

esto sólo como protección temporal. La sección de los túneles, - cuando se construyen a mano, puede ser de más o menos dos metros, pero cuando se construyen con equipo especializado, la sección mínima es de unos 2.40 metros. La sección de los túneles es generalmente en forma de herradura, aunque también se construyen de sección rectangular y en la actualidad con más frecuencia de sección circular.

e) Conductos a presión. Se construyen casi exclusivamente siguiendo la forma general del terreno, aún cuando en otras épocas, se han construido con una pendiente general en un solo sentido. Los materiales de que se construyen son muy diversos (véase tabla en 3.3), dependiendo de las condiciones de presión, de capacidad y de posibilidades económicas. En la actualidad son de sección circular, casi exclusivamente. El usar un conducto a presión circular o tubo, es el medio más versátil para proyectar una conducción y con los procedimientos actuales de fabricación, es también generalmente el sistema más económico y seguro, que tiene además pocos riesgos en cuanto a peligros de contaminación y de fallas por asentamientos o por cargas externas o internas, principalmente por el notable desarrollo en cuanto al diseño de juntas impermeables y flexibles.

f) Túneles a presión. Se construyen generalmente para cruzar ríos, valles u obras especiales (vías de ferrocarril o carreteras) y también para acortar la longitud de un trazo o librar terrenos difíciles. También se emplean para construir obras de toma adecuadas en grandes embalses, y como alimentadores principales en grandes sistemas de distribución de agua. Se construyen generalmente de forma circular, buscándose que las cargas externas debidas al peso de las rocas, sean suficientes para soportar las presiones internas. Se construyen con ademe generalmente de concreto reforzado, haciéndose a veces las terminaciones en los extremos con ademe de cilindros de acero, para proveer en forma adecuada soporte a las cargas que se presentan en estos casos.

g) Sifones. Estos conductos a presión se construyen para unir porciones de canal cerrado, cuando hay necesidad de pasar un obstáculo que queda sobre la línea del gradiente, o para pasar una

obstrucción, o depresión cualquiera, con una tubería a presión.

### 3.4 CALCULO HIDRAULICO DE UNA LINEA DE CONDUCCION

El cálculo hidráulico de una línea de conducción se desarrolla - generalmente, de acuerdo con los siguientes pasos:

- a) Determinar el gasto de diseño.
- b) Determinar el trazo correcto y el material, o los materiales de que se construirá la línea de conducción, así como si será un sistema por gravedad, a presión, o un sistema combinado.
- c) Calcular la longitud total de la línea de conducción.
- d) Determinar la energía disponible, y la pérdida media de energía por unidad de longitud de línea de conducción.
- e) Aplicando las fórmulas hidráulicas correspondientes, determinar la sección o secciones de los distintos tramos de la línea de conducción.
- f) Revisar la localización del gradiente hidráulico para el gasto de diseño, verificando que en el caso de canales, el flujo no sea a tirante crítico.
- g) Comprobar que no existe riesgo de que se produzca un golpe de ariete excesivo.
- h) Determinar la localización de las válvulas de aire, válvulas de desagüe y de seccionamiento y los registros de inspección y comprobar que las primeras tengan la capacidad adecuada.
- i) Comprobar que el proyecto cumple con las especificaciones de construcción correspondientes.

El cálculo hidráulico de los conductos, queda en el apartado de Hidráulica Aplicada, y las especificaciones de construcción en el apartado respectivo.

El golpe de ariete, tiene una magnitud mayor cuando la línea es de corta longitud, ya que el valor máximo sucede cuando:

Donde:

T : tiempo crítico de cierre.

L : longitud de la tubería.

V : velocidad de la onda de compresión.

$$T = \frac{2L}{V}$$



El tiempo que se tarda en cerrar una válvula es independiente de la longitud de la tubería. Por ello, es recomendable diseñar las líneas de conducción, pequeñas en longitud, para que trabajen a velocidades menores a las permitidas. Se recomienda que el golpe de ariete no exceda, para tuberías de hierro centrifugado, a los siguientes valores: (1)

TABLA No.5  
**ABASTECIMIENTO DE AGUA**  
**TOLERANCIA DE GOLPE DE ARIETE EN TUBOS DE FIERRO**  
**CENTRIFUGADO**

Diámetro del tubo, en cms.	10 a 25,	30 a 35,	40 a 45,	50,	60,	75,	90,	100 a 150
Golpe de ariete kgs/cm <sup>2</sup>	8.5	7.7	7.0	6.3	6	5.6	5.2	5.0

El valor del golpe de ariete puede calcularse con la fórmula:

$$P_i = \frac{v}{9.9 \sqrt{\frac{1}{21,000} + \frac{D}{TE}}}$$

Donde:

- P<sub>i</sub>: presión de inercia o golpe de ariete, en kgs/cm<sup>2</sup>
- v: velocidad del agua, en metros/seg.
- D: diámetro interior del tubo, en centímetros.
- T: espesor de las paredes del tubo, en cms.
- E: módulo de elasticidad del material del tubo, en kgs/cm<sup>2</sup>

Generalmente, es recomendable calcular una línea de conducción formada por un solo conducto, ya que en la mayoría de los casos es más barato construirla para la capacidad al final del periodo de diseño.

<sup>1</sup> Fair y Geyer, "Water Supply and Waste-Water Disposal" Pág. 3

período de diseño, visto desde el punto de vista de inversión total. Sin embargo, resulta muchas veces más económico construirlas por etapas, proyectando una tubería de capacidad menor, de acuerdo con las necesidades para un período más o menos corto, y construir posteriormente otra línea que puede o no ser paralela a la primera, para completar la capacidad de diseño. En ambos casos es a veces necesario construir la línea o líneas, -- subdividiéndolas parcial o totalmente, cuando se presentan casos como los siguientes:

- a) Cuando el tamaño de un solo conducto excede al máximo que se puede fabricar u obtener en el lugar.
- b) Cuando existe el riesgo de falla y la reparación requiere un tiempo que sobre pasa límites razonables (tiempo que debe estar cubierto por un diseño adecuado de los tanques reguladores o de almacenamiento de emergencia).
- c) Cruce de ríos, carreteras o vías de ferrocarril, que presentan riesgos especiales de falla, ya sea por las características geohidrológicas del lugar, o por problemas de tránsito, u otras causas previsibles.

La construcción de líneas gemelas representa, por regla general, un aumento de costo que fluctúa entre un 30% y un 50% más que el de una sola línea de igual capacidad y construida con los mismos materiales. No deben construirse tan cerca, que la falla de una pueda dañar a la otra, pero es recomendable que estén lo suficientemente cerca, que permitan, económicamente, construir interconexiones a intervalos razonables por medio de válvulas, a fin de mantener en operación la mayor parte del sistema en todo tiempo.

### 3.5 CAPACIDAD DE LOS CONDUCTOS A LA FATIGA.

Las diferentes fuerzas que pueden actuar sobre un conducto cerrado, son las siguientes:

- a) Presión estática máxima a la que puede estar sujeta el conducto.



- b) Golpe de ariete, o aumento de presión interna, debido a una reducción brusca de la velocidad del agua, por un cierre rápido de válvulas o por obstrucciones accidentales.
- c) Cargas externas debidas a los colchones de relleno o al tráfico de vehículos.
- d) Expansión y contracción, con cambios de temperatura, debidos generalmente a cambios de temperatura del agua conducida, aunque accidentalmente debidos a la temperatura ambiente y al efecto de los rayos solares.

La presión interna y el golpe de ariete, producen esfuerzos transversales de tensión en los conductos.

Los codos y curvaturas, así como las tapas ciegas y válvulas de seccionamiento, producen esfuerzos longitudinales.

Las cargas externas y las reacciones de apoyo, así como la presión atmosférica cuando existe vacío en el conducto, producen esfuerzos de flexión.

Las variaciones de temperatura producen esfuerzos longitudinales cuando el tubo no puede variar su longitud.

Las ecuaciones para el cálculo de los esfuerzos, son las siguientes:

Para esfuerzos de tensión transversales:

$$P/2 = \frac{pd}{2} \quad \text{y} \quad s = \frac{pd}{2t}$$

Para esfuerzos de tensión longitudinales:

$$P = p \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{y} \quad s = \frac{pd}{4t}; \quad \text{también} \quad s = \frac{pd^2}{4t(d+t)} \quad (\text{más exacta})$$

Presión no equilibrada en codos:

$$P = \frac{\pi d^2}{2} \cdot p \cdot \sin \frac{1}{2} \alpha$$

Carga dinámica en codos, no equilibrada (generalmente despreciable):

$$P = \frac{w v^2}{2g} \cdot \left( \frac{\pi d^2}{2} \cdot \sin \frac{1}{2} \alpha \right)$$

Cambio de la longitud del conducto por cambio de temperatura:

$$\Delta = C \theta L$$

Esfuerzo longitudinal por cambio de temperatura, para longitud de tubo constante:

$$s = C \theta E \quad \text{y} \quad p = \pi (d + t) \cdot t \cdot s$$

donde:

P: carga total, en kilogramos.

p: presión, en kilogramos por centímetro cuadrado.

d: diámetro interior del tubo, en centímetros.

s: fatiga del material del tubo, en kgs/cm<sup>2</sup>.

t: espesor de las paredes del tubo, en centímetros.

α: deflexión angular, en grados.

w: peso unitario del agua, en kgs/cm<sup>2</sup> mto.

v: velocidad del agua, en metros/segundo.

g: aceleración de la gravedad, en mts/seg<sup>2</sup>.

C: coeficiente de dilatación del tubo, por grado centígrado.

θ: cambio de la temperatura del agua, en grados centígrados.

E: módulo de elasticidad del tubo, en kgs/cm<sup>2</sup>.

Δ: cambio en la longitud del tubo, en metros.

L; longitud del tubo (o de la línea), en metros.

Las cargas externas, debidas al relleno, pueden calcularse con las siguientes fórmulas (de Maarston y Schlick) (ver gráfica No. - 2)

$$W = C_w D^2. \quad \text{Para rellenos de material no cohesivo.}$$



$W = (C_0 - C') wBD$ , para tuberías flexibles en zanjas o rellenos compactados.

$W = (C_0 - C') wD^2$ , para tuberías rígidas en zanjas comunes, --- cuando B menor de 1.5 D.

En donde W es la carga externa, en kilogramos por metro de tubería, C, C<sub>0</sub> y C' son coeficientes experimentales.

w es el peso unitario del relleno, en kilogramos/mto<sup>3</sup>.

B es el ancho de la cepa, al nivel de la corona del tubo.

D es el diámetro exterior del tubo.

Los valores de los coeficientes se muestran en la gráfica No. 2

En las zanjas excavadas, aparecen presiones horizontales cuya magnitud fluctúa normalmente entre un 20% y un 30% de la carga externa (vertical). La mayoría de los fabricantes de tuberías, proporcionan manuales con las características de los tubos que ellos fabrican, así como las condiciones de cargas que normalmente pueden soportar.

DETERMINACION DE CARGAS VERTICALES EXTERNAS EN CONDUCTOS CIRCULARES

