

**UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA**

**CÁTEDRA DE "CONSTRUCCIONES HIDRÁULICAS"**

**COSTO DE TUBERÍAS  
INSTALADAS EN BASE AL  
CRITERIO DE "PRESTACIONES  
EQUIVALENTES"**

VERSIÓN AL 28/02/2002

**Ing. Luis E. PÉREZ FARRÁS**

**INDICE**

<b><u>1- GENERALIDADES</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>2- CRITERIO TRADICIONAL DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b><u>3- CRITERIO MODERNO DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b><u>4- CONCEPTO DE "PRESTACIÓN EQUIVALENTE" Y CONSECUENCIAS INMEDIATAS</u></b>	<b><u>8</u></b>

---

## **COSTOS DE TUBERÍAS INSTALADAS EN BASE AL CRITERIO DE PRESTACIONES EQUIVALENTES**

### **1- GENERALIDADES**

En general nos encontramos con el hecho de que en el mercado compite 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 o simpatías de los proyectistas, las más de las veces, sin fundamentos en criterios ingenieriles.

Es el objetivo del presente artículo tratar de clarificar los conceptos que deben ser tenidos en cuenta, para poder lograr una decisión correcta a la vez que económica, y que además, asegure eficientemente la prestación del servicio requerido.

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

Por otra parte las teorías y metodologías disponibles actualmente, muchas de ellas contempladas en las exigencias normativas de cálculo, selección e instalación de tuberías, configuran un vasto campo de información ingenieril, que constituye de por sí una especialización profesional, de gran importancia en el futuro mediano, si se tienen en cuenta las inversiones que nuestro país está obligado a realizar en los próximos decenios en el área del saneamiento básico.

Tan vasta es la información técnica de referencia, que su aplicación exitosa es solo posible en nuestros días, gracias al prodigioso avance de las modernas computadoras y sobre todo de la disponibilidad de las mismas y de los programas de cálculo adecuados, por parte de los proyectistas.

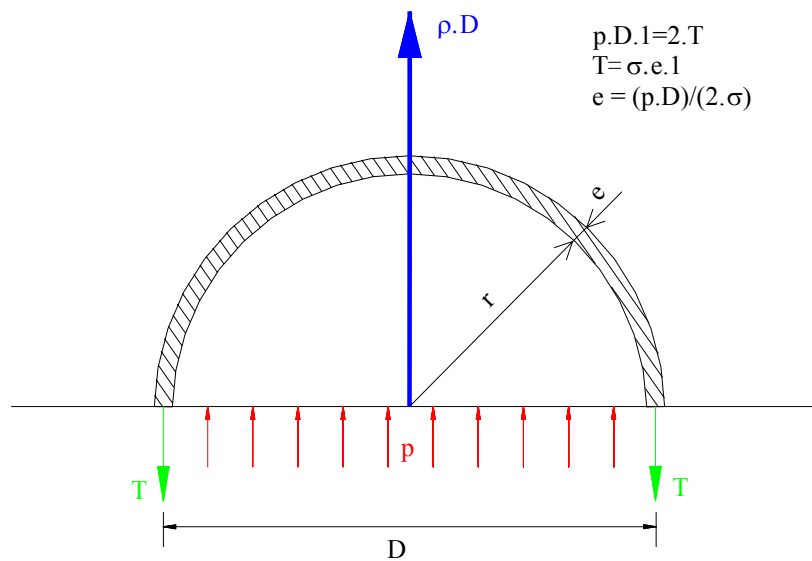
El fundamento del presente artículo, que pretende ser de divulgación, se sintetiza en la comparación del criterio tradicional de selección, confrontado con el criterio moderno que en el desarrollo del mismo se expone. Por cierto no se pretende en el reducido espacio lógico para un artículo de las presentes características, profundizar los conceptos a los que se hará referencia, los que deberán ser encontrados en la bibliografía especializada.

Es oportuno destacar, que en nuestro medio, el criterio de referencia se encuentra vigente en la nueva normativa del CoFAPyS, relativa a proyectos de sistemas de desagües cloacales.

## 2- CRITERIO TRADICIONAL DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS

Encuentra su fundamento en la sollicitación debida a la presión interna debida al escurrimiento permanente en una conducción “a presión”, la que lleva a la expresión de Mariotte (o de las calderas) válida para materiales de las tuberías homogéneos. La misma relaciona el espesor con la tensión de tracción en las paredes de la tubería, lo que es fácilmente deducible del esquema de la Figura 1.

### Ley de "Mariotte" (Boiler)



Nota : La presión  $p$ , de origen de  $N$  y  $2T$ , constituye el parámetro de "Preselección" sujeto a la verificación del resto de las sollicitaciones actuantes.

### Figura 1

Criterio Tradicional de Selección de Caños

En la misma 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 sollicitaciones actuantes.

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 “ $T$ ”.

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 espesor le corresponde una sollicitación admisible, ofrecen al mercado una serie estándar de tuberías aptas para resistir, en condiciones de régimen permanente, una determinada serie de presiones fijadas de antemano. Estas presiones definen las denominadas “Clases” de las tuberías, las que por ser generalmente expresadas en

“atmósferas” resultan series de números enteros (clases 4, 6 y 10 para el PVC; 2.5, 3, 10 y 16 para el PRFV, etc.).

Este concepto de clase es el que se utilizó durante muchos años para la selección de tuberías, e incluso muchos organismos y proyectistas siguen usando actualmente, a pesar de lo insuficiente a la vez que oneroso que significa su adopción como único parámetro de selección.

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...”

La consecuencia inmediata es que éste criterio lleva necesariamente a llamados a licitaciones públicas o compulsas privadas, abiertas a todos los materiales, puesto que todos “. prestan el mismo servicio.....” (lo que es estrictamente cierto pero solo para la solicitud presión interna y en régimen permanente).

Obviamente el objetivo buscado de “alentar la competencia y mejorar los precios”, es noble en sí mismo y lleva a obras probablemente más baratas, pero difícilmente más económicas. En efecto, al no ser consideradas las restantes solicitudes actuantes y demás conceptos necesariamente a ser tenidos en cuenta, la comparación se ha hecho sobre bases incompletas y sólo casualmente la solución adoptada puede resultar la más ventajosa desde el doble punto de vista, técnico y económico.

### **3- CRITERIO MODERNO DE SELECCIÓN DE TUBERÍAS**

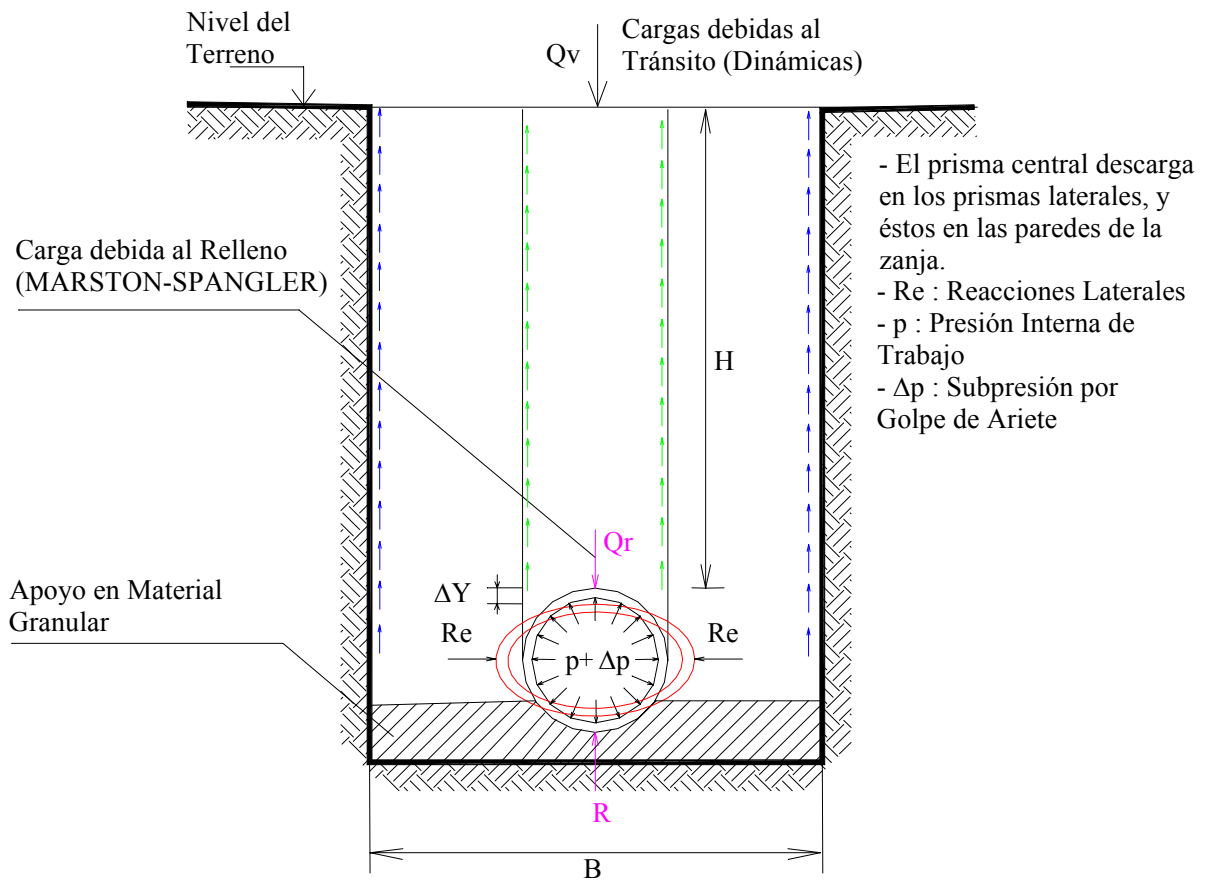
Se sustenta en la comparación de costos, previo diseño y cálculo de las alternativas de los distintos materiales del mercado, que presten un servicio equivalente.

Para precisar el concepto de “Prestación Equivalente” es necesario referirnos a la Figura 2, en la que puede ser apreciada una tubería instalada en una zanja.

Evidentemente el material de relleno habrá de ejercer una acción sobre la tubería que tenderá a deformarla (ovalizarla) en función de las características elásticas de la misma y del suelo de apoyo. Obviamente la intensidad de la solicitud dependerá de las características del suelo del relleno y de apoyo y de la “Interacción Zanja-Tubería”. Cobra especial sentido la consideración relativa a la mayor o menor deformación de la tubería, según se comporte ésta como rígida o flexible.

En este último caso, la mayor deformación implica reacciones laterales que deberán ser equilibradas por los prismas laterales de la zanja, las que deberán ser en consecuencia debidamente compactadas.

### Solicitaciones en Caños Instalados en Zanja



**Figura 2**

### Solicitaciones en Tuberías Instaladas en Zanja

Tal como se destacara oportunamente no es el propósito del presente artículo el desarrollo de la teoría (de Marston- Spangler), pero sí lo es citar las numerosas variables que entran en juego y la imperiosa necesidad de tenerlas en cuenta en los diseños de una parte tan onerosa de los proyectos de Saneamiento Básico, como lo son las tuberías enterradas.

Del simple análisis de la figura de referencia, surge que la selección de la tubería más adecuada y el correspondiente diseño de la zanja (en general distintas para los distintos materiales del mercado), constituye una decisión ingenieril laboriosa que debe ser cuidadosamente meditada.

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 que incidirá sobre la conducción en función de las características de la zanja, y de las propiedades mecánicas del suelo y del material constituyente de la tubería.

Además, y como si esto fuera poco, 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 solo para evaluar las sobrepresiones en el caso de las primeras y las 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).

Es oportuno señalar que el criterio tradicional no brindaba recomendación alguna para la selección de las tuberías de drenaje y que incluso hoy, para algunos materiales del mercado que se usan masivamente, no existen normas nacionales de selección en base a las cargas externas, por lo que la misma se realiza sin tener en cuenta las prestaciones equivalentes con respecto a otros materiales que sí las tienen.

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 es siempre 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, las tuberías de acero o fundición y los materiales cementicios (Hormigones armados o sin armar y Fibrocemento). 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 tuberías de PRFV y de materiales cementicios (incluida la Fundición dúctil puesto que tiene revestimiento interno de mortero cementicio).

Las protecciones catódicas de las tuberías que contienen Hierro, los revestimientos externos, para éstas o las de materiales cementicios, las que a su vez pueden ser especificadas con cemento ARS (Alta Resistencia a los Sulfatos), son condicionantes que necesariamente deberán ser tenidos en cuenta en los análisis de precios. Asimismo, la necesidad de revestimiento interno (o no) deberá ser analizada para el caso del ataque interno en tuberías de material cementicio (Fórmula o Índice de Pomeroy), incluyendo la fundición dúctil la que es revestida interiormente con un mortero de cemento, mientras que para el PRFV deberán comprobarse las normas internacionales vigentes a tales efectos.

Nótese que a las variables propias de las cuatro solicitudes analizadas en la Figura 2, hemos agregado ahora las provenientes de los ataques corrosivos externo e interno, dando lugar a un complejo estudio ingenieril de las “Prestaciones Equivalentes”, que difiere en mucho del elemental criterio tradicional de preselección, que implica el concepto de verificación de la “clase” de una tubería, como único parámetro de selección.

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” es que ". las conducciones diseñadas deben transportar un caudal igual o mayor al requerido en el proyecto o la especificaciones...". Sorprendentemente este requisito rara vez es tenido en cuenta a pesar que sus fundamentos se encuentran en la Hidráulica elemental.

En efecto, por todos 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, 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 en un 30% de la clase 4 a la clase 10.

De lo expuesto se deduce un “nuevo” análisis comparativo a realizar, el que estará muy relacionado con la verificación de las Cargas Externas y las debidas al Golpe de Ariete. En efecto, estas solicitudes, con seguridad habrán de variar las "clases" mínimas preseleccionadas habitualmente en esos materiales al no ser comparados con los alternativos que ofrece el mercado y sobre la base de una “Prestación Equivalente”. Por consiguiente, al ser requerida una clase mayor, al variar el diámetro interno varía también el caudal a transportar, lo que llevará a un aumento del diámetro comercial por sobre el preseleccionado en primera aproximación. En este caso los diámetros comerciales que prestan un servicio mínimo equivalente resultarán distintos con una evidente influencia en el análisis de precios.

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

Implican:

- 1- Verificación de los distintos caudales que surjan en función de los diámetros internos reales y los coeficientes de rugosidad de los distintos materiales que ofrece el mercado.
- 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").
- 3- Verificación o dimensionado teniendo en cuenta los regímenes impermanentes (Estudio del "Golpe de Ariete"), tanto en conducciones rígidas como flexibles (onda positiva y negativa respectivamente), con la consecuente selección y ubicación de las válvulas de ingreso y salida de aire.
- 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 o nuevo dimensionado considerando las cargas debidas al tránsito (Relacionadas con los tipos de camiones, la tapada, existencia de pavimentos o no, etc. Este cálculo se realiza generalmente unido al estudio de la solicitud anterior).
- 6- Verificación al ataque corrosivo externo y/o interno.

Es de destacar que la problemática del "Golpe de Ariete", unida a la que surge del análisis de las maniobras de "llenado", o "vaciado", da lugar a una consecuencia "secundaria" pero de gran importancia en el análisis de precios, como es la selección y ubicación de válvulas para ingreso y salida de aire. La necesidad del ingreso del mismo para evitar el "aplastamiento" de las tuberías flexibles, constituye otra instancia de comparación íntimamente relacionada con los costos de la obra y rara vez tenida en cuenta.

En el caso de las tuberías para drenaje, es decir que funcionan a superficie libre, cobra especial significación el cálculo de la carga externa puesto que además constituyen el parámetro fundamental de selección al no existir la debida a la presión interna. Por otra parte, resulta esencial la verificación al ataque corrosivo debido al SH2 y la correspondiente comparación entre materiales cementicios, los que deberán verificar el índice de Pomeroy (Hormigones, Fibrocemento y Fundición dúctil revestida) y los que no son atacados (El PRFV debe verificar normas ASTM al respecto).

También para este caso de los escurrimientos a superficie libre, se aclara que al estar las fuerzas tractivas íntimamente relacionadas con los coeficientes de fricción de los distintos materiales, al igual que el desarrollo de los remansos, tanto la sedimentación como la formación de los mismos, resultarán función de los distintos materiales. Evidentemente este hecho configura de por sí un motivo de comparación demasiado sutil para la práctica, pero digno de ser mencionado en la enumeración de los cambios que los distintos materiales implican en el escurrimiento proyectado.

#### **4- CONCEPTO DE "PRESTACIÓN EQUIVALENTE" Y CONSECUENCIAS INMEDIATAS**

De 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, previamente diseñadas de acuerdo a cada material y a las normas vigentes, 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.

Lo expuesto se resume claramente en la secuencia indicada en la Figura 3, mientras que en la Figura 4, se presentan, para conducciones a presión o a superficie libre, los pasos y secuencia a realizar para la comparativa propuesta, aún teniendo en cuenta los conceptos sutiles debidos al arrastre de sedimentos y de formación de remansos.

Como consecuencia directa de la adopción por parte de los organismos licitantes del criterio expuesto, es digno de destacar que, la forma de proceder, dará lugar a dos posibilidades:

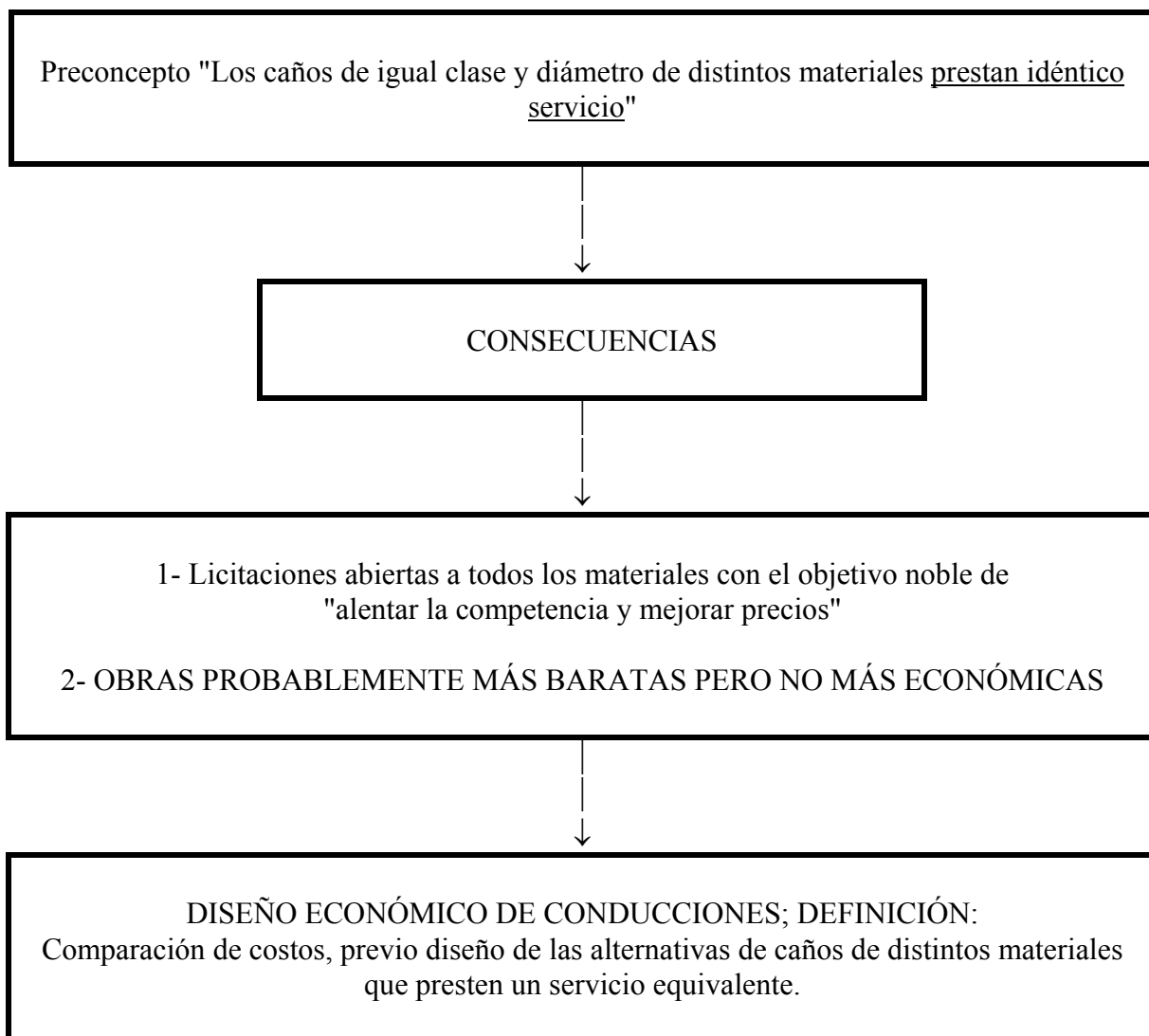
- a) La más laboriosa que consiste en que el encargado del proyecto para la licitación efectúe los cálculos para todos los materiales y se brinden en la documentación del llamado, planillas que destaquen en los distintos tramos las características de las tuberías de prestación equivalente, las que deberán respetar y utilizar los oferentes en sus propuestas.
- b) La menos laboriosa, que basada en materiales tomados como de referencia o básicos y para los que se han efectuado los cálculos pertinentes, posibilite la oferta en otros materiales que el oferente deberá demostrar (mediante el cálculo) que brindarán un servicio equivalente o superior al previsto. Esta última parece ser la alternativa más adecuada puesto que transfiere al interesado la responsabilidad de una real competencia, basada en ofertas bien fundadas en premisas y cálculos ingenieriles y de costos.

Otra consecuencia muy importante es que, las precisiones tecnológica y económica de las ofertas, serán mucho más afinadas, resultando beneficiada la comunidad con obras mucho más confiables a la vez que más económicas en el sentido amplio del concepto.

Por otra parte, se abre un claro panorama para el trabajo ingenieril, cuyos profesionales pueden encontrar una vía de especialización de gran significación por el aporte que implica y por otra parte con una prometedora y vasta salida laboral, si se tienen en cuenta las inversiones a realizar en nuestro país y más aún en nuestro continente, que deberán concretarse en plazos mediatos e inmediatos.

Es de destacar que en nuestro medio, la enseñanza a nivel grado y postgrado del temario de la especialidad "Diseño y cálculo de conducciones hidráulicas", se desarrolla en

las cátedras de "Construcciones Hidráulicas" de la Facultad de Ingeniería de la UBA, y en el curso internacional de postgrado que todos los años se dicta a partir de 1994, en la Universidad de la Patagonia San Juan Bosco, en sus sedes de Comodoro Rivadavia y Trelew, respectivamente y alternativamente, año a año.



**Figura 3**

Selección Tradicional, Consecuencias y Diseño Moderno de Conducciones

