

Tema 8. Pérdidas de carga localizadas o accidentales

1. Introducción y concepto
2. Cálculo de las pérdidas de carga localizadas
3. Longitud equivalente de la conducción
4. Pérdidas de carga localizadas de mayor importancia cuantitativa
5. Consideraciones prácticas para evaluar las pérdidas de carga localizadas

1. Introducción y concepto.

Además de las pérdidas de carga continuas o por rozamiento, vimos que en las conducciones se produce otro tipo de pérdidas debido a fenómenos de turbulencia que se originan al paso de líquidos por puntos singulares de las tuberías, como cambios de dirección, codos, juntas, derivaciones, etc, y que se conocen como *pérdidas de carga accidentales, localizadas o singulares* (h_L , h_s), que sumadas a las pérdidas de carga continuas (h_C) dan las pérdidas de carga totales (h_T).

2. Cálculo de las pérdidas de carga localizadas.

Normalmente, las pérdidas de carga continuas son más importantes que las singulares, pudiendo éstas despreciarse cuando supongan menos del 5% de las totales, y en la práctica, cuando la longitud entre singularidades sea mayor de mil veces el diámetro interior de la tubería.

Salvo casos excepcionales, las pérdidas de carga localizadas sólo se pueden determinar de forma experimental, y puesto que son debidas a una disipación de energía motivada por las turbulencias, pueden expresarse en función de la altura cinética corregida mediante un coeficiente empírico K.

$$h_s = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad [1]$$

El coeficiente K es adimensional y depende del tipo de singularidad y de la velocidad media en el interior de la tubería.

En la práctica y para cálculos rápidos que no precisen de gran exactitud, se suelen adoptar los siguientes valores aproximados de K.

Accesorios	K	L/D
Válvula esférica (totalmente abierta)	10	350
Válvula en ángulo recto (totalmente abierta)	5	175
Válvula de seguridad (totalmente abierta)	2.5	-
Válvula de retención (totalmente abierta)	2	135
Válvula de compuerta (totalmente abierta)	0.2	13
Válvula de compuerta (abierta $\frac{3}{4}$)	1.15	35
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{2}$)	5.6	160
Válvula de compuerta (abierta $\frac{1}{4}$)	24.0	900
Válvula de mariposa (totalmente abierta)	-	40
"T" por la salida lateral	1.80	67
Codo a 90° de radio corto (con bridas)	0.90	32
Codo a 90° de radio normal (con bridas)	0.75	27
Codo a 90° de radio grande (con bridas)	0.60	20
Codo a 45° de radio corto (con bridas)	0.45	-
Codo a 45° de radio normal (con bridas)	0.40	-
Codo a 45° de radio grande (con bridas)	0.35	-

En conducciones circulares, la fórmula [1] puede expresarse en función del gasto mediante la ecuación:

$$h_s = m' \cdot K \cdot Q^2 \quad [2]$$

$$\text{siendo } m' = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{4}{\pi \cdot D^2} \right)^2 = 0.0826 \cdot D^{-4}$$

El valor de m' para distintos diámetros comerciales es el siguiente:

D (metros)	m'	D (metros)	m'
0.05	13222	0.25	21155
0.06	6376.4	0.30	10202
0.07	3441.8	0.35	5506.7
0.08	2017.5	0.40	3228.1
0.09	1259.5	0.45	2015.3
0.10	826.38	0.50	1322.2
0.15	163.24	0.60	637.64
0.20	51.649	0.70	344.18

3. Longitud equivalente de la conducción.

Un método no completamente exacto pero válido a efectos de estimar las pérdidas de carga localizadas consiste en expresarlas en forma de longitud equivalente (L_e), es decir, valorar cuántos metros de tubería recta del mismo diámetro producen una pérdida de carga continua que equivale a la pérdida que se produce en el punto singular.

Por tanto, la longitud equivalente de una singularidad puede determinarse igualando las fórmulas para el cálculo de h_s y h_c :

$$\left. \begin{array}{l} h_s = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \\ h_c = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_s = h_c \\ K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \rightarrow L = L_e = \frac{K \cdot D}{f} \end{array}$$

La pérdida de carga total en una tubería de longitud L con i singularidades de longitud equivalente L_{ei} cada una de ellas, será la que produce una tubería del mismo diámetro pero con una longitud total $L_T = L + \sum L_{ei}$

Por ejemplo, si la suma de los coeficientes de resistencia (K) en las singularidades de una tubería de 200 mm de diámetro y $f=0.020$ es $K=15$, significa que para calcular las pérdidas de carga totales, la longitud real de la conducción deberá aumentarse en una longitud equivalente de $L_e=150$ m, es decir, 750 diámetros. Esta longitud equivalente origina la misma pérdida de carga que los puntos singulares a los que sustituye.

Si la pérdida de carga por rozamiento se expresa mediante la ecuación de Darcy simplificada:

$$h_c = 0.0826 \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L = m \cdot L \cdot Q^2 \quad [3], \text{ es decir, se considera } m = 0.0826 \cdot f \cdot D^{-5}$$

Entonces, la longitud equivalente de la conducción puede calcularse igualando las fórmulas [2] y [3]:

$$m' \cdot K \cdot Q^2 = m \cdot L \cdot Q^2$$

$$\text{Luego } L = L_e = \frac{m'}{m} \cdot K$$

A efectos prácticos, en muchos casos se simplifica el cálculo suponiendo que **las h_s suponen un porcentaje del orden del 5 – 20 % de las pérdidas de carga continuas**, según el número y tipo de singularidades.

Si x es el porcentaje que supone h_s respecto de h_c :

$$h_T = h_s + h_c = \frac{x}{100} \cdot h_c + h_c = \underbrace{\frac{x + 100}{100}}_a \cdot h_c$$

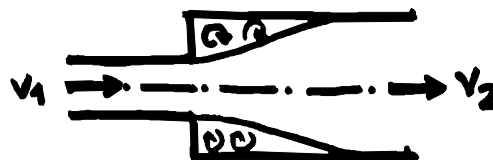
Luego $h_T = a \cdot h_c$

En estos casos, por tanto, la pérdida de carga total será la producida en una tubería por rozamiento incrementando su longitud entre un 5–20%.

4. Pérdidas de carga localizadas de mayor importancia cuantitativa.

4.1. Pérdidas localizadas en un ensanchamiento brusco de sección

Aunque la tubería se ensanche bruscamente, el flujo lo hace de forma gradual, de manera que se forman torbellinos entre la vena líquida y la pared de la tubería, que son la causa de las pérdidas de carga localizadas.



Aunque en la mayoría de los casos las pérdidas de carga localizadas se calculan a partir de la ecuación [1], obteniéndose K empíricamente, en este caso pueden deducirse de forma analítica.

Para ello suponemos que $\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_2}{\gamma}$ y $z_1 = z_2$

Aplicando Bernoulli entre 1 y 2, se obtiene:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_s$$

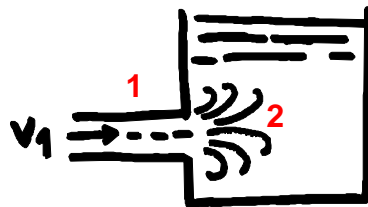
$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_s$$

$$h_s = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2 \cdot g} = \left(1 - \frac{v_2^2}{v_1^2}\right) \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \left(1 - \frac{D_1^4}{D_2^4}\right) \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$$\text{Ya que } v_1 = \frac{Q}{S_1} \text{ y } v_2 = \frac{Q}{S_2} \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2}$$

$$\text{como } h_s = k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \rightarrow k = 1 - \frac{D_1^4}{D_2^4}$$

Caso particular: Tubería que abastece un depósito



En este caso, la superficie S_2 es mucho mayor que la S_1 , por lo que la relación entre ambas tenderá a cero.

$$S_2 \gg S_1 \rightarrow \frac{S_1}{S_2} \approx 0 \Rightarrow \frac{D_1^2}{D_2^2} \approx 0$$

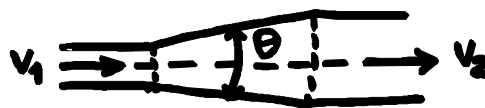
Por lo tanto, en este caso $K=1$, y la pérdida de carga en la desembocadura será:

$$h_s = \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

Es decir, se pierde toda la energía cinética en la entrada al depósito.

4.2. Pérdidas localizadas en un ensanchamiento gradual de sección

Son los *difusores*, en los que se producen, además de las pérdidas de carga por rozamiento como en cualquier tramo de tubería, otras singulares debido a los torbellinos que se forman por las diferencias de presión (al aumentar la sección disminuye la velocidad, y por lo tanto el término cinético, por lo que la presión debe aumentar).



A menor ángulo de conicidad (θ), menor pérdida de carga localizada, pero a cambio se precisa una mayor longitud de difusor, por lo que aumentan las pérdidas de carga continuas. Se trata de hallar el valor de θ para el que la pérdida de carga total producida sea mínima.

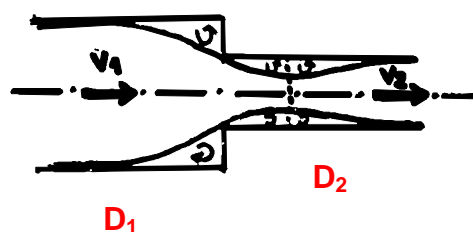
Gibson (Torres Sotelo, 1996) demuestra experimentalmente que el ángulo óptimo de conicidad es de unos 6° , y proporciona la siguiente fórmula empírica para calcular las *pérdidas de carga totales*:

$$h_T = \lambda \cdot \left(1 - \frac{D_1^2}{D_2^2}\right) \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

Los valores de λ , también según Gibson, son los siguientes:

θ	6°	10°	15°	20°	30°	40°	50°	60°
λ	0.14	0.20	0.30	0.40	0.70	0.90	1.00	1.10

4.3. Pérdidas localizadas en un estrechamiento brusco de sección



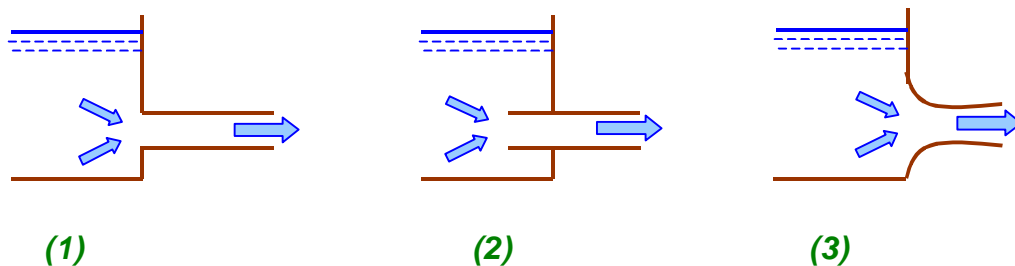
En este caso, el flujo continúa convergiendo después de la embocadura durante una cierta distancia, a partir de la cual se produce su ensanchamiento. Por tanto, se formarán turbulencias entre el flujo y las paredes de la tubería, y también entre éstas y la vena líquida contraída, como se indica en la figura.

Los valores de K se obtienen de forma suficientemente aproximada en función de la relación entre los dos diámetros:

D_1/D_2	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
K	0.08	0.17	0.26	0.34	0.37	0.41	0.43	0.45	0.46

Caso particular: Tubería a la salida de un depósito (embocadura)

En este caso, la pérdida de carga depende del tipo de conexión entre la tubería y el depósito.



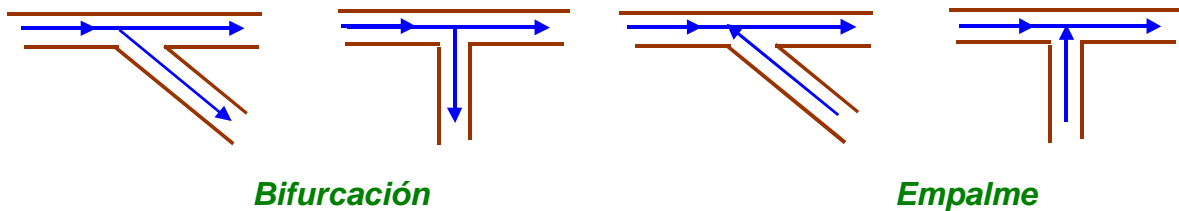
- (1) Embocadura de arista viva: $K \approx 0.5$
- (2) Embocadura tipo entrante: $K \approx 1.0$
- (3) Embocadura abocinada: $K \approx 0.01-0.08$, según el grado de abocinamiento. Se puede considerar un valor medio de $K \approx 0.5$.

4.4. Pérdidas localizadas en un estrechamiento gradual de sección (tobera)

Puesto que el líquido aumenta su velocidad al pasar por la tobera, también disminuye su presión. Por tanto, las condiciones no favorecen la formación de torbellinos, siendo casi la totalidad de las pérdidas de carga que se producen debidas al rozamiento. Los valores de K suelen oscilar entre 0.02 y 0.04, por lo que, en la práctica, estas pérdidas de carga se desprecian.

4.5. Otras pérdidas localizadas de interés

Son importantes por lo extendido del uso de estas piezas especiales las pérdidas de carga producidas en válvulas, codos de distintos ángulos y ramificaciones en "T" (pérdidas por bifurcación o empalme del flujo, ver figura).



5. Consideraciones prácticas para evaluar las pérdidas de carga accidentales.

1. Para válvulas, puede tomarse como equivalente la pérdida de carga por rozamiento en una tubería recta de 10 m de longitud y de igual diámetro que el accesorio.
2. En ocasiones, puede tomarse una longitud total de tubería incrementada en un 5 – 20 %, dependiendo de la longitud y el mayor o menor número de puntos singulares.
3. Las pérdidas localizadas en general pueden despreciarse cuando, por término medio, haya una distancia de 1000 diámetros entre dos puntos singulares.