

GUÍA DE DISEÑO PARA LÍNEAS DE CONDUCCIÓN E IMPULSIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA RURAL



**Organización
Panamericana
de la Salud**



*Oficina Regional de la
Organización Mundial de la Salud*

**ÁREA DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y
SALUD AMBIENTAL**



**Centro Panamericano de
Ingeniería Sanitaria y
Ciencias del Ambiente
CEPIS/OPS**



Lima, 2004

El presente documento fue elaborado por el consultor ingeniero Salvador Tixe para la Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Contenido

	Página
1. Objetivo	4
2. Definiciones	4
3. Aplicación	4
4. Información Básica	4
5. Trazado	5
6. Diseño de la línea de conducción	5
6.1. Caudal de diseño	5
6.2. Carga estática y dinámica	5
6.3. Tuberías	6
6.4. Diámetros	7
6.5. Estructuras complementarias	7
6.6. Dimensionamiento	9
7. Diseño de la línea de Impulsión	11
7.1. Caudal de diseño	11
7.2. Selección de diámetro	12
7.3. Tuberías	12
7.4. Altura dinámica total (Ht)	12
7.5. Calculo del fenómeno de golpe de ariete	13
7.6. Estructuras complementarias	14
7.7. Línea gradiente hidráulica	14
8. Problemas especiales en el trazo de la línea de conducción e impulsión	14
Bibliografía	16
Anexo	
Anexo 1. Ábaco de Allievi	17

Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural

1. Objetivo

Establecer criterios para el diseño de líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural.

2. Definiciones

- *Cámaras rompe presión:* Estructura que permite disipar la energía y reducir la presión relativa a cero (presión atmosférica), con la finalidad de evitar daños a la tubería.
- *Carga dinámica:* En cualquier punto de la línea, representa la diferencia de la carga estática y la pérdida de carga por fricción en la tubería.
- *Golpe de ariete:* Se denomina a la sobrepresión que reciben las tuberías, por efecto del cierre brusco del flujo de agua.
- *Línea de conducción:* En un sistema por gravedad, es la tubería que transporta el agua desde el punto de captación hasta el reservorio. Cuando la fuente es agua superficial, dentro de su longitud se ubica la planta de tratamiento.
- *Línea gradiente hidráulica:* Es la línea que indica la presión en columna de agua a lo largo de la tubería bajo condiciones de operación.
- *Línea de impulsión:* En un sistema por bombeo, es el tramo de tubería que conduce el agua desde la estación de bombeo hasta el reservorio.
- *Nivel de carga estática:* Representa la carga máxima a la que puede estar sometida una tubería al agua cuando se interrumpe bruscamente el flujo.
- *Pérdida de carga unitaria (hf):* Es la pérdida de energía en la tubería por unidad de longitud debida a la resistencia del material del conducto al flujo del agua. Se expresa en m/km o m/m.
- *Pérdida por tramo (Hf):* Viene a representar el producto de pérdida de carga unitaria por la longitud del tramo de tubería.
- *Reservorio:* Es la instalación destinada al almacenamiento de agua para mantener el normal abastecimiento durante el día.
- *Válvula de aire:* Válvula para eliminar el aire existente en las tuberías; se las ubica en los puntos altos de la línea.
- *Válvula de purga:* Válvula ubicada en los puntos más bajos de la red o conducción para eliminar acumulación de sedimentos.

3. Aplicación

La aplicación de la presente guía será en sistemas rurales y pequeñas localidades.

4. Información básica

Para el diseño se requiere de:

- a) Información de la población.
- b) Investigación de la fuente: Caudal y temporalidad
- c) Plano topográfico de la ruta seleccionada.
- d) Estudio de suelos y si es el caso estudio geológico para determinar la estabilidad del terreno.
- e) Calidad fisicoquímico de la fuente.

5. Trazado

Se tomará en cuenta lo siguiente:

- a) Evitar pendientes mayores del 30% para evitar velocidades excesivas.
- b) En lo posible buscar el menor recorrido siempre y cuando esto no conlleve a excavaciones excesivas u otros aspectos.
- c) Evitar cruzar por terrenos privados o comprometidos para evitar problemas durante la construcción y en la operación y mantenimiento del sistema.
- d) Mantener las distancias permisibles de vertederos sanitarios, márgenes de ríos, terrenos aluviales, nivel freático alto, cementerios y otros servicios.
- e) Utilizar zonas que sigan o mantengan distancias cortas a vías existentes o que por su topografía permita la creación de caminos para la ejecución, operación y mantenimiento.
- f) Evitar zonas vulnerables a efectos producidos por fenómenos naturales y antrópicos.
- g) Tener en cuenta la ubicación de las canteras para los préstamos y zonas para la disposición del material sobrante, producto de la excavación.
- h) Establecer los puntos donde se ubicarán instalaciones, válvulas y accesorios, u otros accesorios especiales que necesiten cuidados, vigilancia y operación.

6. Diseño de la línea de conducción

6.1 Caudal de diseño

Para el diseño de líneas de conducción se utiliza el caudal máximo diario para el período del diseño seleccionado.

6.2 Carga estática y dinámica

La Carga Estática máxima aceptable será de 50 m y la Carga Dinámica mínima será de 1 m.

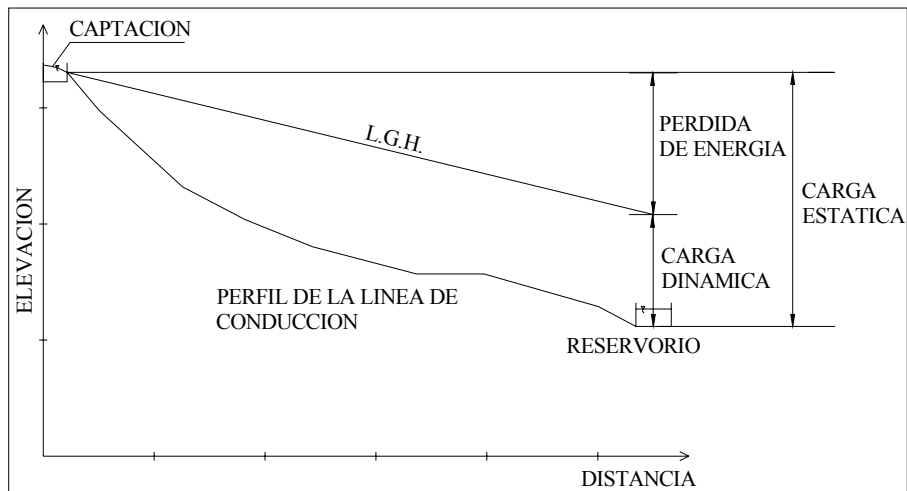


Figura 1. Cargas estática y dinámica de la línea de conducción

6.3 Tuberías

Para la selección de la clase de tubería se debe considerar los criterios que se indican en la figura 2.

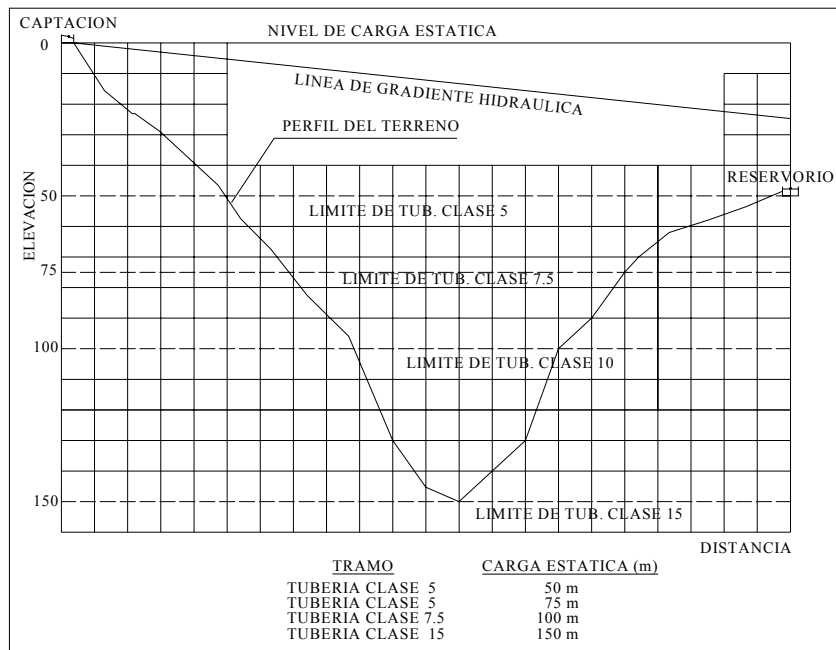


Figura 2. Presiones de trabajo para diferentes clases de tubería de PVC

Se deberá seleccionar el tipo de tubería en base a la agresividad del suelo y al intemperismo. En este último caso, de usarse el fierro galvanizado se le dará una protección especial.

Aquella en caso que por la naturaleza del terreno, se tenga que optar por tubería expuesta, se seleccionará por su resistencia a impactos y pueda instalarse sobre soportes debidamente anclados.

6.4 Diámetros

El diámetro se diseñará para velocidades mínima de 0,6 m/s y máxima de 3,0 m/s.

El diámetro mínimo de la línea de conducción es de 3/4" para el caso de sistemas rurales.

6.5 Estructuras complementarias

a) Cámara de válvula de aire

El aire acumulado en los puntos altos provoca la reducción del área del flujo del agua, produciendo un aumento de pérdida de carga y una disminución del gasto. Para evitar esta acumulación es necesario instalar válvulas de aire automáticas (ventosas) o manuales (figura 3).

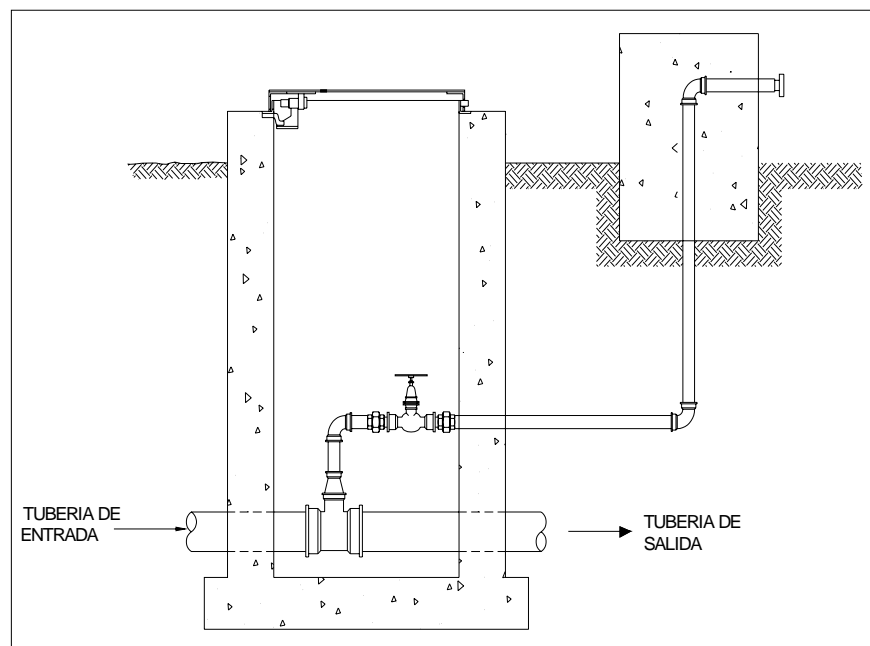


Figura: 3. Válvula de aire manual

b) Cámara de válvula de purga

Los sedimentos acumulados en los puntos bajos de la línea de conducción con topografía accidentada, provocan la reducción del área de flujo del agua, siendo necesario instalar válvulas de purga que permitan periódicamente la limpieza de tramos de tuberías (figura 4).

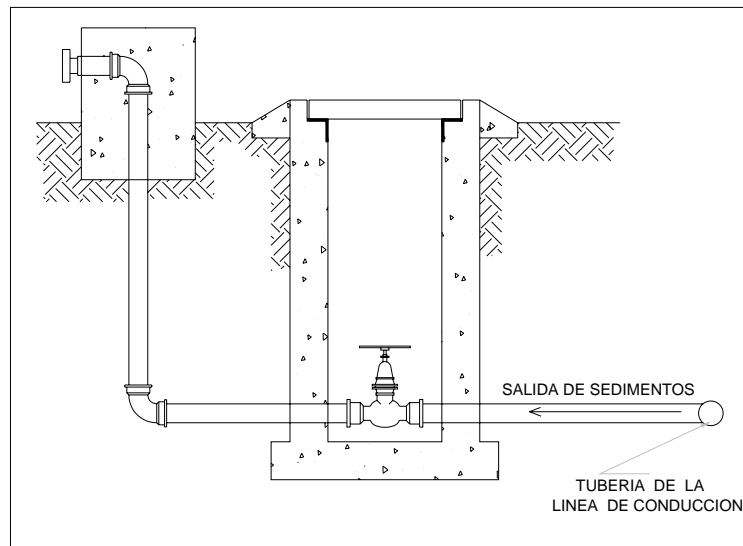


Figura 4. Válvula de purga

c) Cámara rompe-presión

Al existir fuerte desnivel entre la captación y algunos puntos a lo largo de la línea de conducción, pueden generarse presiones superiores a la máxima que puede soportar la tubería. En este caso se sugiere la instalación de cámaras rompe-presión cada 50 m de desnivel.

La tubería de ingreso estará por encima de nivel del agua (figura 5).

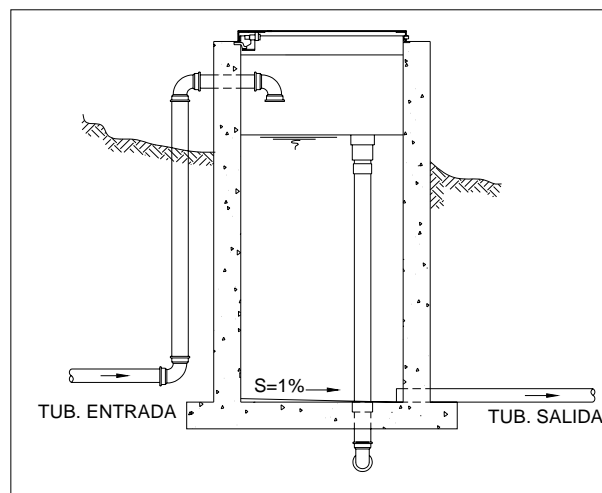


Figura 5. Cámara rompe-presión

6.6 Dimensionamiento

Para el dimensionamiento de la tubería, se tendrán en cuenta las siguientes condiciones:

a) La Línea gradiente hidráulica (L. G. H.)

La línea gradiente hidráulica estará siempre por encima del terreno. En los puntos críticos se podrá cambiar el diámetro para mejorar la pendiente.

b) Pérdida de carga unitaria (hf)

Para el propósito de diseño se consideran:

Ecuaciones de Hazen y Williams para diámetros mayores a 2 pulgadas o hay fórmulas diámetros menores a 2 pulgadas como la de Fair Whipple.

$$Q = \alpha_1 \times C \times D^{2.63} \times hf^{0.54} \quad (\alpha_1: \text{Constante}) \text{ Hazen y Williams}$$

$$Q = \alpha_2 \times D^{2.71} \times hf^{0.57} \quad (\alpha_2: \text{Constante}) \text{ Fair Whipple}$$

$$hf = H_f / L \quad (H_f: \text{pérdida de carga por tramo, L: Longitud del tramo})$$

c) Presión

En la línea de conducción, la presión representa la cantidad de energía gravitacional contenida en el agua. Se determina mediante la ecuación de Bernoulli.

$$Z_1 + P_1/\gamma + V_1^2/2g = Z_2 + P_2/\gamma + V_2^2/2g + H_f$$

Donde:

Z	=	Cota de cota respecto a un nivel de referencia arbitraria.
P/γ	=	Altura de carga de presión “P es la presión y γ el peso Especifico del fluido” (m)
V	=	Velocidad media del punto considerado (m/s).
Hf	=	Es la pérdida de carga que se produce de 1 a 2

Si $V_1 = V_2$ y como el punto 1 esta a presión atmosférica, o sea $P_1 = 0$. Entonces:

$$P_2/\gamma = Z_1 - Z_2 - H_f \quad (\text{figura 6}).$$

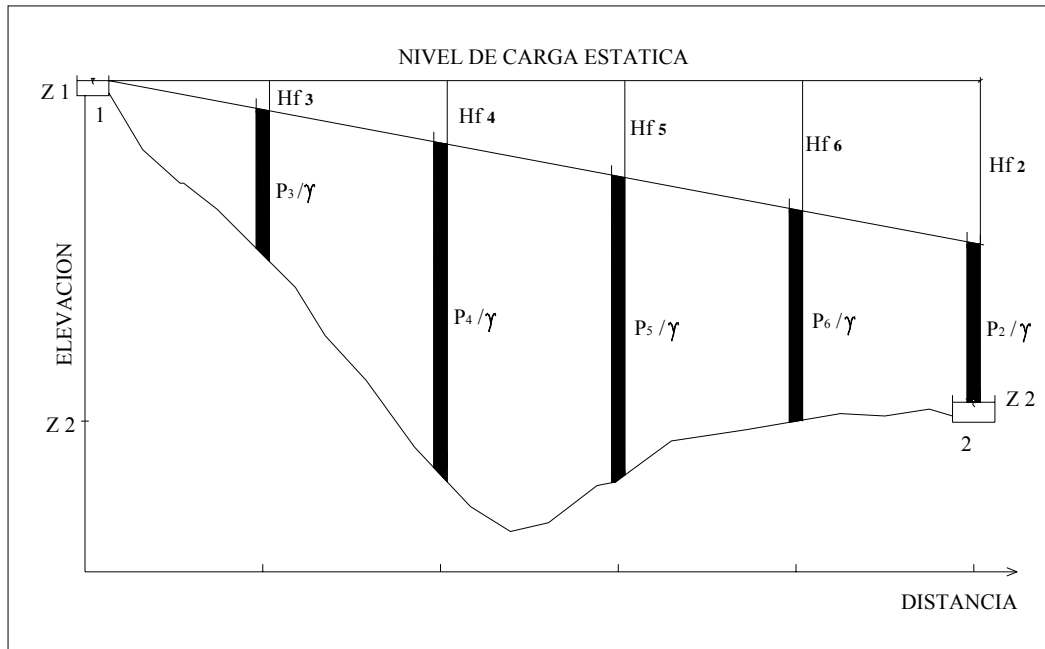


Figura 6. Equilibrio de presiones dispersas

d) Combinación de tuberías

Es posible diseñar la línea de conducción mediante la combinación de tuberías, tiene la ventaja de optimizar las pérdidas de carga, conseguir presiones dentro de los rangos admisibles y disminuir los costos del proyecto.

Se define lo siguiente:

- Hf = Pérdida de carga total (m).
- L = Longitud total de tubería (m).
- X = Longitud de tubería de diámetro menor (m).
- L-X = Longitud de tubería de diámetro mayor (m).
- hf1 = Pérdida de carga unitaria de la tubería de mayor diámetro.
- hf2 = Pérdida de carga unitaria de la tubería de menor diámetro.

La pérdida de carga total deseada Hf, es la suma de pérdidas de carga en los dos tramos de tubería (figura 7).

$$Hf = hf_2 \times X + hf_1 \times (L-X)$$

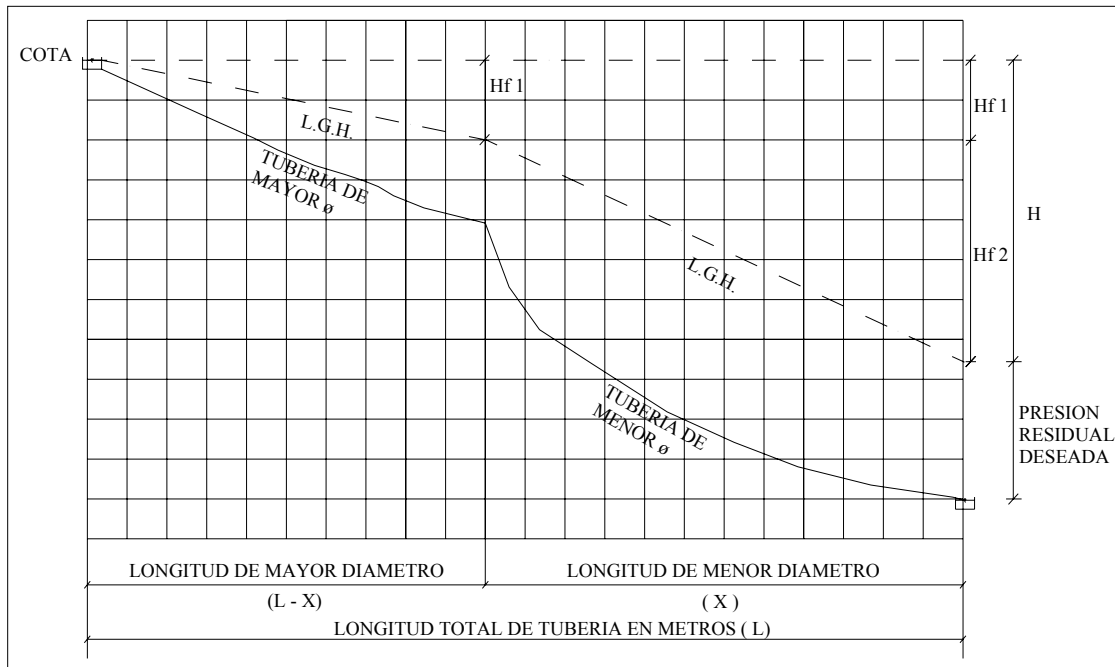


Figura 7. Perfil de la combinación de tuberías

e) Perfiles en U

En zonas donde la topografía obligue el trazo de la línea de conducción con un perfil longitudinal en forma de U, las clases de tubería a seleccionarse serán definidas de acuerdo a los rangos de servicio que las condiciones de presión hidrostática le impongan (figura 2).

7. Diseño de la línea de impulsión

7.1. Caudal de diseño

El caudal de una línea de impulsión será el correspondiente al consumo del máximo diario para el periodo de diseño. Tomando en cuenta que no resulta aconsejable ni práctico mantener períodos de bombeo de 24 horas diarias, habrá que incrementar el caudal de acuerdo a la relación de horas de bombeo, satisfaciendo así las necesidades de la población para el día completo.

$$\text{Caudal de bombeo} = Q_b = Q_{md} \times 24 / N$$

- N = Número de Horas de Bombeo
- Q_{md} = Caudal Máximo Diario

7.2. Selección de diámetros

Un procedimiento para la selección del diámetro es usando la fórmula de Bresse.

$$D = K \times X^{1/4} \times Q_b^{1/2}$$

X	=	$\frac{\text{N}^\circ \text{ de Horas Bombeo}}{24}$
K	=	1.3
D	=	Diámetro en m
Q _b	=	Caudal de Bombeo en m ³ /s.

Determinado un D, se escogen dos (2) diámetros comerciales en torno al valor de Bresse, con velocidades comprendidas entre 0,6 a 2,0 m/s y se determina las pérdidas de carga y potencia de equipo requerido en cada caso. El análisis de costos que involucra tuberías, equipo y costos de operación y mantenimiento permitirá seleccionar el diámetro de mínimo costo.

7.3. Tuberías

En forma similar a como se determinó para la línea de conducción por gravedad, habrá que determinar las clases de tubería capaces de soportar las presiones de servicio y contrarrestar el golpe de ariete.

7.4. Altura dinámica total (Ht)

El conjunto elevador (motor-bomba) deberá vencer la diferencia de nivel entre el pozo o galería filtrante del reservorio, más las pérdidas de carga en todo el trayecto (pérdida por fricción a lo largo de la tubería, pérdidas locales debidas a las piezas y accesorios) y adicionarle la presión de llegada (figura 8).

H _s	=	Altura de aspiración o succión, esto es, altura del eje de la bomba sobre el nivel inferior.
H _d	=	Altura de descarga, o sea, la altura del nivel superior con relación al eje de la bomba.
H _g	=	Altura geométrica, esto es la diferencia de nivel; (altura estática total) H _s + H _d = H _g
H _{f_{total}}	=	Pérdida de carga (totales).
P _s	=	Presión de llegada al reservorio (se recomienda 2 m).
H _t	=	Altura dinámica total en el sistema de bombeo, que corresponde a:

$$H_t = H_g + H_{f_{total}} + P_s$$

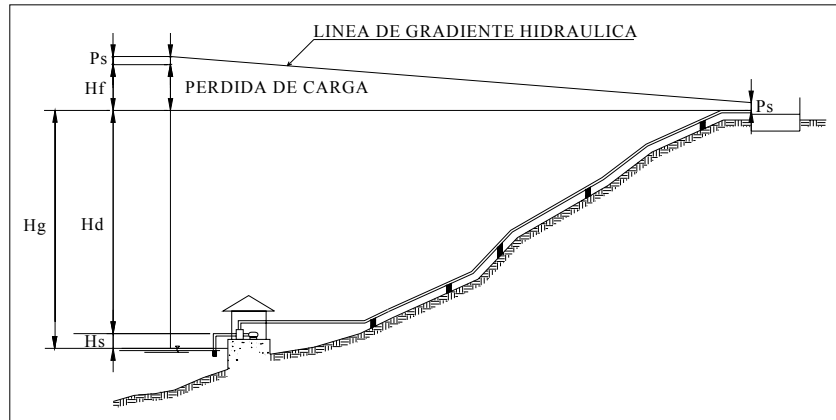


Figura 8. Línea gradiente hidráulica de la línea de impulsión

7.5. Cálculo del fenómeno de golpe de ariete

Se calculará con las fórmulas y teorías de: Michaud, Vensano; de Spare; Teoría Inelástica (Johnson, et al) y la de Allieue.

Puede calcularse mediante diversas metodologías; sin embargo, por su simplicidad puede aplicarse la teoría de Allieue, que se resume a continuación:

Datos requeridos para calcular el aumento de presión:

- D = Diámetro de la tubería (m)
- e = Espesor de la tubería (m)
- g = Aceleración de la gravedad (m/s².)
- C = Celeridad (m/s)
- L = Longitud de la tubería (m)
- Ho = Carga Estática (m)
- Vo = Velocidad en la línea (m/s)

$$\text{Tiempo crítico (Tc)} = 2 \times L / a$$

$$\text{Tiempo para que el caudal sea nulo (T)} = 1 + (k \times L \times V \times Ho / g)$$

$$a = 9900 / (48 + 0.5 \times (D / e))^{1/2} \text{ considerando } a \leq 1000 \text{ m/s.}$$

k = Coeficiente experimental, donde $k = 2 - 0.0005 \times L$ para valores de L menores de 2000m

$$\text{Constante K de la tubería: } K = C \times Vo / (2 \times g \times Ho)$$

Con K, Tc y T, se halla: $N = T / Tc$ (Tiempo relativo de maniobra).

En el Ábaco de Allieue en la intersección de K y N lleva las líneas diagonales dan la relación $(Ho + y) / Ho$ donde “y” representa el aumento de presión (véase anexo 1).

Se determina la presión a la carga total en la línea producida por el Golpe de Ariete y la clase de tubería adecuada.

Las medidas para evitar el Golpe de Ariete son:

- a) Limitación de la velocidad en las tuberías.
- b) Cierre lento de válvulas y registros, construcción de piezas que no permitan la obstrucción muy rápida.
- c) Empleo de válvulas y dispositivos mecánicos especiales, válvulas de alivio.
- d) Utilización de tuberías que puedan soportar sobrepresiones ocasionadas por el golpe de ariete.
- e) Construcción de pozos de oscilación capaces de absorber los golpes, permitiendo la oscilación de agua. Esta solución es adoptada siempre que las condiciones topográficas sean favorables y las alturas geométricas pequeñas. Los pozos de oscilación deben ser localizados tan próximos como sea posible de la casa de máquinas.
- f) Instalación de cámaras de aire comprimidas que proporcionen el amortiguamiento de los golpes. El mantenimiento de estos dispositivos requieren ciertos cuidados, para que se mantenga el aire comprimido en las cámaras.

7.6. Estructuras complementarias

Se mantendrá las mismas recomendaciones para el uso de las válvulas de aire y de purga del numeral 6.5.

7.7. Línea gradiente hidráulica

La línea gradiente hidráulica se traza partiendo de la estación de bombeo con la altura dinámica total y la presión residual de llegada al reservorio.

8. Problemas especiales en el trazo de la línea de conducción e impulsión

Pueden presentarse los siguientes casos:

a) Zonas rocosas

Tubería anclada compuesta de fierro galvanizado o resistente al intemperismo.

b) Vulnerables a desprendimiento de tierra

En las áreas propensas a las avalanchas hay que utilizar cruces suspendidos. Los puntos de anclaje del cruce deben asentarse sobre terreno firme y la tubería en suspensión debe ser lo suficientemente alta para evitar ser golpeadas por deslizamiento o por detritos.

c) Cruce de hondonadas

Son formadas por cursos de agua temporales. Las hondonadas angostas y profundas se pueden cruzar con tuberías de Fierro Galvanizado por encima de la hondonada con o sin apoyo intermedio, libre del máximo nivel de inundación y asegurado en las riberas. Las hondonadas más anchas tendrán que cruzarse con tubería de Fierro Galvanizado enterrado de la mejor manera posible, y confinado en concreto armado si fuera necesario (figura 9).

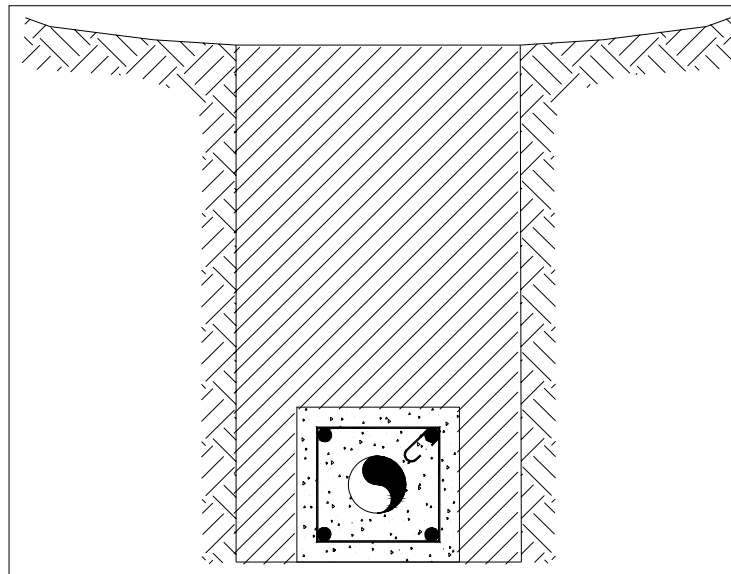


Figura 9. Tubería fierro galvanizado confinado en concreto armado en cruce de hondonada anchas.

d) Cruce de riachuelos

Los riachuelos angostos se pueden cruzar de manera similar a las hondonadas angostas, pero se debe prestar atención a que las riberas del riachuelo, directamente debajo del punto de cruce, permanezcan estables. Se recomienda la construcción de muros de contención con piedra seca de albañilería, o cestones.

Los riachuelos más anchos requerirán un cruce en suspensión.

e) Cruce en suspensión

Pueden requerirse para tuberías suspendidas que cruce un río ancho, o terreno inestable sujeto a erosiones o deslizamientos. Para este diseño especial de ingeniería se considera:

- La tubería suspendida debe ser lo suficientemente alta para no ser dañada por elementos que flotan por el río, por el nivel máximo de crecida, por rocas o pedregones desprendidos.

- El cable que sujeta a la tubería debe estar adecuadamente anclada en ambos extremos sobre el terreno firme.
- El cable que sujeta la tubería debe ser lo suficientemente fuerte como para soportar su propio peso, el de la tubería y el del agua que ella transporta; así como las fuerzas generadas por el viento, el balanceo y la carga de montaje.
- La tubería debe estar fuertemente asegurada al cable suspendido, ya sea con varillas, o péndolas con grapas.
- Las uniones de las tuberías deben ser flexibles para garantizar su alineamiento en cambios de temperatura durante el día.

Bibliografía

- Agua potable para poblaciones rurales. Sistema de Abastecimiento por Gravedad - Roger Agüero Pittman-Asociación de Servicios Rurales (SER) 1997.
- Reglamento Nacional de Construcciones del Perú, 2002.
- Manual de HIDRÁULICA J. M Azevedo Netto-Guillermo Acosta Álvarez 1975 editorial HARLA S.A.
- Sistema de Agua Potable por Gravedad para Poblaciones Rurales- Thomas D. Jordan Jr.-Tecnología Intermedia, 1988.
- Abastecimiento de Agua –Teoría y Diseño-simón Arocha R-Ediciones Vega S.R.L., 1980.
- Título: Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable Rural: cuaderno de referencia para los técnicos de saneamiento ambiental, código 2.1.3. Autor: Personal: Guillama Rodríguez, José Luis; Ocegüera Gonzáles, José Luis Fuente: Ciudad de la Habana; OPS, ago. 1996, 143 p. Ilus.
- Guía para el diseño de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Eliminación de Excretas y Residuos Líquidos para Localidades del Área Rural. Preparado por: Ing. Marcelo Muñoz R. Quito 1993. Instituto Ecuatoriano de Obra Pública.

ANEXO

Anexo 1. Ábaco de Allievi

Anexo1. Ábaco de Allievi

