

## **SELECCIÓN DE TUBERÍAS DE DISTINTOS MATERIALES EN BASE AL “CRITERIO DE LAS PRESTACIONES EQUIVALENTES”**

*Ingeniero Luis Eduardo. Perez Farrás*      [lep@uolsinectis.com.ar](mailto:lep@uolsinectis.com.ar)

*Ingeniera María Eva Koutsovitis*      [mevakoutsovitis@yahoo.com.ar](mailto:mevakoutsovitis@yahoo.com.ar)

*Capítulo IV-Grandes Metrópolis y sus Infraestructuras-GMI.  
Agua y saneamiento en los centros urbanos. Su gestión y provisión.*

### **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Para llevar a cabo exitosas políticas públicas en materia de saneamiento básico, sostenibles en el largo plazo, resulta indispensable alcanzar la mejor solución técnico-económica.

En general nos encontramos con el hecho de que en el mercado compiten un determinado número de tuberías de distintos materiales y, por otra parte, no han sido convenientemente difundidas las reglas precisas que posibilitan la selección más adecuada a los requerimientos de cada proyecto en particular, la que queda supeditada a criterios de los proyectistas intervinientes.

En el presente trabajo se establecen los conceptos a ser tenidos en cuenta para alcanzar una solución técnicamente correcta a la vez que económica, y que asegure eficientemente la prestación del servicio requerido.

Las obras proyectadas bajo estos principios, resultarían óptimas desde el punto de vista técnico-económico evitando el frecuente error de seleccionar la obra más barata en desmedro de la más económica.

Rige actualmente el concepto erróneo de considerar que una tubería de igual diámetro y “Clase” presta el mismo servicio, concepto válido sólo si tenemos en cuenta la solicitud “Presión Interna”. El Criterio Tradicional de Selección de Tuberías, basado en este concepto

*Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al “Criterio de Prestaciones Equivalentes”*

erróneo, lleva a comparar longitudes de tuberías de distinto material de igual diámetro y “clase” .

Las comparaciones deben tener lugar entre proyectos diferenciados (Alternativas de Diseño), que aseguren la misma prestación y que tengan en cuenta todas las solicitaciones a las que se encuentra sometida la tubería instalada en zanja. Cada alternativa de diseño debe desarrollarse maximizando las propiedades de los distintos materiales de tuberías y luego la selección se realiza aplicando la metodología del Valor Presente Neto. Este criterio moderno de selección de tuberías denominado Criterio de las Prestaciones Equivalentes se funda en el diseño integral de la conducción y tiene en cuenta la incidencia que el material de la tubería tiene en los costos de instalación en zanja.

Si se tiene en cuenta que en los proyectos de “Saneamiento Básico”, el ítem “Tuberías Instaladas”, representa el porcentaje más elevado de las inversiones a realizar, surge claramente la ventaja económica de una selección apropiada de las tuberías de los distintos materiales que ofrece la industria.

El fundamento del presente trabajo se sintetiza en la comparación del criterio tradicional de selección de tuberías confrontado con el criterio moderno de las Prestaciones Equivalentes.

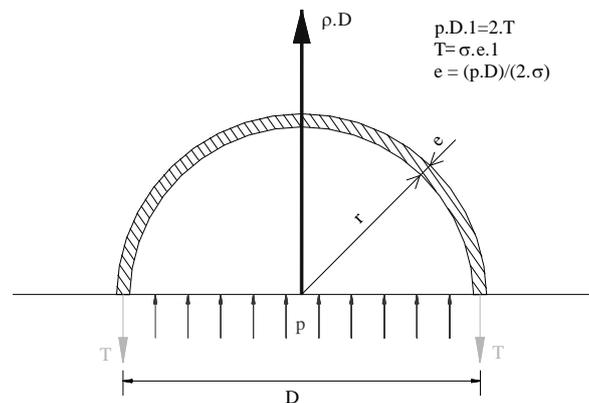
### **CRITERIO TRADICIONAL DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS**

Encuentra su fundamento en la solicitación presión interna debida al escurrimiento permanente en una conducción “a presión”.

En la figura N°1 se aprecia una tubería a presión, seccionada por un plano horizontal que contiene al eje, lo que permite el tratamiento como “cuerpo libre” y poner así de manifiesto las solicitaciones actuantes.

*Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al “Criterio de Prestaciones Equivalentes”*

La resultante de la presión distribuida en el diámetro deberá ser equilibrada por sendos esfuerzos de tracción, distribuidos a su vez en el espesor de la tubería y configurando las dos fuerzas equilibrantes “T”.



**Figura N°1**

Criterio Tradicional de Selección de Tuberías  
(Presión interna)

Consecuentemente la sollicitación debida a la presión interna en una conducción “a presión”, lleva a la expresión de Mariotte válida para materiales de tuberías homogéneas. La misma relaciona el espesor con la tensión de tracción en la paredes de la tubería.

$$p D = 2 T = 2 \sigma e \quad \text{entonces} \quad e = \frac{p D}{2 \sigma}$$

Donde:

- $e$ : espesor de la tubería de material homogéneo.
- $p$ : presión actuante en el plano horizontal que contiene al eje.
- $\sigma$ : tensión de trabajo del material correspondiente a la sollicitación.

Los fabricantes de tuberías de materiales homogéneos adoptan valores de rotura para la presión interna y para la tensión de tracción, lo que posibilita la determinación del espesor, considerando previamente los correspondientes “Coeficientes de Seguridad”. Como a cada

*Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al “Criterio de Prestaciones Equivalentes”*

espesor le corresponde una sollicitación admisible, ofrecen al mercado una serie estandarizada de tuberías aptas para resistir, en condiciones de régimen permanente, una determinada serie de presiones fijadas de antemano. Éstas presiones definen las denominadas “Clases” de las tuberías, las que por ser generalmente expresadas en “atmósferas” resultan series de números enteros (por ejemplo las clases 4, 6 y 10 ).

Para destacar claramente el error que se comete por omisión, es oportuno enunciar el preconcepto al que la “clase”, como único parámetro de selección, ha llevado históricamente “..... Las tuberías de idéntica clase e igual diámetro nominal, de distintos materiales prestan idéntico servicio... ”

**CRITERIO DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS EN BASE A “LAS  
PRESTACIONES EQUIVALENTES”**

Se sustenta en la comparación de costos, previo diseño y cálculo de las alternativas con los distintos materiales del mercado, que presten un servicio equivalente.

Para precisar el concepto de “Prestación Equivalente” es necesario referirnos a la Figura N°2, en la que se esquematiza una tubería instalada en zanja.

El material de relleno ejerce una acción sobre la tubería que tenderá a deformarla (ovalizarla) en función de las características elásticas de la misma y del suelo de apoyo

Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al “Criterio de Prestaciones Equivalentes”

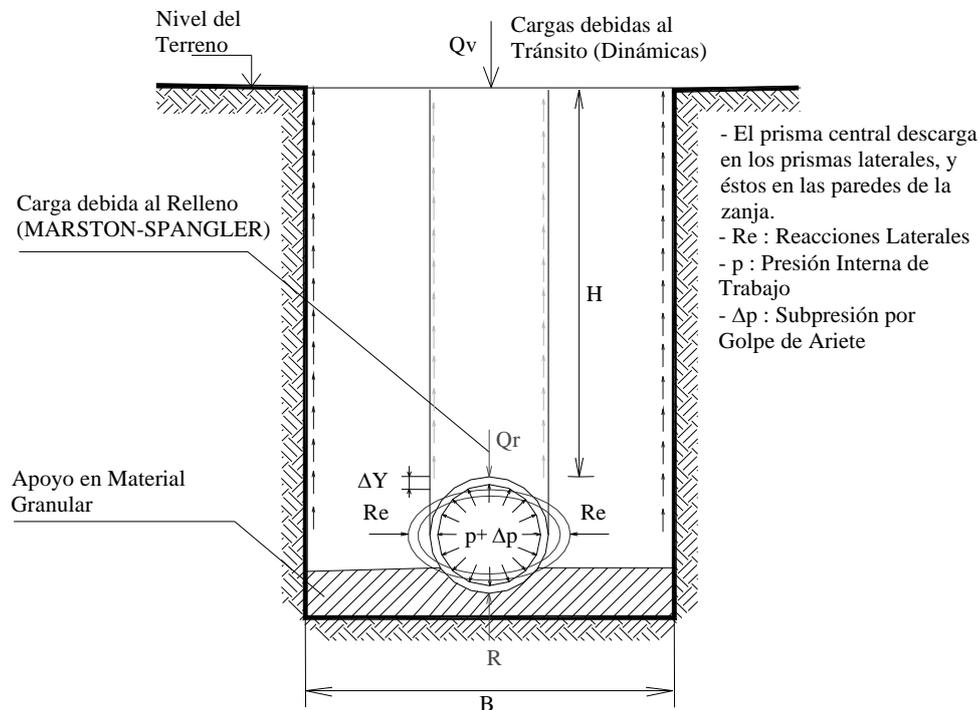


Figura N° 2

Solicitaciones en Tuberías Instaladas en Zanja

En efecto, a la sollicitación por presión interna en régimen permanente, la que en realidad nos posibilita la “Preselección” de la tubería, deberá agregarse la verificación de la sollicitación debida a la carga de relleno. Además, deberán calcularse las acciones ejercidas por el efecto dinámico del tránsito que eventualmente pudiere incidir y que resultará función de los tipos de camiones, existencia de pavimentos o no y las características mecánicas de las distintas capas de los mismos, o de los suelos si el pavimento no existiere (Teoría de Boussinesq).

Por otra parte, desde que la tubería requiere Regulación o que puede constituir una Impulsión, es evidente que deberá ser evaluado el siempre complejo problema de los movimientos transitorios, más conocido por la denominación de “Golpe de Ariete”. Problemática que se presenta en forma distinta en las tuberías rígidas o flexibles, pero que siempre es necesario tener en cuenta, no sólo para evaluar las sobrepresiones en el caso de las primeras y las

*Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al “Criterio de Prestaciones Equivalentes”*

depresiones para el caso de las segundas (que son susceptibles al colapso por “Aplastamiento”) sino también para el dimensionado y ubicación de los accesorios que posibiliten acotar convenientemente sus efectos.

Resumiendo los conceptos vertidos diremos que, una tubería enterrada y a presión, se encuentra sometida a cuatro solicitaciones, a saber:

- a) Debida a la presión interna en régimen permanente.
- b) Debida a la sobrepresión interna variable entre valores positivos y negativos del régimen impermanente (transitorios o “Golpe de Ariete”).
- c) Debida a la carga del material de relleno.
- d) Debida a la carga dinámica de Tránsito.

De acuerdo a lo dicho con la solicitud a) puede procederse a la “Preselección” de la tubería la que deberá ser posteriormente verificada a las solicitaciones b), c) y d).

Nótese que para el caso de tuberías destinadas a drenaje (cloacas y pluviales), evidentemente no existen las solicitaciones a) y b), por lo que su selección debe hacerse sobre la base de las solicitaciones c) y d).

Otra variable a ser muy tenida en cuenta en las comparaciones tecnológicas es la relativa al ataque corrosivo, el que puede ser externo o interno. En el primer caso el ataque producido por la agresividad química de los suelos y en el segundo, por el ataque proveniente del líquido que escurre. Son susceptibles de los primeros, tuberías de acero o fundición y los materiales cementicios. En cambio, el caso más usual para el segundo caso es el del Sulfuro de Hidrógeno proveniente de los líquidos cloacales domésticos, para los que son atacables las

*Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al "Criterio de Prestaciones Equivalentes"*

tuberías de PRFV y de materiales cementicios (incluida la Fundición dúctil puesto que tiene revestimiento interno de mortero cementicio).

En resumen, los conceptos a ser comparados resultan ser seis, tres de origen hidráulico, dos debidos a las solicitaciones por cargas externas y los debidos a los ataques corrosivos externos e internos. Los mismos implican:

1- Verificación de los distintos caudales en función de los diámetros internos o "hidráulicos" que dependen del proceso de fabricación de la tubería y los coeficientes de rugosidad de los distintos materiales. Las expresiones usuales de cálculo se indican a continuación:

Conducciones a Presión-Expresión Racional de Darcy-Weisbach

$$j^* = f \frac{1}{D} \frac{U^2}{2g}$$

Conducciones a Presión-Expresión Empírica Hazen Williams

$$j^* = \frac{1}{(0.2785C)^{1.85}} \frac{Q^{1.85}}{D^{4.85}}$$

Escurrimiento a Superficie libre-Expresión Chezy-Manning

$$Q = \frac{\Omega}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i}$$

2- Verificación de la presión interna de trabajo en régimen permanente (relacionada con el concepto de clase y que constituye la base de la "preselección").

Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al "Criterio de Prestaciones Equivalentes"

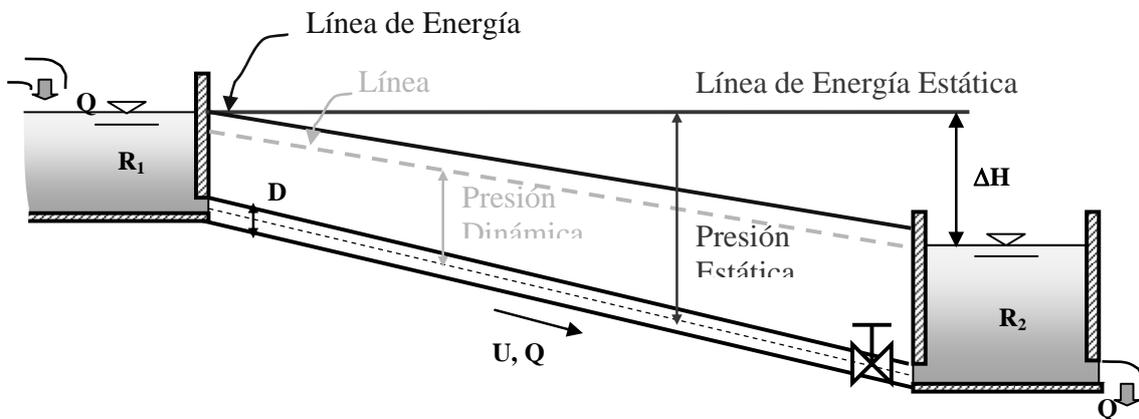


Figura N° 3

### Presión Estática y Presión Dinámica

3- Verificación teniendo en cuenta los regímenes impermanentes, tanto en conducciones rígidas como flexibles (onda positiva y negativa respectivamente), con la consecuente selección y ubicación de los dispositivos de protección. La Celeridad de Onda "c" con la que se produce el fenómeno de Golpe de Ariete y determina las sobrepresiones máximas y mínimas, depende de las características del fluido y de las condiciones de "confinamiento" del mismo. La celeridad "c" presenta valores del orden de 300 a 400 m/s en conducciones de materiales plásticos y de 980 a 1200 en conducciones rígidas, siendo en general función del diámetro, del espesor y del módulo de elasticidad del material de la tubería.

4- Verificación o nuevo dimensionado considerando las cargas debidas al relleno, íntimamente relacionadas con el diseño de la zanja y las características del suelo de las mismas (interacción "Suelo-Zanja").

5- Verificación considerando las cargas debidas al tránsito. Este cálculo se realiza vinculado al estudio de la sollicitación anterior. Para el cálculo de la incidencia que estas cargas puedan tener sobre el caño se tiene en cuenta la teoría de Boussinesq, según la cual la tensión resultante  $\sigma_z$  en un punto ubicado a una profundidad "h" y una distancia horizontal "r" del punto de aplicación de una fuerza dada "P" resulta:

Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al "Criterio de Prestaciones Equivalentes"

$$\sigma_z = \frac{I_\phi}{h^2} P$$

donde

$$I_\phi = \frac{3}{2\pi} \left[ \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{h}\right)^2} \right]^{5/2}$$

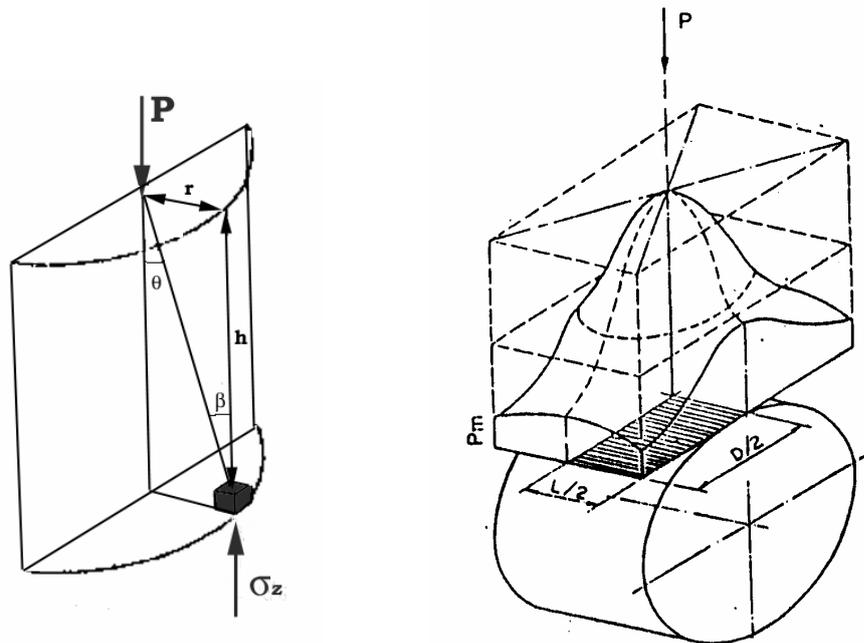


Figura N° 4

Distribución de Tensiones-Teoría de Boussinesq

La tensión aumenta con el diámetro y decrece con la tapada sobre el extradós del caño. Nótese que a partir de una tapada relativamente importante, la distribución puede ser asumida como uniforme.

6- Verificación al ataque corrosivo externo y/o interno. El índice se calcula de la siguiente manera:

$$I_p = \frac{3 \cdot (DBO)}{\sqrt{i} \cdot \sqrt[3]{Q}} \frac{\chi}{BS} 1,069(T - 20^\circ)$$

*Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al "Criterio de Prestaciones Equivalentes"*

- $I_p$  : es el índice de Pomeroy (adimensional).
- DBO : es la "Demanda bioquímica de oxígeno" en mg/l.
- $\chi$  : es el mojado en m.
- $i$  : es la pendiente de la conducción (adimensional).
- $Q$  : es el caudal promedio en m<sup>3</sup>/s.
- $B_s$  : es el ancho superficial en m.
- $T$  : es la temperatura del agua en °C.

### CONSECUENCIAS INMEDIATAS

De todo lo expuesto resulta evidente el significado de "Prestación Equivalente", concepto que implica la comparación de todos los materiales del mercado, instalados en las zanjas que le corresponden, según cada material y la normativa vigente, que resistan las sollicitaciones a las que estarán sometidas y que transporten como mínimo el caudal requerido y en condiciones ideales para resistir los ataques corrosivos, es decir definiendo claramente la necesidad de revestimientos externos o internos.

Este concepto lleva ineludiblemente al de "Diseño Económico de Conducciones", el que se logra a partir de la comparación de costos de las alternativas con distintos materiales que presten un servicio equivalente. Se deben cuantificar los costos de inversión inicial y aquellos que se sucederán a lo largo de la vida útil de la obra, tales como costos de operación y mantenimiento, costos de energía, etc. para cada alternativa en consideración.

Luego, aplicando la metodología del VALOR ACTUAL NETO, que no es más que la suma de costos que implicará la construcción y operación de la obra llevados al año cero (para poder hacerlos comparables) a través de una tasa de interés adecuada, se selecciona la alternativa más económica que no necesariamente es la más barata.

La obra más económica será, entonces, aquella alternativa cuyo VALOR ACTUAL NETO (V.A.N.) sea mínimo.

*Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al “Criterio de Prestaciones Equivalentes”*

El cálculo del V.A.N. deberá comprender los costos de la inversión inicial:

- **Costo de la tubería**, que incluye el transporte y la instalación (dependerá del material de la tubería seleccionada, diámetro y clase, ubicación de la fábrica respecto del punto de localización de la obra y además de la dificultad de instalación y acople de las mismas).
- **Costos de Movimiento de Suelo** (excavación, relleno y compactación ocasionados por el tipo de zanja que demanden las distintas tuberías para soportar adecuadamente las cargas actuantes).
- **Costo de los Dispositivos Antiariete a colocar** (éstos incluirán todos los dispositivos que se incluyan en la instalación para proteger a las tuberías de los fenómenos de Golpe de Ariete ocasionados por las distintas maniobras que puedan tener lugar y dependerán fuertemente de las características de resistencia y elasticidad que ofrezcan las diferentes tecnologías).
- **Costo de las Obras Civiles** (Estaciones de Bombeo, Cisternas, Cámaras para Válvulas de Control, Seccionadoras, de aire y desagüe).
- **Equipamiento electromecánico y provisión de válvulas.**
- **Sistema de Telecontrol y líneas eléctricas.**

Y los costos diferidos a lo largo de la vida útil de la obra:

- **Provisión de Energía.**
- **Operación y Mantenimiento del Acueducto.**

*Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al “Criterio de Prestaciones Equivalentes”*

Estos últimos costos deberán ser convertidos al año cero (año en que se realiza la inversión) a fin de poder sumarlos con los primeros. Para esto se calcula el Valor Actual Neto de cada ítem en base a una tasa de interés adecuada "i" utilizando la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{s=1}^n \frac{C_s}{(1 + int)^s}$$

- VAN = Valor Actual Neto.
- $C_s$  = Costo del ítem en el año s.
- n = Número de años de vida útil.
- int = Tasa de interés.

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que las obras de saneamiento básico resultan estratégicas para el desarrollo sustentable de una región y que implican grandes inversiones provenientes de fondos públicos, es imprescindible la realización de análisis comparativos de proyectos con tuberías de distintos materiales que presten servicios equivalentes.

Los entes nacionales, provinciales o comunales, representantes del interés público, con la apoyatura de instituciones universitarias, serían responsables del desarrollo y selección de alternativas de diseño que tengan en cuenta las propiedades tecnológicas de los distintos materiales aplicando la metodología expuesta. El Proyecto Licitatorio elaborado a partir de la metodología expuesta implica para el conjunto de la comunidad obras mucho más confiables a la vez que más económicas.

## BIBLIOGRAFÍA

*Selección de Tuberías de Distintos Materiales en Base al “Criterio de Prestaciones Equivalentes”*

- Pérez Sandra, Pérez Farrás Luis, (2005), “Selección de Alternativas en base al método del valor presente”, Instituto de Ingeniería Sanitaria, UBA, Página Web.
- Pérez Farrás Luis, Pérez Sandra, (2003), “Nociones sobre Cálculo Estructural de Conducciones Enterradas”, Instituto de Ingeniería Sanitaria, UBA, Página Web.
- Pérez Sandra , (2005)“Acueductos a Presión. Nociones básicas de Diseño”, Instituto de Ingeniería Sanitaria, UBA, Página Web.
- Pérez Farrás Luis, (1999), “Fundamentos, Análisis y Discusión sobre el concepto de clase de una tubería”, Instituto de Ingeniería Sanitaria, UBA, Página Web.
- Pérez Farrás Luis, Adolfo Guitelman, (2005), “Estudio de Transitorios: Golpe de Ariete”, Instituto de Ingeniería Sanitaria, UBA, Página Web.