

**FUNDAMENTOS, ANÁLISIS Y
DISCUSIÓN SOBRE EL
CONCEPTO DE "CLASE" DE
UNA TUBERÍA**

Ing. Luis E. Perez Farrás

31 de Marzo de 1999

FUNDAMENTOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN SOBRE EL CONCEPTO DE CLASE DE UNA TUBERÍA

1- OBJETIVOS Y GENERALIDADES

En el presente artículo se tratarán conceptos de interés, íntimamente relacionados con la problemática de la selección de las tuberías.

En especial se analizará y revisará el concepto de “clase de una Tubería”, aprovechando la oportunidad para precisar el origen técnico de su fundamento y además formular las críticas del caso, para quienes, en la selección de las tuberías entre la variedad que ofrece el mercado, consideran a la “clase” como el criterio único y por excelencia, para la adopción del material de las mismas.

Se adelanta, o se recuerda, que el concepto de “clase” está relacionado **únicamente** con la sollicitación debida a la “presión interna” en régimen permanente o en reposo. Las sollicitaciones por “Golpe de Ariete” y por “Cargas externas”, deberán también ser consideradas e implicarán la verificación de la “clase” seleccionada.

En realidad, el presente artículo constituye el cuarto de la serie iniciada en el número 40 de la revista, todos ellos destinados a difundir conceptos hidráulicos básicos de aplicación en el cálculo de las conducciones y que entendemos pueden resultar de interés para los profesionales de la Ingeniería Sanitaria, que no han tenido Hidráulica en su formación profesional, o incluso para unificar conceptos, para aquellos que, si bien han cursado Hidráulica Básica, no se han formado con la adecuación de la asignatura a la problemática de las conducciones en particular.

En rigor, la serie de artículos de referencia, y sobre todo el presente, deben tomarse como precedentes de uno anterior, inserto en el número de la revista denominado “Selección de tuberías de distintos materiales en base al concepto de prestaciones equivalentes”, publicado cuando no se había proyectado la realización y publicación de la serie presente.

Es por ello que, me permito aconsejar al lector, recurrir al artículo referenciado, una vez completada la lectura del presente. En el mismo, se fundamenta el concepto de “Clase” de la tubería y se brindan definiciones de interés, para el proceso de selección del material de las tuberías.

Para probar los conceptos y las definiciones de referencia, **que constituyen el objetivo central**, se utilizan conceptos de la Hidráulica Básica, **que se reproducen con cierto grado de profundidad**, precisamente para continuar con la tendencia proyectada para la serie de artículos, que tienen como objetivos complementarios, justamente la difusión de los fundamentos en base a su trascendencia en la aplicación tecnológica en el diseño y cálculo de las conducciones.

2- CONCEPTO DE PRESIÓN DINÁMICA

Se recuerda la expresión de Bernoulli, ya tratada en el artículo relativo a la misma, inserto en el número 40 de la revista, y que está dada por:

$$H = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + \Delta J_{1-2}^* = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} + \frac{U_i^2}{2g} + \Delta J_{i-j}^* = \text{cte}$$

La anterior implica que la energía total H, con respecto a un plano de comparación arbitrario, se mantiene constante entre las secciones de una conducción caracterizadas por los subíndices 1,2,...,i, aunque la suma de los términos que la componen resultan variables de sección a sección.

Se recuerda también que, la ecuación anterior, sirve para definir las líneas de “energía” y “piezométrica”, a la vez que para interpretar el “Principio de la Conservación de la Energía”, para el caso del escurrimiento de líquidos a presión, y el agua en particular, con una destacable sencillez, por el hecho que el agua puede ser considerada “incompresible” a los efectos de la práctica, en los escurrimientos permanentes (independientes del tiempo).

En efecto, la igualdad de los segmentos que constituyen la energía total, en una u otra sección, implican la interpretación del principio en una forma gráfica y evidente, y la diferente magnitud de los segmentos representativos de las distintas componentes de la energía, permiten las comparaciones y cálculos de gran utilidad para el cálculo Hidráulico de las conducciones en régimen permanente.

En ese caso, cuando el régimen es permanente y además el diámetro se mantiene constante en el recorrido, el escurrimiento se denomina uniforme, y es éste precisamente, el caso que posibilita el cálculo hidráulico de las conducciones, sean éstas “a presión” o a “superficie libre” (Canales). Obviamente hasta el presente nos ocupamos de la problemática de las del primer tipo.

En la Figura 1 se esquematiza el Escurrimiento Uniforme para una conducción inclinada para obtener así mayor generalidad (se reproduce la ya publicada oportunamente) para recordar los conceptos rectores y la interpretación de la ecuación de Bernoulli, vital para el desarrollo que sigue.

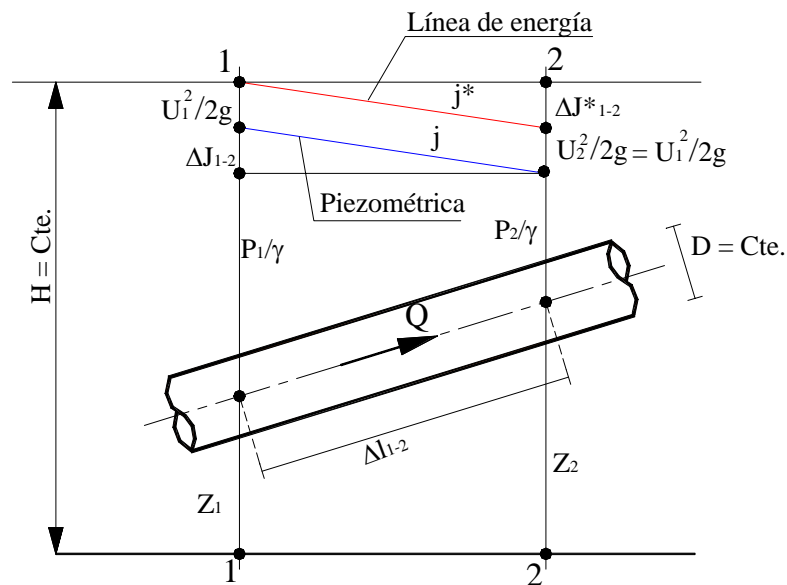


Figura 1
Escorrimento Uniforme en conducciones a presión

Se destaca que, al no variar el diámetro, la velocidad media permanece constante y, en consecuencia, $j^* = j$ habrán de variar linealmente y la piezométrica se encontrará a una distancia $U^2/2g = \text{cte}$ de la línea de energía, es decir que se dispondrá paralelamente a la misma y a “j” se la denomina “pérdida de carga unitaria”. Se ha de tener en cuenta que, multiplicada por la longitud del tramo $\Delta l_{i,j}$, dará la “pérdida de carga” en el tramo ij. **En el régimen uniforme ($D = \text{Cte}$) se cumple siempre que $j = j^*$.**

Todo éste “Repaso conceptual” previo, es conducente para **definir a las presiones a lo largo de la conducción**, cuantificadas por los segmentos formados por la “línea piezométrica” y el eje de la misma (es decir los términos $\frac{P_i}{\gamma}$) **como las “presiones dinámicas”**, por ser las que corresponden al escurrimento (sinónimo de movimiento) de un caudal determinado.

3- ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LA HIDROSTÁTICA

La Hidrostática es el capítulo de la Hidráulica que estudia los líquidos en reposo. Sus aplicaciones en la Ingeniería en general, y en la Ingeniería Civil en particular, son diversas abarcando el amplio campo que va desde la determinación de fuerzas o sollicitaciones que permiten diseñar las estructuras que los contienen, pasando por la medición en fluidos, hasta llegar a la problemática de los cuerpos sumergidos y en particular el equilibrio de los cuerpos flotantes, de tanta aplicación en la Ingeniería Naval.

Si de la expresión de Bernoulli se eliminan los términos función de la velocidad, es decir los que implican movimiento se obtiene la ecuación fundamental de la Hidrostática:

$$z_1 + \frac{p}{\gamma} = \text{cte}$$

En la que:

- z es la altura de la partícula considerada con respecto al plano de comparación.
- p es la presión en el plano horizontal de la partícula en estudio.
- γ es el peso específico del líquido (constante en la práctica).
- cte es un número que es siempre el mismo para todas las partículas y que representa la altura total en metros, sumando la de posición con la de presión.

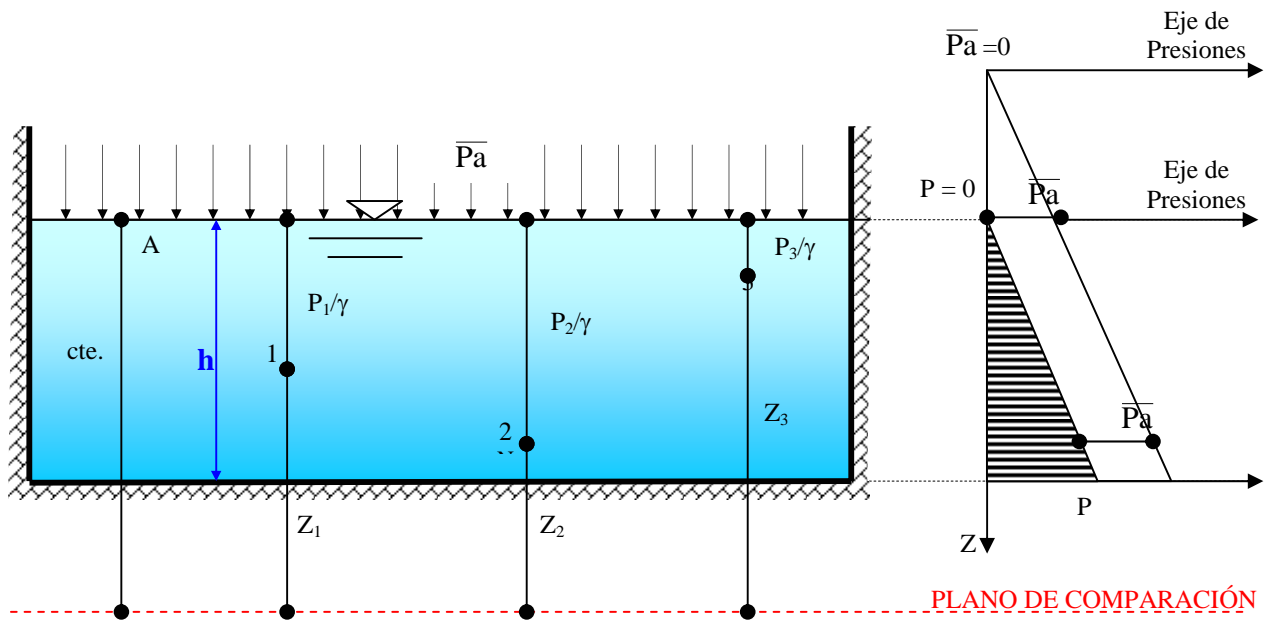


Figura 2
Interpretación de la Ecuación Fundamental de la Hidrostática

La forma más conocida de la ecuación fundamental surge del siguiente análisis, el que se reproduce brevemente, **a los efectos de: repasar los conceptos básicos y a la vez extrapolarlos a la aplicación en conducciones**, con el propósito de mostrar que es la misma expresión la que resuelve todos los problemas de la Hidrostática, a pesar de que no parecen similares a simple vista.

En la Figura 2 se aprecia un líquido en reposo, confinado en una estructura que le sirve de recipiente.

Sobre la superficie libre actúa siempre la presión atmosférica, por lo que podemos definir a las presiones como relativa, cuando la misma no es considerada, o absoluta cuando si se la tiene en cuenta y se la suma a la primera. En términos generales, casi siempre se usa la presión relativa puesto que la presión atmosférica está siempre presente, es decir aparece en ambos miembros de las igualdades cuando la expresión fundamental se establece entre dos puntos o partículas. En los casos especiales (como cuando por ejemplo se procede a estudiar la tubería de aspiración de las bombas) se indicará que las presiones a considerar son las absolutas. **Cuando no se hace referencia a la misma, se entiende que las presiones a considerar son relativas.**

Las presiones absolutas se identifican con un suprarayado en el símbolo correspondiente, por lo tanto se tiene que:

$$\bar{p} = p + \bar{p}_a \quad \therefore p = \bar{p} - \bar{p}_a$$

Haciendo el planteo en presiones relativas (lo que es lo más habitual en nuestra aplicaciones prácticas), se tiene que al plantear la ecuación entre los puntos 1 y 2, se obtiene:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = \text{cte} \quad \therefore z_1 - z_2 = \frac{p_2 - p_1}{\gamma}$$

Es decir que:

$$z_1 - z_2 = \frac{p_2 - p_1}{\gamma} \quad \therefore p_2 - p_1 = \gamma (z_1 - z_2) = -\gamma (z_2 - z_1)$$

Por lo que; $\Delta p = -\gamma \Delta z$

Si aplicamos las anteriores al punto A, se tiene que:

$$p = \gamma h ; \text{ o en presiones absolutas ; } \bar{p} = \gamma h + \bar{p}_a$$

Nótese que las anteriores son ecuaciones de una recta con ángulo de 45° en el gráfico que tiene al eje vertical con sentido positivo negativo (el sentido de las profundidades h positivo) y a las presiones como eje horizontal. Si consideramos el valor “Cero absoluto”, el eje origen se encuentra a una altura por sobre la superficie libre equivalente a la presión atmosférica, en cambio si consideramos el “Cero relativo” el eje horizontal coincide con la superficie libre.

Para un determinado nivel z (o profundidad h), la presión no varía, por lo tanto el plano horizontal que implica se denomina “isobárico”.

En particular el plano isobárico sobre el que actúa la presión atmosférica (o la debida a otro gas, generalizando) se denomina “superficie libre”, la que obviamente por disponerse

siempre horizontal, posibilita el concepto tan extendido de que “... el agua busca siempre su nivel....”. El famoso “Principio de los Vasos Comunicantes”, queda por lo tanto convenientemente aclarado.

En efecto en la Figura 3 se aprecia como un líquido en reposo, presenta todos sus planos isobáricos a un mismo nivel z (independientemente de la forma del recipiente) y muy especialmente, el que representa su superficie libre.

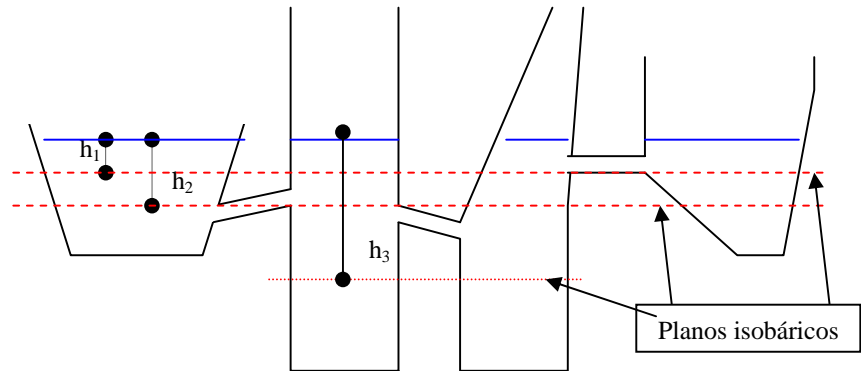


Figura 3
Principio de los vasos comunicantes

4- CONCEPTOS DE PRESIÓN ESTÁTICA Y DINÁMICA

Pasando de la forma más tradicional, a las aplicaciones en las conducciones, nos referimos a la Figura 4a, en la que se esquematiza el tanque de distribución de agua de una población relativamente pequeña, con la correspondiente tubería a presión de aducción, que alimenta a la red de distribución .

El tendido de la conducción, prácticamente reproduce la topografía del terreno (elegida ex profeso accidentada a los efectos didácticos) manteniendo constante una “tapada H”. Es inmediata la interpretación del “principio de los vasos comunicantes” al caso de la tubería en condiciones estáticas, es decir con caudal nulo.

La interpretación de la ecuación fundamental de la Hidrostática es evidente, al interpretarse gráficamente la igualdad de los segmentos que representa en cada punto analizado. En efecto,

$$Z_A = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} = Z_3 + \frac{P_3}{\gamma} = Z_4 + \frac{P_4}{\gamma} = Z_5 + \frac{P_5}{\gamma} = \text{cte}$$

Nótese que si bien las sumas de los z_i y los p_i/γ dan valores constantes, en cada punto pueden resultar individualmente muy distintos. Evidentemente la presión a que estará sometida la tubería, denominada “**Presión estática**” por ser la correspondiente al líquido en reposo, será distinta en el recorrido. Se intuye que el espesor de la misma resultará variable con el mismo, al pretender un diseño económico de la instalación.

Resulta muy evidente que en condiciones dinámicas, las energías de velocidad o “cinética” y las pérdidas por frotamiento, surgirán e expensas de las energías totales disponibles. Como los términos z_i son inamovibles, en consecuencia, los referidos valores se descontarán inexorablemente de los términos de presión p_i/γ . **Por lo tanto la condición estática es más exigente para la sollicitación de la tubería que la presión dinámica.**

Es de destacar que , cada vez que se obtura el caudal, se alcanza el nivel estático, por lo que esta es la condición de diseño para conducciones a gravedad, es decir sin bombes.

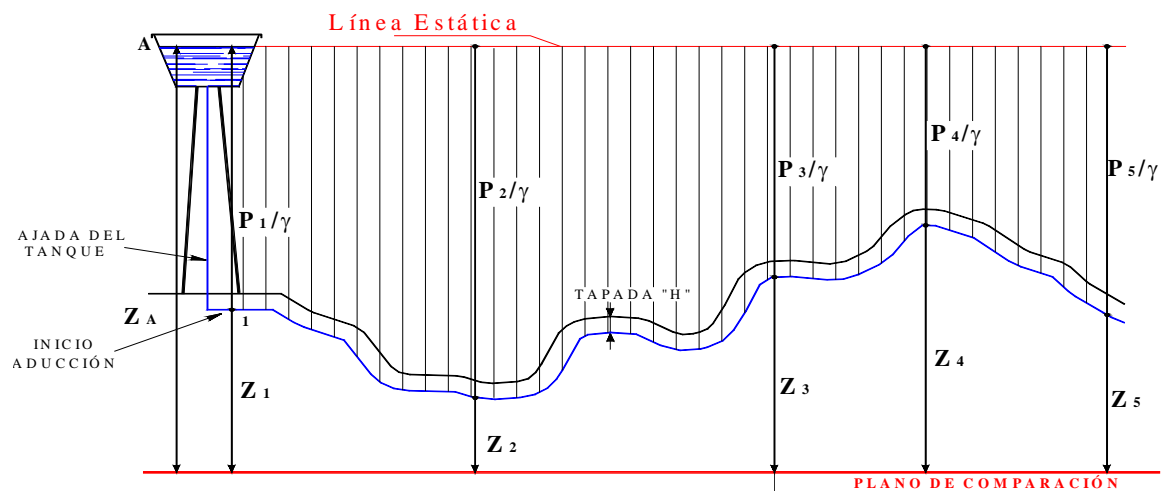


Figura 4.a
Condición Estática

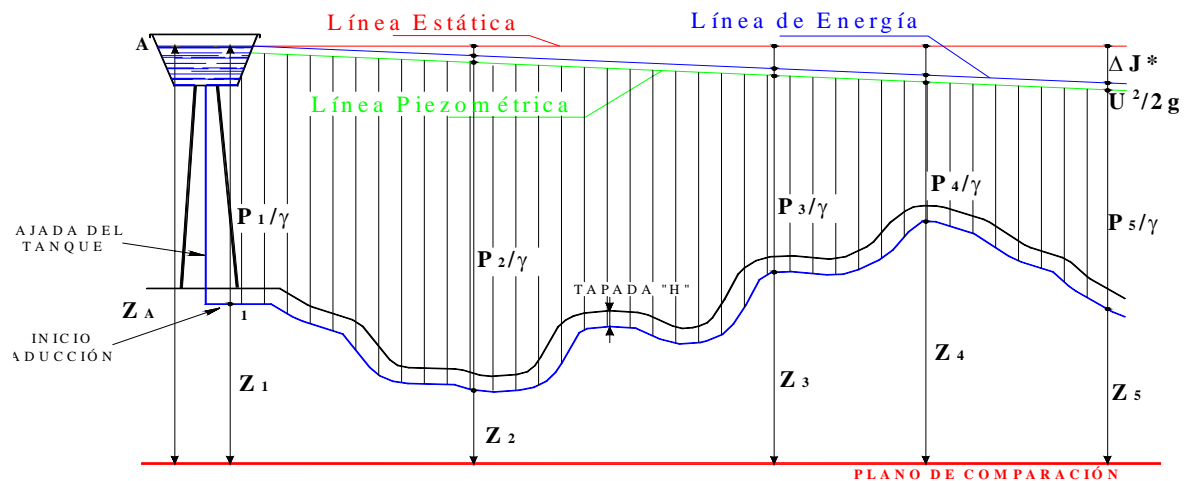


Figura 4.b
Condición Dinámica

En la figura 4b, pueden apreciarse visualmente los conceptos analizados. En la misma se representan las líneas de energía y piezométricas para el caso de una demanda de caudal Q , la que obviamente es variable durante las horas del día y con mayor pendiente a medida

que crece Q (Las energías cinética y las pérdidas crecen con el cuadrado de Q a expensas de las presiones).

En el caso de las impulsiones, las condiciones varían. Para analizar el concepto se repite la figura del artículo del número 41 de la revista relativo al concepto de "Altura Manométrica de Bombas", la que permite evaluar las presiones de diseño de los espesores para éste caso.

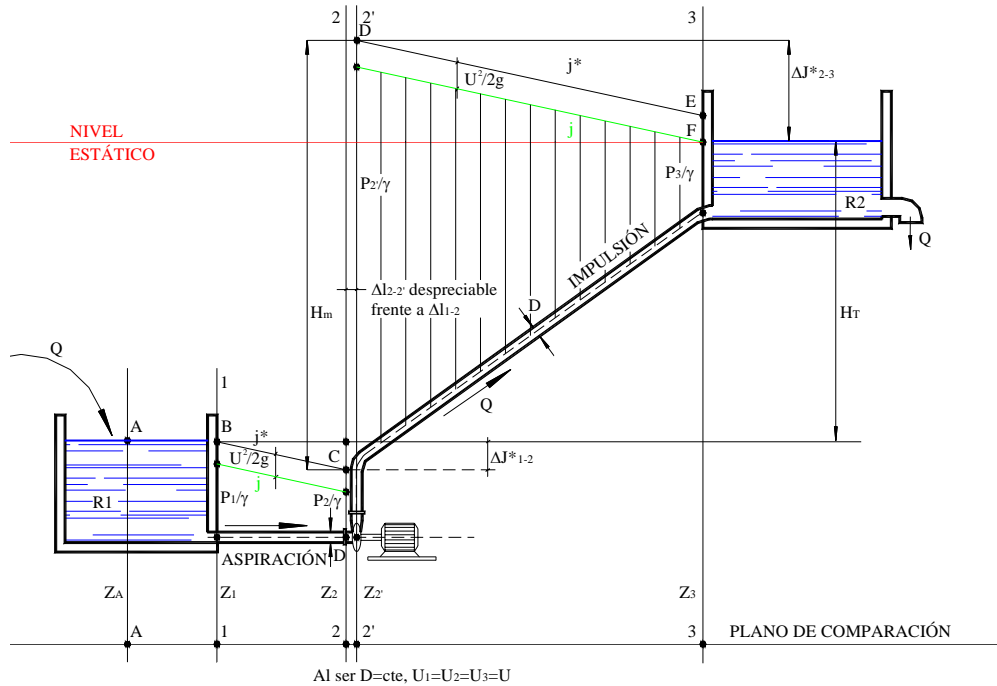


Figura 5
Presiones en impulsiones

En efecto, en el esquema se puede apreciar claramente como la presión dinámica, es decir cuando escurre un caudal Q impulsado por la bomba, muestra una línea de energía superior al nivel estático impuesto por la cisterna de llegada cuando cesa el bombeo. Es a todas luces evidente que en el caso de las impulsiones, **la condición dinámica es la que impone el dimensionado de los espesores de las tuberías.**

5-SOLICITACIÓN DEBIDA A LA PRESIÓN INTERNA EN UNA TUBERÍA

La sollicitación debida a la presión interna en una conducción "a presión", lleva a la expresión de Mariotte (o de las calderas) válida para materiales de las tuberías homogéneos. La misma relaciona, en una forma simple, el espesor con la tensión de tracción en la paredes de la tubería, lo que es fácilmente deducible del esquema de la Figura 6.

En la misma se aprecia un 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.

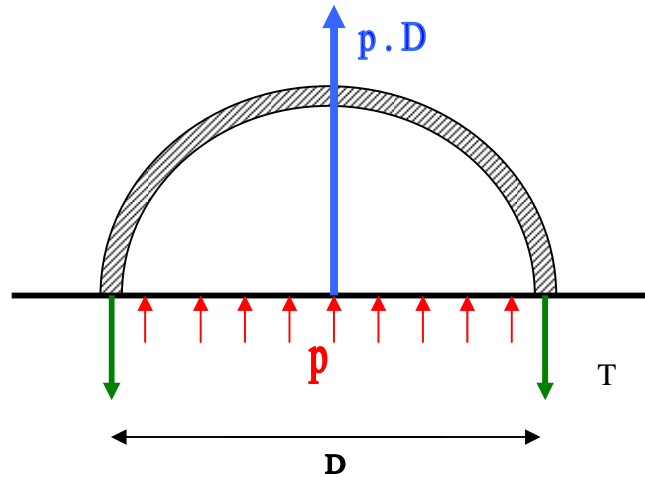


Figura 6

Solicitaciones debidas a la presión interna

El análisis a realizar se fundamenta en la simplificación de que, la distribución de tensiones que tendrá lugar en los espesores de la tubería, como respuesta a la sollicitación debida a la presión interna, **será uniforme**. Éste concepto implica considerar “tuberías de pared fina”, es decir de relativamente poco espesor frente al diámetro

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

En efecto, considerando una longitud unitaria de conducción ($L = 1 \text{ m}$) se tiene que

$$p \cdot D = 2 \cdot T = 2 \cdot \sigma \cdot e$$

De donde:

$$e = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma}$$

En la que:

- e es el espesor de la tubería de material homogéneo
- p es la presión actuante en el plano horizontal que contiene al eje
- σ es la 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 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.**

La expresión anterior representa la forma más simple de cuantificar los conceptos que posibilitan el cálculo de los espesores, pero no es la única ni exclusiva. En efecto, los fabricantes adoptan expresiones, que si bien son similares en lo conceptual, se adaptan más convenientemente a las propiedades geométricas y mecánicas de sus materiales y de su tecnología, aplicando, muchos de ellos, sumandos o coeficientes correctivos.

Otras industrias, usan actualmente la expresión más exacta, obtenida de la **“Teoría de las tuberías de pared gruesa”**.

En ese caso la deducción, fundada en la “Teoría general de la elasticidad”, es notablemente más compleja, al ser considerada la distribución no uniforme en el espesor y sobre todo el hecho de que las tensiones en un sentido, con su correspondiente deformación, inducen tensiones en los dos ejes restantes del espacio, con deformaciones compatibles (afinamiento del espesor en correspondencia con el estiramiento correspondiente al esfuerzo de tracción y la situación inversa para el caso de compresión).

La elaboración de las expresiones diferenciales y su consecuente integración, llevan en éste caso que acota a la realidad con mayor aproximación, a la relación:

$$e = \frac{p D}{2\sigma - p}$$

En comparación con la expresión anterior, basada en las tuberías de pared fina, los valores numéricos de los espesores resultan ligeramente superiores.

6- CONSIDERACIÓN DE LAS SOBREPRESIONES POR “GOLPE DE ARIETE” EN RELACIÓN CON LA “CLASE” DE UNA TUBERÍA

Las sobrepresiones originadas en los movimientos transitorios, positivas o negativas, obligan a la verificación del espesor o de la “Clase” de una tubería, pero debe aclararse que éste concepto corresponde a la sollicitación por presión interna en régimen permanente (o en condiciones estáticas como caso particular). El tratamiento de verificación a los movimientos transitorios debe tratarse en base a los conceptos que se desarrollan a continuación.

Cuando se construye una conducción a presión, la comprobación de la bondad de la obra realizada se concreta a través de las denominadas “Pruebas Hidráulicas”. Las mismas

consisten en probar un tramo de longitud preestablecida (del orden de los 300m), con la tubería enterrada, excepto en las uniones (donde son más probables las pérdidas) y a presiones también prefijadas en función de la clase, durante un tiempo también predeterminado.

En las aplicaciones sanitarias en nuestro medio, se ha difundido **la adopción de presiones de prueba hidráulica de 1,5 veces la Clase de la tubería del tramo en prueba.** La antigua Obras Sanitarias de la Nación (O.S.N.), difundió a lo largo de su dilatada existencia el valor de prueba señalado, para las instalaciones con conducciones a presión que en general no sobrepasaban las presiones de 10 atmósferas, pero que en determinadas y excepcionales ocasiones (acueductos importantes) llegaban inclusive a duplicar esa cifra.

Las preguntas que surgen lógicamente serían ...¿ Por qué probar a una presión tan superior a la de trabajo?...¿No constituye una exigencia exagerada?... Las respuestas a éstos interrogantes surgirán naturalmente del desarrollo que sigue.

En realidad, la presión de prueba dá lugar a una revancha de la tubería, para absorber las sobrepresiones debidas al Golpe de Ariete, hasta en un 50 % de la clase, según la tradición impuesta por OSN. Para probar lo aseverado, nos referimos a los siguientes conceptos relacionados con los movimientos transitorios en las conducciones a presión.

Se recuerda que los tiempos de cierre de las válvulas o de detenimiento de las bombas influyen en la magnitud máxima de las sobrepresiones por "Golpe de ariete".

En efecto, si el tiempo T_M de la maniobra de cierre, es menor que $T_c = \frac{2L}{c}$, denominado "tiempo crítico" (que es el que tarda la onda en ir y volver al obturador), **la máxima sobrepresión** puede alcanzar el valor dado por la famosa expresión de Allievi:

$$\Delta h = \frac{cU}{g}$$

Donde:

- c es la celeridad de las ondas en la conducción (que dependerá del material de la misma entre otras cosas).
- U es la velocidad media del fluido durante el régimen permanente.
- g es la aceleración de la gravedad.

Es el caso de los cierres "Bruscos" de válvulas, de los cuales el "cierre instantáneo" es un caso particular.

En el caso de "cierre lento" ($T_M > T_c$), el cálculo de la sobrepresión es algo más engorroso, a menos que se adopte la hipótesis de "maniobra lineal de cierre", la que conduce a la famosa expresión de Michaud, que para una conducción de longitud "L" es:

$$\Delta h = \frac{2 L U}{g T_M}$$

El método semiempírico desarrollado por el profesor ANGUS, en los años treinta, permite calcular la máxima sobrepresión (en metros de columna de agua) producido por el cierre de las válvulas usuales en ese entonces (esclusas). Dicha sobrepresión máxima habría de producirse en el instante:

$$t = t_0 + T = t_0 + \frac{2L}{c}$$

Y está dada por la expresión:

$$\sqrt{H} = \sqrt{\left[\frac{m}{2} \left(1 - \frac{T}{t}\right)^2 + 1 + m - \frac{m}{2} \left(1 - \frac{T}{t}\right) \right]}$$

En la que:

$$H = \frac{H_T}{H_0}$$

$$m = \frac{c U}{g H_0}$$

Siendo:

H_T la altura máxima, en metros de columna de agua, a la se que llega en el tiempo $t = t_0 + \frac{2L}{c}$, en la sección del obturador.

H_0 la altura de presión en régimen permanente, en la misma sección.

Si se tiene en cuenta que los valores prácticos de m varían entre 0.5 y 7.5, lo que se obtiene asumiendo que $g \cong 10 \text{ m/s}^2$; $c \cong 1.000 \text{ m/s}$ y las velocidades pueden variar entre 0.6 y 3 m/s con una altura inicial que oscila entre 40 y 120 m, la expresión anterior es representable para distintos valores de m , tomando al cociente entre los tiempos de maniobra y el crítico como la variable independiente (abscisas) y a H (cociente entre alturas máxima y estática) como la variable dependiente (ordenadas).

En resumen, en la Fig. 7 se han trazado una serie de curvas en el diagrama de ordenadas $H = H_T/H_0$ y abscisas t/T , caracterizada cada curva por un valor del parámetro m . El gráfico es válido cuando los tiempos de cierre son mayores que T , **es decir para los casos de cierre lento.**

La parte izquierda de las curvas, aproximadamente hasta el valor de t/T de 1,5 corresponde generalmente al caso de repentinas fallas de potencia en bombas. La parte derecha, especialmente a partir del valor $t/T = 5$ corresponde al caso de cierre con válvulas tradicionales (esclusas).

Nótese que la tendencia asintótica de la curva para las abscisas suficientemente alejadas, es **justamente 1.5**, lo que justifica plenamente que en el ámbito de las obras sanitarias (y no solo de nuestro país) se haya adoptado el valor de referencia, el que ha sido tenido en cuenta por decenas de años en los pliegos licitatorios (aún hoy es común que aparezca la especificación de referencia en obras sumamente importantes e incluso en altas presiones).

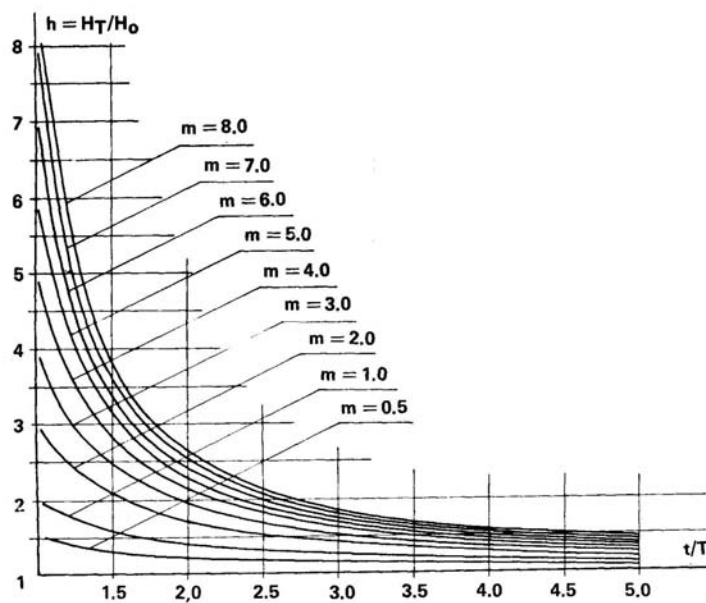


Figura 7

Relación entre sobrepresiones máximas y tiempos de cierre

En general, las normas de aplicación para los distintos materiales del mercado, actualmente, disminuyen las exigencias al aumentar las presiones de trabajo, a cambio, tácitamente, de un estudio más exacto de las instalaciones y dispositivos antiarriete, que aseguren que las revanchas adoptadas no sean sobrepasadas por los movimientos transitorios.

En particular para las conducciones de PRFV, la presión de prueba hidráulica exigida por las normas (PMA) es de 1.4 la clase de la tubería y disminuye para presiones muy altas. Para las tuberías de Hormigón Postesado con alma de acero, cuando el comitente no impone su presión de Prueba en Zanja, también especifica 1.4 de la clase.

En resumen y generalizando se puede escribir que la presión de prueba hidráulica en zanja, la que podemos definir también como PMA (Presión Máxima Admisible en movimientos transitorios sin dispositivos antiariete) es:

$$PMA = \xi C$$

En la que ξ es un coeficiente que depende del material, los criterios normativos vigentes para el material de que se trate y, eventualmente, la exigencia del proyectista o del comitente. Obviamente C representa la “clase” de la tubería en análisis.

7- CONCEPTOS Y DEFINICIONES DE INTERÉS PRÁCTICO

Presión de trabajo, es la máxima presión – estática para instalaciones “a gravedad” o dinámica para “impulsiones”- que habrá de soportar la tubería en condiciones normales de trabajo sin tener en cuenta los movimientos transitorios (Golpe de Ariete).

De los conceptos anteriores surge el concepto de **“Clase de una tubería”, como la presión máxima en régimen permanente de servicio (impulsiones), o en condiciones estáticas (instalaciones a gravedad) que el fabricante de la misma garantiza que puede soportar.**

Obviamente debe cumplirse que la **Clase debe ser igual o superior a la Presión de Trabajo.**

Su valor multiplicado por el “coeficiente de seguridad” (estipulados por normas para los distintos materiales) brinda las presiones de rotura mínima que los materiales deberán superar en los ensayos prefijados, también por normas, para cada material en particular.

En general, los fabricantes ofertan series de tuberías discriminadas por diámetro y clases, siendo éstas acotadas por un número entero, que representa el máximo de las presiones admisibles en atmósferas, que puede resistir en condiciones de trabajo en régimen permanente o estático.

Cada fabricante se caracteriza por la serie de diámetros y clases, por ejemplo el PVC, en clases 4; 6 y 10, el Fibrocemento en clases 3; 5; 7,5; 10; 12; 14 y 18, el PRFV en clases 2,5; 3; 6; 10 y 16, etc.

“Tuberías Estandar”, constituyen las series que publican en sus catálogos los fabricantes, discriminadas en diámetro y clases.

“Tuberías especiales”, son las que se fabrican para solicitudes especiales y no están consideradas en los catálogos.

Es oportuno destacar que algunos fabricantes producen solo tuberías especiales y otros lo hacen a pedido, a partir de determinado diámetro y/o clase. Las limitaciones de referencia encuentran su explicación en posibilitar la mejor competencia en las licitaciones o compulsas de precios.

En efecto, a medida que el diámetro crece, los precios crecen en importancia, por lo que las condiciones de competencia en esos diámetros, los que además generalmente implican obras de relevancia, llevan a dimensionar de acuerdo a la necesidades. Como ejemplo gráfico, es evidente que si la necesidad implica una presión máxima de trabajo de 5.2 atm, resulta poco competitivo saltar en la selección a la clase superior, que podría ser de 7 (depende del material de que se trate), puesto que quedaría en clara desventaja con el oferente que propone su tubería expresamente para clase 5.2.

También, en diámetros poco importantes, determinados fabricantes ofrecen tuberías con espesores a medida (a pesar de que ofrecen catálogos con espesores estandarizados) cuando la dimensión de la provisión lo justifica.

La **Presión Máxima Admisible**, es la correspondiente a la “Presión de prueba en zanja” (en instalaciones medias de la Ingeniería Sanitaria, 1.5 la clase), la que, al ser una presión alcanzada para probar la bondad de la obra, garantiza que los transitorios hasta ese valor serán soportados por la tubería sin necesidad de dispositivos especiales anti-ariete.

De todo lo expuesto previamente, se deduce que el concepto de “Clase” de una tubería está restringido a las conducciones a presión y está **fundamentado en la solicitud “Presión Interna”**, en régimen permanente o estático como caso particular.

Pero las tuberías instaladas en zanja están sometidas a las solicitudes externas actuantes debidas al relleno y al tránsito.

Evidentemente, el material de relleno habrá de ejercer una acción o solicitud 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 efecto, **a la solicitud por presión interna en régimen permanente, la que en realidad nos posibilita la “Preselección”** de la “clase” de la tubería, deberá agregarse la verificación de las solicitudes externas debidas a las cargas de relleno y tránsito, que incidirá sobre la conducción en función de las dimensiones y características de la zanja, y de las propiedades mecánicas del suelo y del material constituyente de la tubería.

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 y que en el proceso de **Preselección** define la “Clase” de la tubería a verificar.
- b) Debida a la sobrepresión interna variable entre valores positivos y negativos del régimen impermanente (transitorios o “Golpe de Ariete”), cuya relación con la “Clase” a través del concepto de **PMA** (Presión Máxima Admisible), fué estudiado previamente.
- c) Debida a la carga del material de relleno.
- d) Debida a la carga dinámica de Tránsito.

De acuerdo a lo expuesto previamente, con la solicitud a) puede procederse a la “Preselección” de la tubería o determinación de la “clase” de la misma, **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) **y pierde sentido, consecuentemente, el concepto de “clase” como criterio de preselección.**

La teoría y la práctica enseñan que existe una importante “interacción tubería zanja”, por lo que el proyectista deberá evaluar el conjunto de las solicitaciones en su diseño. En efecto la zanja, en función de la granulometría de su lecho, de las propiedades del suelo del fondo, de los laterales, del ancho B y de sus propiedades mecánicas, ejercerá acciones que pueden ayudar a la tubería a resistir las cargas en mayor o menor grado.

Por ejemplo, si se piensa en una tubería rígida apoyada en una cama de Hormigón abarcando un gran ángulo de apoyo, es evidente que resistirá mucha más carga que si está apoyada en suelo y con pequeño ángulo de apoyo. En este caso a igualdad de solicitud, la tubería del primer caso puede tener un espesor sensiblemente menor, puesto que es más “ayudada” por la zanja. Es decir que sería económica la tubería pero costosa la obra.

Otro ejemplo importante, y poco tenido en cuenta, que tiene a la “clase” de la tubería como protagonista principal, es el caso de los materiales extrusivos (PVC, polietileno de alta densidad y otros), para los cuales el diámetro comercial, es el diámetro interno, por lo que al aumentar la clase (consecuentemente su espesor) disminuye su capacidad de transporte.

De lo expuesto se deduce un “nuevo” análisis comparativo a realizar para las tuberías de los materiales mencionados, con respecto a otros que ofrece el mercado.

En efecto, la variación de la presión interna en función de la topografía, con seguridad **habrá de variar las "clases" con el recorrido de la conducción,** 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, comparativo con materiales no extrusivos.

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 solicitaciones 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, para lo que se reitera al lector, la conveniencia de recurrir al artículo relativo a “Selección de tuberías de distintos materiales en base al concepto de prestaciones equivalentes”, donde el concepto es desarrollado con mayor amplitud (Número de la revista).