



FACULTAD DE INGENIERIA

Universidad de Buenos Aires

INSTITUTO DE INGENIERÍA SANITARIA Y
AMBIENTAL

CÁTEDRA DE HIDRÁULICA APLICADA A LA INGENIERÍA SANITARIA

PRESTACIONES EQUIVALENTES DE TUBERÍAS DE
DISTINTOS MATERIALES QUE OFRECE EL MERCADO

**“ESCURRIMIENTO HIDRÁULICO EQUIVALENTE ENTRE UN
TRAMO DE TUBERÍA CON DIÁMETRO HIDRÁULICO
COINCIDENTE CON EL COMERCIAL Y TRAMOS DE
TUBERÍAS EXTRUSIVAS”**

ING. LUIS PÉREZ FARRÁS

JULIO DE 2007

NOTA DEL AUTOR

Un agradecimiento muy especial a la Inga. María Eva Koutsovitis colaboradora en nuestras cátedras de Hidráulica de la carrera del Instituto y docente del Dto. de Hidráulica, quién se encargó de la revisión y edición del texto original.

En el entendimiento que el desarrollo que nos ocupa es indistintamente de interés para la cátedra de la carrera de grado de Ingeniería Civil “Construcciones Hidráulicas” del Departamento de Hidráulica y además, sobre todo, para nuestra cátedra del curso de postgrado, se publica el presente trabajo en las respectivas páginas Web a los efectos de que tanto los alumnos de postgrado como los de grado puedan disponer del mismo.

Ing. Luis E. Pérez Farrás

Profesor Consulto de la FI UBA
Profesor de Hidráulica Aplicada
a la Ingeniería Sanitaria

INDICE

1- GENERALIDADES	4
2- DESARROLLO DEL CÁLCULO DE UN TRAMO DE TUBERÍA DE DIÁMETRO COMERCIAL COINCIDENTE CON EL HIDRÁULICO REEMPLAZADO POR DOS TRAMOS DE MATERIALES FABRICADOS POR EXTRUSIÓN	5
2-1- DATOS Y ECUACIONES BÁSICAS	5
2.2- SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	7
3- DESARROLLO DEL CÁLCULO DE UN TRAMO DE TUBERÍA DE DIÁMETRO COMERCIAL COINCIDENTE CON EL HIDRÁULICO REEMPLAZADO POR TRES TRAMOS DE MATERIALES FABRICADOS POR EXTRUSIÓN	8
3.1- DATOS Y ECUACIONES BÁSICAS	8
3-2- SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	10

1- GENERALIDADES

Es importante destacar un hecho que a pesar de ser elemental es poco considerado por nuestros proyectistas. En efecto, la más evidente de las "Prestaciones Equivalentes de tuberías de distintos materiales que ofrece el mercado" (ver "Costo de tuberías instaladas en base al criterio de Prestaciones equivalentes", Cátedra de Construcciones Hidráulicas, FI UBA), es que las conducciones diseñadas como alternativa, deben transportar un caudal igual o mayor al requerido en el proyecto o la especificaciones básicas.

Sorprendentemente este requisito rara vez es tenido en cuenta a pesar que sus fundamentos se encuentran en la Hidráulica elemental, con cuyos conceptos deben realizarse los análisis comparativos correspondientes.

En efecto es conocida la diferencia de rugosidades de los distintos materiales, pero lo que es mucho más significativo es lo que generalmente se omite, y es que los diámetros internos o "hidráulicos" son distintos para los materiales cuyo proceso de fabricación es por extrusión.

Para el caso de las tuberías de PVC o de PEAD (por ejemplo) al crecer el espesor (consecuentemente la "Clase"), disminuye el diámetro interno para un dado diámetro comercial, por lo que su capacidad de conducción a igualdad de condiciones de escurrimiento decrece con el aumento de la clase.

En resumen, de los seis conceptos a ser comparados para posibilitar los análisis de costos en base al criterio de las Prestaciones Equivalentes, se desarrolla en el presente texto:

- La metodología para calcular las longitudes de dos tramos de tuberías fabricadas por extrusión (consecuentemente de menor diámetro interno a igualdad de diámetro nominal) equivalente a un único tramo de tubería de diámetro hidráulico coincidente con el diámetro interno o "hidráulico".
- La metodología para calcular las longitudes de 3 tramos de tuberías fabricadas por extrusión con idénticas consideraciones a la anterior y teniendo en cuenta las particularidades y dificultades adicionales de la misma.

En resumen, dado que las tuberías fabricadas por extrusión presentan diámetros comerciales (diámetro externo) que no coinciden con los diámetros internos (hidráulicos) y que además estos últimos varían con la clase nominal (el diámetro interno surge de restar 2 veces el espesor del diámetro externo), se desarrolla a continuación el cálculo de las longitudes requeridas para que un tramo de un material no extrusivo dado pueda ser reemplazado por dos o tres de diámetros distintos de tuberías fabricadas por extrusión.

Las dos situaciones planteadas contemplan la mayoría de configuraciones posibles, y se adelanta que a medida que se agreguen tramos las indeterminaciones crecen en la misma proporción y consecuentemente las hipótesis para solucionarlas.

El desarrollo que sigue, se posibilita con suficiente aproximación tecnológica con las expresiones empíricas aplicadas al agua en temperaturas ambiente y en particular con la aplicación de la expresión de Hazen y Williams, la que da lugar al cálculo directo y relativamente sencillo.

La expresión de referencia es:

$$\Delta J_{i-j} = \frac{L_{i-j}}{(0,275 C_{i-j})^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D_{i-j}^{4,85}}$$

En la que:

- ΔJ_{i-j} es la pérdida de carga en el tramo $i-j$.
- L_{i-j} es la longitud del mismo tramo.
- D_{i-j} es el diámetro de la tubería en el tramo.
- C_{i-j} es el coeficiente de rugosidad del material de la tubería en el tramo.
- Q es el caudal transportado por la conducción.

2- DESARROLLO DEL CÁLCULO DE UN TRAMO DE TUBERÍA DE DIÁMETRO COMERCIAL COINCIDENTE CON EL HIDRÁULICO REEMPLAZADO POR DOS TRAMOS DE MATERIALES FABRICADOS POR EXTRUSIÓN

2-1- DATOS Y ECUACIONES BÁSICAS

En la figura 1 se aprecia un tramo de una tubería de material no extrusivo (ne) de Longitud “L” que es reemplazado por dos tramos en serie de tuberías de materiales extrusivos, de Diámetros D_{1e} ; D_{2e} cada uno con longitudes L_1 y L_2 respectivamente.

El problema consiste en determinar las longitudes L_1 y L_2 , de forma tal que eroguen el mismo caudal de diseño con la misma “perdida de carga”.

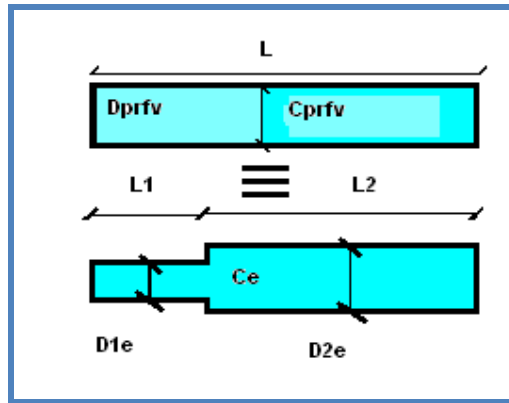


Figura 1
Escorrimento Hidráulico Equivalente

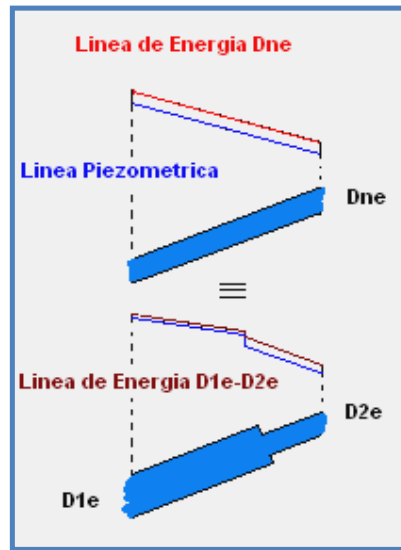


Figura 2
Línea de Energía y Piezométrica – Dos Tramos

Para ello se tiene en cuenta que utilizando la expresión de Hazen y Williams se obtiene para los distintos tramos que las pérdidas son:

$$\Delta J_{1-3} = \frac{L}{(0,275 C_{ne})^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D_{ne}^{4,85}}$$

$$\Delta J_{1-2} = \frac{L_1}{(0,275 C_e)^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D_{1e}^{4,85}} = A C L_1 Q^{1,85} = 0,001026 A L_1 Q^{1,85} \quad (1)$$

$$\Delta J_{2-3} = \frac{L_2}{(0,275 C_e)^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D_{2e}^{4,85}} = B C L_2 Q^{1,85} = 0,001026 B L_2 Q^{1,85} \quad (2)$$

En las que, con $C_e \cong 150$

$$A = \frac{1}{D_{1e}^{4,85}}$$

$$B = \frac{1}{D_{2e}^{4,85}}$$

$$C = \frac{1}{(0,275 C_e)^{1,85}} = 0,001026$$

Por otra parte se cumple que:

$$\Delta J_{1-3} = \Delta J_{1-2} + \Delta J_{2-3} \quad (3)$$

$$L = L_1 + L_2 \quad \therefore L_1 = L - L_2 \quad (4)$$

Obviamente son datos del problema ΔJ_{1-3} y L , las incógnitas son L_1 ; L_2 ; ΔJ_{1-2} ; ΔJ_{2-3} , por lo que al disponer de cuatro ecuaciones y cuatro incógnitas el problema resulta determinado.

2.2- SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Reemplazando las dos primeras ecuaciones en la tercera ((1) y (2) en (3)):

$$\Delta J_{1-3} = 0,001026 L_1 A Q^{1,85} + 0,001026 L_2 B Q^{1,85} = 0,001026 [A (L - L_2) + B L_2] Q^{1,85}$$

De donde:

$$A L - A L_2 + B L_2 = (B - A) L_2 + A L = \frac{\Delta J_{1-3}}{0,001026 Q^{1,85}}$$

$$\therefore L_2 = \frac{\Delta J_{1-3}}{0,001026 Q^{1,85} (B - A)} - \frac{A L}{B - A}$$

Obviamente, debe cumplirse (4):

$$L_1 = L - L_2$$

$$L = L_1 + L_2 \quad \therefore L_1 = L - L_2$$

Y como verificación de la bondad de los cálculos, debe resultar que:

$$L = L_1 + L_2$$

3- DESARROLLO DEL CÁLCULO DE UN TRAMO DE TUBERÍA DE DIÁMETRO COMERCIAL COINCIDENTE CON EL HIDRÁULICO REEMPLAZADO POR TRES TRAMOS DE MATERIALES FABRICADOS POR EXTRUSIÓN

3.1- DATOS Y ECUACIONES BÁSICAS

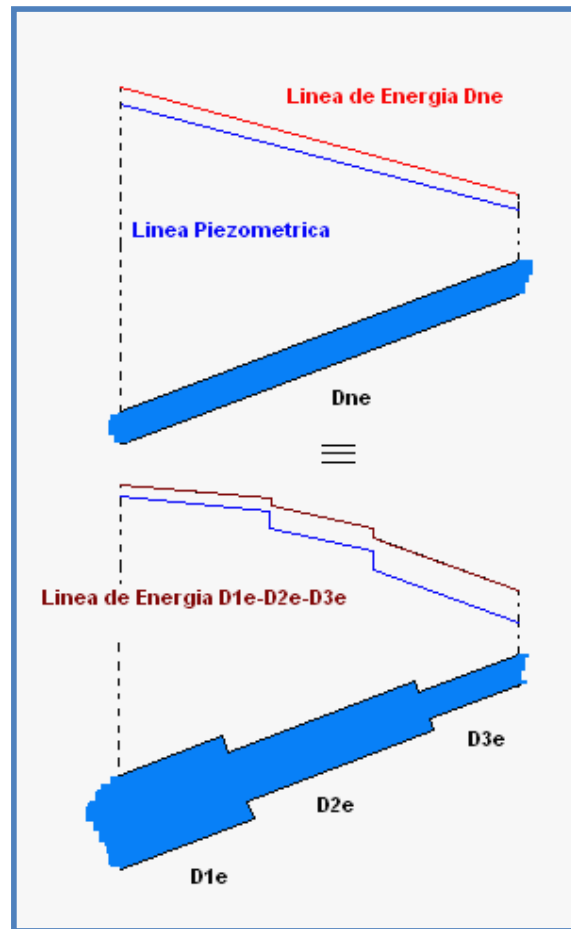


Figura 3
Línea de Energía y Piezométrica – Tres Tramos

En el caso presente se tiene que, las pérdidas en los tramos involucrados son:

$$\Delta J_{1-4} = \frac{L}{(0,275 C_{ne})^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D_{ne}^{4,85}}$$

$$\Delta J_{1-2} = \frac{L_1}{(0,275 C_e)^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D_{1e}^{4,85}} = D A L_1 Q^{1,85} \quad (1)$$

$$\Delta J_{2-3} = \frac{L_2}{(0,275 C_e)^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D_{2e}^{4,85}} = D B L_2 Q^{1,85} \quad (2)$$

$$\Delta J_{3-4} = \frac{L_2}{(0,275 C_e)^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D_{3e}^{4,85}} = D C L_3 Q^{1,85} \quad (3)$$

$$A = \frac{1}{D_{1e}^{4,85}}$$

$$B = \frac{1}{D_{2e}^{4,85}}$$

$$C = \frac{1}{D_{3e}^{4,85}}$$

$$D = \frac{1}{(0,275 C_e)^{1,85}} = 0.001026$$

$$\Delta J_{1-4} = \Delta J_{1-2} + \Delta J_{2-3} + \Delta J_{3-4} \quad (4)$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (5)$$

Nota: se ha considerado la constante que resulta de $C_e \cong 150$ para las tuberías fabricadas por extrusión.

Son datos del problema ΔJ_{1-4} y L , por lo que se disponen de las 5 ecuaciones que siguen:

$$\Delta J_{1-2} = 0.001026 A L_1 Q^{1,85} \quad (1)$$

$$\Delta J_{2-3} = 0.001026 B L_2 Q^{1,85} \quad (2)$$

$$\Delta J_{3-4} = 0.001026 C L_3 Q^{1,85} \quad (3)$$

$$\Delta J_{1-4} = \Delta J_{1-2} + \Delta J_{2-3} + \Delta J_{3-4} \quad (4)$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad (5)$$

En las anteriores son las incógnitas L_1 ; L_2 ; L_3 ; ΔJ_{1-2} ; ΔJ_{2-3} y ΔJ_{3-4} , por lo que al disponer de 5 ecuaciones y 6 incógnitas el problema resulta indeterminado.

Consecuentemente se requiere otra condición suplementaria para hacer posible el cálculo.

3-2- SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Se propone, como un criterio adecuado a la problemática a solucionar, envolver de muchas situaciones posibles, considerar la imposición de que el primer tramo sea un porcentaje ξ del tramo total de longitud L .

Consecuentemente

$$L_1 = \xi L \quad \text{y} \quad (1 - \xi) L = L_2 + L_3$$

La pérdida ΔJ_{1-4} resulta entonces

$$\Delta J_{1-4} = (0,001026 A L_1 + 0,001026 B L_2 + 0,001026 C L_3)$$

Haciendo

$$A' = 0,001026 A ; B' = 0,001026 B ; C' = 0,001026 C$$

Se tiene

$$\Delta J_{1-4} = (A' L_1 + B' L_2 + C' L_3) Q^{1,85}$$

Recordando que propusimos $L_1 = \xi L$ resulta $L_2 = (1 - \xi) L - L_3$

Consecuentemente

$$\Delta J_{1-4} = A' \xi L Q^{1,85} + (B'(1 - \xi) L - B' L_3) Q^{1,85} + C' L_3 Q^{1,85} \quad (i)$$

Si definimos a ΔJ_{1-4} :

$$\Delta J_{1-4} = \frac{L}{(0,275 C_{ne})^{1,85}} \frac{Q^{1,85}}{D_{ne}^{4,85}} = \psi L Q^{1,85}$$

$$\therefore \psi = \frac{L}{(0,275 C_{ne})^{1,85} D_{ne}^{4,85}}$$

$$\Delta J_{1-4} = \psi L Q^{1,85} \quad (ii)$$

Reemplazando (ii) en (i) es posible despejar L_3 :

$$L_3 = \frac{[(\psi - \xi A') - (1 - \xi) B'] L}{C' - B'}$$

Evidentemente la verificación de los cálculos implica que los valores obtenidos cumplan con que:

$$L = L_1 + L_2 + L_3$$

La sustitución de un tramo por 3 tramos de tuberías de materiales producidos por extrusión, puede ser requerida cuando se pretenda una prestación equivalente con el tramo original de tubería de diámetro coincidente con el hidráulico.

Si bien pueden ser muchas las circunstancias a ser analizadas, un gran número de ellas pueden circunscribirse a las siguientes:

- Dando valores a ξ se pueden analizar distintas configuraciones y decidir sobre la más conveniente.