

CAPÍTULO nº 3.

ELEMENTOS DE HIDRÁULICA

RECORDATORIO: CÁLCULOS Y CONCEPTOS DEL RIEGO LOCALIZADO

Se presentan como una continuación de lo indicado en el Capítulo nº 2, sobre la conducción del agua a presión por las tuberías y las p. c. producidas.

Este Capítulo es de recordatorio de los cálculos del riego localizado con las dos finalidades:

Técnicos.- Conseguir que el agua sea conducida a la entrada de los emisores con la presión nominal (PN) del gotero, indicada o aconsejada por la empresa suministradora.

Económicos.- Los mínimos aconsejables en el costo del presupuesto dentro de la calidad prevista.

Los factores a tener en cuenta son:

- Presión nominal (PN) de tubería y emisor.
- Pérdidas de carga (p.c.)
- Caudal circulante (Q)
- Longitud tubería

Presión nominal (PN)

Es la presión de fábrica del elemento o pieza, para su mejor funcionamiento que no conviene sobrepasar.

Presión nominal de la tubería (PN).- Es la presión interior máxima que resiste la tubería al paso del agua, medida a una temperatura de 20° C.

Presión de trabajo (PT).- Es la presión interior máxima que resiste una tubería. Se aplica un coeficiente de seguridad de resistencia, que para el PE es de 1,37 y para el PVC es 2,5.

A partir de los 25°C de temperatura la resistencia de las tuberías disminuye. Esto es muy importante tenerlo en cuenta especialmente en las “laterales” o portagoteros de color negro que al no estar enterradas está más expuestas al calor del sol de verano. A partir de los 35°C su PT puede disminuir a **0,36 PN**, es decir, que

para los climas mediterráneos estas tuberías no deben tener una PN inferior a 0,4 MPa.

Presión nominal del emisor (PN).- Es la presión aconsejada para que el caudal sea lo más uniforme posible, según las características del emisor. Si en el diseño no se puede conseguir esa presión, es difícil que funcione bien.

Según la calidad del material, se tiene un intervalo en las *p. c. máximas admisibles* y se aconseja que no se supere el $\pm 5\%$, entre la máxima presión y la mínima, que se reparte entre la “lateral” más desfavorecida y la “terciaria”.

De aquí se deducen dos situaciones:

1ª.- Que se tienen que instalar goteros de amplio rango (categoría A) para tener mayor flexibilidad.

2ª.- Que los instaladores prefieran los goteros autocompensantes que evitan problemas de uniformidad sin necesidad de hacer tantos cálculos, pero de efectividad temporal limitada.

Longitud de la tubería:

a. Longitud real (L_R).- Se considera la tubería limpia y recta, completamente horizontal, sin pendientes, ni codos y sin ninguna instalación de otros elementos o puntos especiales, que puedan incrementar las p. c.

b. Longitud equivalente (L_I).- Debido a la instalación de otros elementos o puntos especiales, como derivaciones, reducciones, válvulas, etc. y también a las ondulaciones y cambios de sentido (codos), que incrementan las p. c. por rozamiento.

c. Se han calculado unas equivalencias en metros lineales artificiales, como si la tubería fuera más larga, para que dicho aumento de tubería imaginaria recta compense los incrementos de p. c. por dichos puntos especiales (**Anejo 3**, tabla 1)

d. Longitud total (L_T).- Es la suma de las dos longitudes anteriores.

Ejemplo.- Una tubería de 32 m de longitud tiene 3 codos y 1 válvula de retención incorporada ¿Cuál será su longitud total a efectos de cálculos?

L_R	.....	32 m
L_f	3 codos	10 m
1 válvula.	4 m	

L_T	.....	46 m

Diámetro nominal (DN).- En las tuberías de plástico es el $\varnothing$ exterior, por lo que incluye el grosor de las paredes.

Diámetro interior (DI).- Es el verdadero $\varnothing$ para los cálculos y por donde circula el agua a presión, por lo que siempre es menor que el DN de la misma tubería.

Cálculo del $\varnothing$ de la “lateral” más desfavorecida.- Para el cálculo, se elige la que tiene más p. c., la más alejada o la que tiene más goteros instalados. Su p. c. debe ser inferior al intervalo permitido en la subunidad, ya que todavía faltan las p. c. de la “terciaria”.

Cálculo del $\varnothing$ de la “terciaria” más desfavorecida.- Siguiendo el mismo razonamiento, de forma que las p. c. de ambas tuberías sean igual o menor del rango que permita la categoría del emisor, dentro del $\pm 5\%$.

LAS PÉRDIDAS DE CARGA

Al circular el agua a presión por dentro de las tuberías, debido al rozamiento con las paredes se producen unas pérdidas de presión denominadas pérdidas de carga (p. c.).

En todo planteamiento de un riego a presión se tiene que contar con la presión disponible, con el fin de adaptar los $\varnothing$ de las tuberías y demás implementos a esta disponibilidad.

Para cada categoría de tubería se aplica un porcentaje de la presión disponible, como se aprecia perfectamente en el dibujo de **la Escalera de Presiones o de las p. c.** de las tuberías de una instalación de riego.

En las pequeñas instalaciones normalmente solo hay dos, la lateral o portagotos y la terciaria, que se distribuyen las p. c. según longitud y caudal, pero en la práctica se suele distribuir por igual o el 55% a la “lateral” y el 45% a la “terciaria”.

Su cálculo:

1.- Con coeficientes

1.1.- Coeficiente mayorante (K_M en mayúscula). - Para compensar el aumento de las p. c. al conectar otros elementos.

1.2.- Coeficiente minorante (k_m en minúscula). - Cuando la disminución de caudal sea uniforme también disminuyen uniformemente las p. c. y aplicando el coeficiente se evitan operaciones.

Para facilitar los cálculos se multiplica directamente por el coeficiente correspondiente.

2.- En tuberías

2.1.- Con respecto al caudal

Cuando en una tubería se disminuye el caudal previsto, las p. c. también disminuyen. Al pasar menos agua la velocidad también es menor y, por lo tanto, también es menor el rozamiento.

$$Q = S \cdot v$$

Cada vez que varía el caudal se tendría que hacer un cálculo diferente para ese tramo, lo que equivale a muchas operaciones a lo largo de la tubería portagotos.

Cuando las disminuciones de caudal sean en tramos regulares o sensiblemente iguales, como suelen ser en la subunidad, se han deducido unos coeficientes de Christiansen, por ser uno de los investigadores que más ha trabajado en esa especialidad.

En el **Anejo 3**, tabla 11, están los coeficientes reductores o minoritarios (k_m) para compensar la disminución uniforme del caudal circulante, según el nº de conexiones o derivaciones. No se tiene que confundir la **insuficiencia** de caudal con el de **suministro** que ocurre por falta de caudal, al haber aumentado el consumo o el nº de goteros, sin modificar el $\varnothing$ de las tuberías.

Si las necesidades fueran superiores al caudal permisible de la tubería, no es posible mantener la presión adecuada en la red, por lo que se debe dividir en sectores con necesidades de caudal igual o inferior al caudal disponible. Se tardará más en regar, pero se podrá regar bien.

2.2.- Con respecto a puntos especiales

Cuando se intercala alguna pieza, como válvulas, filtro, derivación, etc., el rozamiento del agua en ese punto es mayor. Por lo tanto se tiene que prever como un gasto “extra” de p. c.

En los catálogos de los fabricantes y casas suministradoras de material, suelen indicar las p. c. que ocasionan directamente como pérdidas de presión, o indirectamente dándoles unas equivalencias, como si fueran **metros horizontales** de tubería. A esta longitud imaginaria se la denomina con varios nombres y el más lógico es el de “longitud equivalente”, que sumada a la longitud real de la tubería, constituye la “longitud total”, sólo a efectos de cálculo de las p. c.

En las “terciarias” puede resultar más práctico multiplicar la longitud real por un coeficiente mayorante (K_M), que varia según el tipo de conexión y de la separación de las laterales (**Anejo 3**, tabla 10).

Para las “laterales” de la citada tabla, aparecen distintos metros equivalentes, según que los emisores estén conectados “en línea” o “pinchados” y en el $\varnothing$ de la tubería. (**Anejo 3**, tabla 9)

Ejemplo nº 1.- Calcular la longitud total (L_T) de una tubería de 2 pulgadas (63 mm $\varnothing$), de longitud real (L_R) 90 m, teniendo una conexión “T” de derivación en collarín, 1 codo de 45°, otro de 90°, 1 válvula reguladora y 1 manguito reductor:

L_R	.....	90,00 m
T derivación	.....	2,00 m
Codo de 45°	.....	3,00 m

Codo de 90°	5,00 m
Válvula reguladora	10,00 m
Manguito reductor	2,00 m
Longitud total (L _T)	112,00 m

Ejemplo n° 2.- Calcular la L_T de una terciaria de 50 m que está enterrada por el medio de una parcela, saliendo ramales a ambos lados cada 5 m (**Anejo 3**, tabla 2).

$$L_T = L_R \times K_M = 50 \text{ m} \times 1,40 = 70,0 \text{ m}$$

2.3.- Con respecto al trazado

Cuando las tuberías están con pendiente hacia abajo las p. c. resultan menores, pudiendo llegar con pendiente fuerte a tener más presión al final que al principio. Todo esto se puede regular con reguladores de presión y en casos exagerados de fuerte desnivel instalando pocetas a cielo abierto bien distribuidas con entrada y salida.

Cuando las tuberías son ascendentes, además de resultar mayores las p. c. por el desnivel y el peso del agua, es más difícil conseguir uniformidad. Debido a ello es conveniente que en todo diseño se procure llevar primero el agua al punto más elevado y desde allí hacer las derivaciones pertinentes o bien dividir el consumo en sectores, de tal forma que su inicio esté siempre en la cota igual o superior.

Para los cálculos de los diámetros (Ø) y las p. c. en los Anejos **4 y 5** están las tablas con los valores de p. c. en m.c.a./m de las tuberías, según:

- Material (PE y PVC)
- Caudal
- DI y DN de las tuberías
- Presión nominal

Todo ello expresado en “*metros de columna de agua por metro horizontal*” (**m.c.a./m**) de tubería. Cuando se superan las p. c. del caudal para un Ø determinado, se pasa a calcular la tubería con DI inmediato superior.

Caudal circulante (Q)

La cantidad de agua que pasa por las tuberías, expresado en:

- Litros por segundo (l/s)
- Litros por minuto (L/min.)
- Litros por hora (l/h)
- Metros cúbicos por hora (m^3/h), etc.

Como el caudal es el resultado de multiplicar la velocidad por la sección, según las unidades de medida utilizadas, vendrá expresado el caudal.

El caudal de los emisores vienen expresados en l/h, por lo que solo con multiplicar dicho caudal por el nº de goteros de la tubería, se sabe el caudal circulante Q en l/h de la tubería.

Para el cálculo en los diámetros, se aconseja una velocidad de 1 m/s en el riego localizado y cuando se trata de aspersores de 1,5 m/s.

También conviene recordar que cuando hayan disminuciones uniformes de caudal, es más práctico utilizar coeficientes reductores.

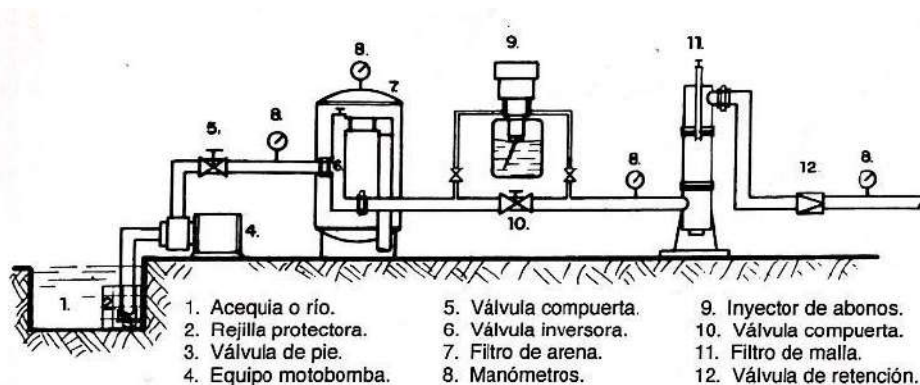
Caudal en cabeza o inicial. - Es el caudal de agua entrada al inicio de la tubería. Para mayor comodidad se expresa en l/h, como los goteros.

PÉRDIDAS DE CARGA DEL CABEZAL

El cabezal es lo más caro de la instalación del RL por tener más puntos especiales que el resto, siendo conveniente que lo instale personal especializado.

Al igual que en las redes, las p. c. dependerán de los elementos incorporados y de los accesorios y para facilitar los cálculos también existen tablas y ábacos.

Supongamos el cabezal simbólico del esquema adjunto, suficiente para las pequeñas instalaciones.



Sin contar la profundidad del agua del pozo, (altura geométrica), las p. c. a calcular serían a partir de una longitud ficticia, en metros lineales (m) o en metros verticales (m.c.a.), según convenga en el estudio.

Longitud ficticia o equivalente

- Tuberías de aspiración e impulsión	.....	tub.	m
- Filtro de arena	.....	Fa	m
- Abonadora	.....	Ab.	m
- Válvulas compuerta	.....	Vc	m
- Filtro malla	.....	Fm	m
- Válvula retención	.....	Vr	m
- Válvula de pie	.....	Vp	m
TOTAL	.....		m

Las p. c. son las de todos los accesorios y puntos especiales, que sumados a los de la altura geométrica, más las producidas en la red y las de la presión nominal (PN) de los emisores, resultará la presión necesaria que, como mínimo, tiene que tener asegurada la instalación previamente a otros estudios.

Normalmente para pequeñas parcelas que no presenten problemas graves de desniveles, con unos 2- 3 “kilos” de presión inicial, suele ser suficiente.

INSTALACIÓN Y CÁLCULOS DE TUBERÍAS

Existen fórmulas exponenciales, para los cálculos de instalación de todos los elementos necesarios, según la importancia y complejidad de la instalación, como las p. c., diámetro de las tuberías, caudales e implementos, etc.

Para los cálculos de las p. c. de cualquier pequeña instalación, se tienen en cuenta los siguientes datos:

1º.- La longitud total de las tuberías (L_T) que dependerá de la longitud real y de las conexiones y accesorios que se inserten, pudiendo encontrar sus equivalencias en el **Anejo 3**, tabla 9.

2º.- El caudal circulante, que cuando disminuya uniformemente se le aplicará un coeficiente minoritario (**Anejo 3**, tabla 11).

3º.- Para una presión determinada, el porcentaje de las p. c. (h) vienen calculadas en los **Anejos 4 y 5** expresadas en metros verticales de columna de agua por cada metro horizontal de tubería (**m.c.a./m**) y dependerá del material, del caudal circulante y del $\varnothing$ DN de la tubería.

Dado el carácter divulgativo del libro, con las PN de las tuberías se sustituyen las fórmulas con los resultados calculados en las tabla en el **Anejo 4** para tuberías de PE y **Anejo 5** para tuberías de PVC, con muy pocas diferencias de caudal entre ellas para facilidad de los usuarios, evitando o reduciendo interpolar.

Las p. c. de cualquier tubería (J) de presión determinada, para un caudal y diámetro dado, serían las siguientes:

a) Cuando no hay derivaciones que disminuyan el caudal, la fórmula es más sencilla pudiéndose presentar de 3 formas:

$$J = L_T \cdot h \equiv (L_R + L_f) h \equiv L_R \cdot K_M \cdot h$$

b) Cuando haya disminución uniforme de caudal, la misma fórmula con el coeficiente minoritario k_m

$$J = L_T \cdot h \cdot k_m \equiv (L_R + L_f) h \cdot k_m$$

c) Cuando hayan variaciones que aumentan y disminuyan

$$J = L_R \cdot K_M \cdot h \cdot k_m$$

CÁLCULO DE LA SUBUNIDAD

En las pequeñas parcelas, la subunidad es lo único que hay. Tanto en riegos individuales como comunitarios. Todo proyecto tiene por finalidad que el agua llegue a los goteros a la presión nominal indicada en su fabricación y con el caudal suficiente. Si falta una de estas dos condiciones el emisor no funcionará bien y si la categoría del emisor permite unas fluctuaciones de presión, tendrán que estar dentro del intervalo por lo que conviene realizar un control de la uniformidad de los goteros.

En los **Anejos** existen tablas que facilitan los cálculos de todos los casos que se pueden presentar, que de forma sencilla resuelven el problema, pero sería conveniente comprobar su veracidad aprovechando los ejercicios. Es un trabajo que corresponde a los investigadores o sencillamente como prácticas de alumnado en Escuelas técnicas.

Para el cálculo de las p. c. en las tuberías, (**Anejos 4 y 5**), se ha ampliado actualmente el nº de caudales, con diferencias muy pequeñas entre ellas para dar más facilidades y no tener que interpolar según diámetros y presión nominal de las tuberías más frecuentes, bastando con aplicar el coeficiente reductor o minorativo (k_m) cuando haya disminución uniforme de caudal circulante. También se ha ampliado mediante un complemento los caudales exagerados y aplicando una sencilla regla de tres se obtiene el resultado.

Ejemplo: Se va a instalar una tubería de P.E., DN 16 mm y PN 0,4 MPa para un caudal circulante de 116 L/h.

Según el **Anejo 4**, las p. c. calculadas para este tipo de tubería son:

- Tubería de estas características y caudal de 116 l/h $\rightarrow$ p.c. = 0,0105 m.c.a/m

Así de fácil. Para algunos $\varnothing$ superiores puede que no esté el caudal pedido y en este caso se toman las p. c. del caudal inmediato superior, cuya diferencia será ínfima y se está del lado de la seguridad o bien hacer una interpolación.

CÁLCULO DE LAS TUBERÍAS DE DISTRIBUCIÓN

Tanto la tubería principal como las secundarias, son más sencillas de calcular que las de la subunidad, ya que al no haber disminución de caudales no se tienen que aplicar coeficientes minorantes (k_m).

La longitud total a efectos de cálculo estará constituida por la longitud real más la equivalente por los accesorios que se instalen a lo largo de la conducción y cambios de dirección, como válvulas, reducciones, codos, etc, cuya equivalencia se encuentra en el **Anejo 3**, tabla 1.

Ejemplo aclaratorio

Calcular los $\varnothing$ comerciales de la red de distribución de tuberías de PVC, teniendo la limitación de que las p. c. no deben superar los 6 m.c.a. La longitud de la tubería principal es de 150 m (L_{R1}), con un caudal de 60.000 l/h y la presión nominal de 0,6 MPa.

La tubería secundaria (L_{R2}) más desfavorable tiene una longitud de 80 m y el caudal circulante es de 30.000 l/h y su PN de 0,4 MPa.

Los puntos singulares y sus equivalencias indicados en la tabla adjunta:

Tabla nº 7

Tubería principal	Equivalencias (m)		Tubería secundaria	Equivalencias (m)
válvula retención	6		Reductor calibre	5
Vál. Reguladora	10		1 toma	1
Codo 45°	3		Codo 45°	3
Codo 90°	5		Vál. retención	5
Total L_{e1}	24		Total L_{e-2}	14

Primer paso: Distribución proporcional de las p. c. máximas admisibles, según longitud de la tubería:

$$J_1 = \frac{J}{L_{R1} + L_{R2}} L_{R1} = \frac{6 \text{ m.c.a.}}{150 + 80} 150 = 3,91 \text{ m.c.a.}$$

$$J_2 = \frac{J}{L_{R1} + L_{R2}} L_{R2} = \frac{6 \text{ m.c.a.}}{150 + 80} 80 = 2,09 \text{ m.c.a.}$$

Segundo paso: Calcular el Ø comercial de la tubería inferior (recordar el dibujo de los peldaños de escalera), que en este ejemplo es la “secundaria” la más desfavorecida que además es la más barata.

$$L_{T2} = L_{R2} + L_{e.2} = 80 + 14 = 94 \text{ m}$$

p. c. máx. admisible

$$h_2 = \frac{J_2}{L_{T2}} = \frac{2,09 \text{ m.c.a.}}{94 \text{ m}} = \mathbf{0,0223 \text{ m.c.a./m.}}$$

Consultando el **Anejo 5** (PVC y 0,4 MPa), para un caudal igual o superior de 30.000 l/h, se tiene:

En tubería DN 90 mm y Q = 30.024 l/h, las **p. c. = 0,0212 m.c.a./m.**

Como son inferiores a las p. c. máximas permisibles **se Acepta.**

Las p. c. reales son:

$$J_2 = L_{T2} \cdot h_2 = 94 \text{ m} \times \mathbf{0,0212 \text{ m.c.a./m}} = \mathbf{1,99 \text{ m.c.a.}}$$

Tercer paso: Se calcula el Ø comercial de la tubería principal.

$$J_1 = J - J_2 = 6 \text{ m.c.a.} - 1,99 \text{ m.c.a.} = 4,01 \text{ m.c.a.}$$

$$L_{T.1} = L_{R1} + L_{e1} = 150 \text{ m} + 24 \text{ m} = 174 \text{ m}$$

p. c. máx. admisible

$$h_1 = \frac{J_1}{L_{T.1}} = \frac{4,01 \text{ m.c.a.}}{174 \text{ m}} = 0,0230 \text{ m.c.a./m}$$

Otra técnica de cálculo:

Para $J_1 = 3,91 \text{ m.c.a.}$

p. c. máx. admisible

$$h_1 = \frac{J_1}{L_{T.1}} = \frac{3,91 \text{ m.c.a.}}{174 \text{ m}} = 0,0225 \text{ m.c.a./m}$$

Consultando en el **Anejo 5**, (PVC y 0,6 MPa):

Para un caudal igual o superior a 60.000 l/h: Se encuentra

En tubería PVC y DN 125 mm y 0,6 MPa, con $Q = 6$

$$h_1 = 0,0169 \text{ m.c.a./m} < \text{máxima permisible. **Apta**}$$

En ambos supuestos las p. c. son inferiores a las máximas admisibles.

Conclusión

Se instalará como principal una tubería PVC y DN 125 mm y 0,6 MPa y para las “secundarias” tuberías PVC, de DN 90 mm y 0,4 MPa

Como sobra calibre a la tubería principal se la podría aumentar el caudal circulante a 71.500 l/h.

GOTEROS: Calidad, caudal, nº y tiempo de riego

El gotero o emisor es el elemento más importante de la instalación, ya que todos los cálculos realizados finalizan en él para que el agua salga sin presión y con el caudal previsto, permitiéndose una variación máxima $\pm 5\%$, por lo que debe ser de categoría A.

En el coeficiente de variación se admite una diferencia entre el gotero de máxima y el de mínima que no supere el 10%.

El nº de goteros va a depender del tipo de suelo, del porcentaje de superficie mojada o $\% S_m$ y de la duración del riego, así como del cultivo Herbáceo o

Arbóreo. Anteriormente era un dato aleatorio y actualmente es el resultado de aplicar fórmulas y calcular.

Al inicio de esta técnica se ponían 3 goteros en la hilera de troncos y poco a poco han ido aumentando al ponerlos en doble hilera por los laterales y actualmente, con la aparición de los goteros incorporados de menor caudal, están muy juntos en número mayor y desde luego excesivo.

El caudal se expresa normalmente en litros por hora (l/h) y el más elegido es el de 4 l/h, aunque en suelos pesados o arcillosos, serían preferibles los de 2 l/h, y en los arenosos, los de 8 l/h, como se indican y aplican en los ejercicios.

Con las fórmulas que estamos usando en esta edición del libro, se puede calcular exactamente el nº de goteros más apropiado para cada situación y cultivo, por árbol o por MP, como se tendrá ocasión de comprobar en los ejercicios.

Es volver a lo que era el verdadero riego localizado, ahorro de agua con vegetación exuberante.