de inicio de la tubería (punto A), se encuentra ubicada la válvula. La distancia desde el punto A hasta el primer codo es de 100 m y entre codos es de 50 m. La distancia entre el último codo y el punto de salida B, es de 20 m. En el punto A ingresa un $Q = 100 \text{ m}^3/\text{h}$ con $P = 7 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Los coeficientes de pérdida de carga localizada de los codos es $K_{\text{codo}} = 5,0$ y el de la válvula es $K_v = 18,0$. Calcule la presión existente en el punto B. Considere $P_i = 3,14$; 1 pulgada = 25 mm, $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 10 \text{ m}$; $g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$.

4) Calcular la altura manométrica entre los puntos A y B a partir de los siguientes datos y esquema:

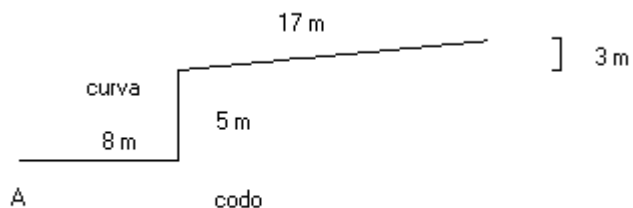
Velocidad 3 m/s

$f = 0,02$

$D = 100 \text{ mm}$

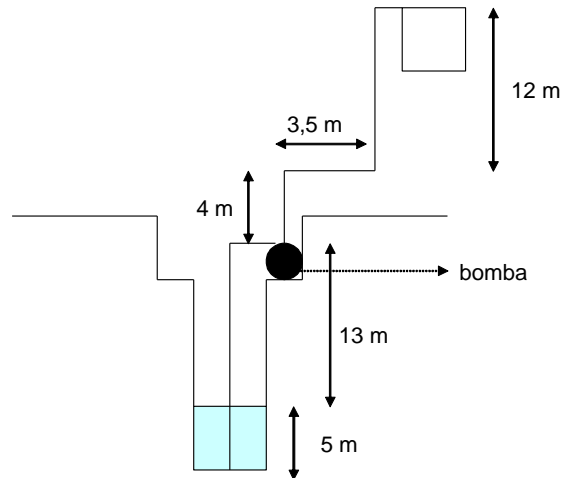
$K_{\text{curva}} = 0,60$

$K_{\text{codo}} = 0,80$



5) Calcular la altura manométrica total (m) :

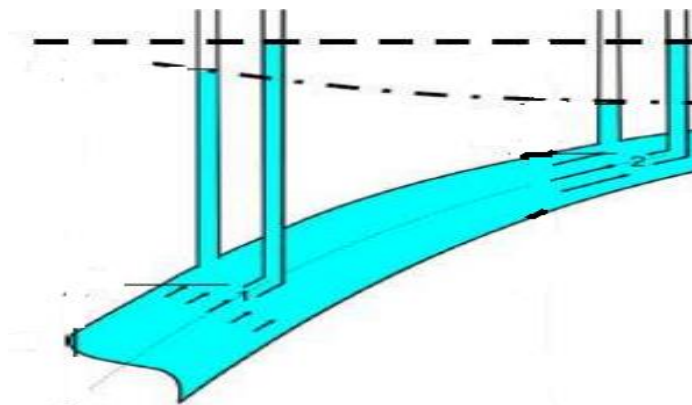
Cultivo: arroz Mes Diciembre $f = 0,031$ pérdidas de carga localizadas: 2 atm
 $E_0: 4,5 \text{ mm}/\text{día}$ $K_c \text{ arroz}: 1,9$ $V = 1,21 \text{ m}/\text{s}$ Superficie a regar: 40 ha Jornada de trabajo: 16 hs
Eficiencia de la bomba: 70 % Eficiencia transmisión motor/bomba: 85 %



Revisión de contenidos:

Sobre la figura indicar para los puntos 1 y 2:

- Energía Total
- Energía de Posición
- Energía de Velocidad
- Energía de Presión



7. 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