

CAPÍTULO 7

Dimensionado general de un acueducto

Victoria Lugo, Cecilia Lucino y Sergio Liscia

Introducción

Llamamos sistema de abastecimiento de agua al conjunto de obras necesarias para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua desde fuentes naturales, ya sean subterráneas o superficiales, hasta las viviendas de los habitantes que son favorecidos con dicho sistema.

Las demandas a satisfacer pueden ser de tipo industrial, riego, agua potable o cualquier combinación de estas. En general, las demandas de agua para consumo humano son las que justifican y requieren de grandes acueductos y es por tal motivo que este capítulo está orientado a ellas. Las otras demandas presentan algunos condicionamientos que les son propios, pero pueden ser resueltas siguiendo los lineamientos generales que aquí se aplican. Cualquiera sea la demanda a satisfacer, se deben respetar las normativas vigentes que garanticen la calidad del agua que se quiere suministrar.

Fuentes de provisión de agua

Las fuentes de provisión de agua pueden ser superficiales o subterráneas. Entre las primeras, cabe mencionar: ríos, arroyos, lagos naturales y embalses; entre las segundas: acuíferos cuya agua puede captarse mediante pozos o galerías filtrantes.

El agua superficial permite asegurar mayor disponibilidad y renovación del recurso hídrico, además de no requerir de tratamientos adicionales a los clásicos de filtrado, coagulación y desinfección que tienen lugar en las plantas potabilizadoras tradicionales. El agua subterránea, en cambio, suele contener concentraciones altas de flúor y de metales pesados, lo que torna necesarios tratamientos más sofisticados, con menor rendimiento y mayor costo.

Siempre es necesario un análisis de las particularidades del proyecto para definir con criterio la fuente de provisión más conveniente. Si el caudal demandado fuera inferior al caudal mínimo del río, el abastecimiento puede ser garantizado el 100 % del tiempo; cuando su magnitud está comprendida entre el mínimo y el módulo del río, debe generarse un espacio o volumen disponible a fines de permitir la regulación del río y así poder garantizar el caudal el 100 % del tiempo; en caso de exceder al caudal módulo, aún es posible regular el río para abastecimiento, pero con garantías de provisión menores.

Demanda

La demanda de agua potable para poblaciones cuyo comportamiento demográfico se encuentra en expansión tiene una evolución en el tiempo similar a la que se indica en la Fig. 7.1.

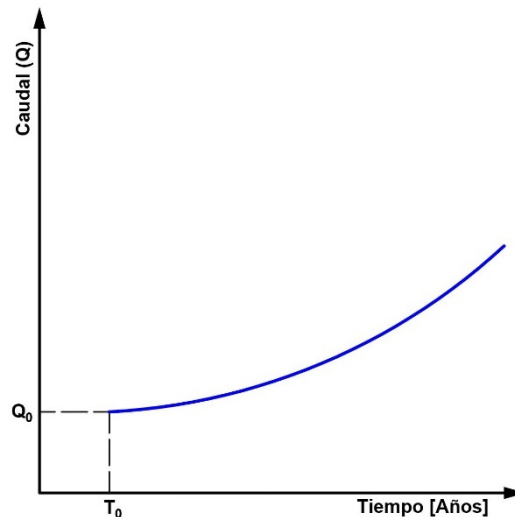


Figura 7.1: Evolución de la demanda de caudal para consumo humano

Si analizamos los consumos de riego –o los industriales–, su variabilidad es menos predecible, pues se encuentran ligados a parámetros de evolución más compleja. El agua para uso industrial, por ejemplo, representa un alto porcentaje del consumo global de agua en los países desarrollados, pero considerablemente menor en los países en vías de desarrollo. Su evolución está ligada al aumento de la producción industrial y manifiesta un crecimiento incierto con el tiempo.

El caudal de diseño de un acueducto para provisión de agua potable se debe obtener a partir de la máxima demanda a satisfacer. Para ello, es necesario, asignarle al mismo un período de vida útil. En otras palabras, asignar un horizonte de diseño y con él determinar la máxima demanda de agua. Definido el horizonte de diseño, es posible a partir de, al menos, los últimos dos datos censales, analizar el aumento de la población y hacer una proyección de ella. Existen diversas metodologías estadísticas de proyección de la población que pueden aplicarse según los distintos casos. Habitualmente implican la estimación de cómo será la evolución de la zona de estudio en el futuro, teniendo en cuenta, para ello, cómo ha sido su evolución en el pasado.

Es importante destacar que es posible modificar algunas tasas de crecimiento que hayan resultado negativas si se considera que la ejecución de un proyecto de abastecimiento de agua potable puede modificar la situación en una localidad, estimulando el desarrollo de algunos sectores o incentivar a la población aledaña a radicarse dentro del radio servido por la red de distribución.

Una vez estimada la población a satisfacer en el horizonte de diseño, se determina la dotación, o sea, la cantidad de litros de agua consumida por habitante por día.

Para el estudio de abastecimiento de agua potable es necesario tener en cuenta el máximo caudal a transportar, que se verá afectado por las variaciones temporarias del consumo. Existen tres tipos de variaciones del consumo a tener en cuenta: la variación horaria del consumo, que

depende de los hábitos de consumo de agua de la población; la variación mensual, que depende principalmente del clima; y la variación anual, que depende del crecimiento demográfico. El caudal de diseño del sistema debe ser el máximo posible que pueda darse durante la vida útil de la obra, es decir: el máximo caudal del día de mayor consumo del último año de la vida útil.

Debe considerarse, además, el agua no contabilizada, que incluye los consumos clandestinos (consumos no registrados por falencias administrativas o comerciales), las pérdidas físicas en el transporte y distribución en redes y conexiones, falsos registros de medidores, usos públicos no registrados, etc. En el caso de sistemas de abastecimiento completamente nuevos, puede considerarse incrementando la demanda en un 20 %.

Finalmente, definidos el horizonte de diseño, la dotación y la población estimada al final de la vida útil del acueducto, es posible determinar el caudal máximo a transportar por el acueducto y los caudales a derivar en caso de que sea necesario. Para caudales intermedios durante los años operativos y para demandas variables deben realizarse las verificaciones y/o adaptaciones que sean necesarias.

Planteo de posibles trazas

El planteo de posibles trazas debe realizarse luego de un estudio profundo de la topografía de la zona. La traza debe diseñarse con quiebres que permitan la eliminación del aire acumulado dentro de la tubería en las partes altas y el vaciado por tramos (este detalle del diseño se abordará en la Segunda Parte del libro) asociado a la colocación de válvulas de aire y de desagüe. No siempre es posible armonizar la traza con las condiciones ideales de escurrimiento. Por este motivo, habrá que analizar distintas variantes teniendo en cuenta factores como la economía del proyecto, la practicidad, la accesibilidad, la posibilidad de construcción de tramos por etapas o de permitir ampliaciones a futuro, el comportamiento del acueducto frente a posibles cortes o roturas en distintos tramos, entre otras cosas. Es recomendable preseleccionar las alternativas que intuitivamente resulten mejores y realizar un estudio económico, con un enfoque totalmente preliminar, para determinar cuál será la alternativa más conveniente.

Dimensionado del acueducto

La provisión de agua mediante un acueducto tiene cinco componentes principales:

1. Obra de captación o toma;
2. Planta de tratamiento de agua cruda;
3. Conducción o red de distribución;
4. Estaciones de bombeo y cisternas;
5. Lógica de control y operación.

Definido un caudal de diseño, se procede a estudiar las dimensiones de la obra de conducción, excluyendo de este análisis la fuente de provisión de agua, sea esta de origen superficial o

subterráneo. El dimensionado de la obra de conducción consiste en definir dos variables primarias: el diámetro de la conducción (o más de un diámetro, en el caso muy usual de tratarse de largas longitudes) y su espesor, que depende en igual medida de la presión de trabajo de cada punto de la conducción y del material seleccionado. Además, el acueducto deberá ser verificado para las condiciones de presión a las que estará sometido en régimen impermanente, lo cual será tratado más adelante. La definición del diámetro y el espesor difiere en el procedimiento a seguir según se trate de conducciones a gravedad o por bombeo. Por otra parte, el proceso de dimensionado tiene un grado de interrelación con la morfología del terreno y las posibles trazas del acueducto.

En los casos de escurrimiento a gravedad, el desnivel topográfico a salvar, entre el nivel mínimo disponible en la toma de agua y el nivel máximo del cuerpo receptor, H_T , permite estimar la mínima energía por unidad de peso disponible para trasladar el agua hasta el lugar de descarga. Es decir que, a los fines del cálculo, H_T es la energía total disponible. Dicha energía será disipada en su totalidad, por lo que, si es posible asumir que el coeficiente de fricción f es constante, la ecuación elemental a proponer es:

$$H_T = J = \left(\sum K + \frac{fL}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad (7.1)$$

Donde J representa las pérdidas totales del tramo en cuestión, de longitud L . Para expresar esta igualdad en función del caudal y del diámetro de la tubería, recordamos las fórmulas de cálculo de la velocidad ($= V/A$) y del área de pasaje ($= \pi D^2/4$).

$$D = 2 \left[\left(\frac{Q}{\pi} \right)^2 \frac{\sum K + fL/D}{2gH_T} \right]^{0,25} \quad (7.2)$$

Para los casos en que los caudales tienen una variación importante a lo largo de la vida útil, aplicando valores de coeficiente de fricción variables, es conveniente utilizar la ecuación de Colebrook–White para obtener el coeficiente de fricción f , de modo iterativo, para distintos valores de Reynolds:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,70} \right) + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \quad (7.3)$$

La Fig. 7.2, que muestra un acueducto funcionando a gravedad, pone en evidencia cómo la diferencia de energía total, H_T , que es producto de una cota superior a la descarga, es consumida completamente por las pérdidas locales y friccionales. Se indica, además, la línea de energía piezométrica dinámica. En general, el proyectista puede tomar una revancha en la cota de llegada, que se descuenta de H_T .

Por cuestiones vinculadas a los transitorios hidráulicos y a los problemas que genera el aire dentro de la tubería en este tipo de conducciones, suele sugerirse que la variación del caudal, ya sea para un cambio de operación o para un cierre temporario, se realice mediante una válvula ubicada en su extremo de aguas abajo. En estas condiciones, cuando el acueducto esté en régimen estático se darán los mayores esfuerzos sobre las secciones de la tubería, por lo que inicialmente este es el estado que se debe considerar para dimensionar los espesores del

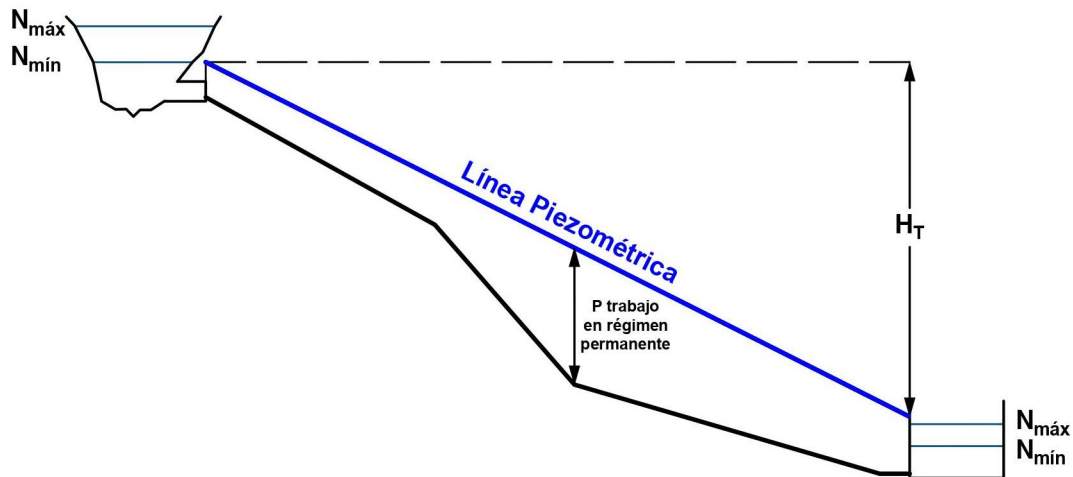


Figura 7.2: Esquema de acueducto funcionando a gravedad

material de la tubería que deberá soportar la carga estructural de la presión interna que le ejerce el agua.

Si aislamos una sección cualquiera del acueducto de diámetro D y un espesor e , vemos que la misma se encuentra sometida a una presión interna p_i . Se tiene un sistema de fuerzas donde la fuerza F genera una tensión de tracción σ (Fig. 7.3).

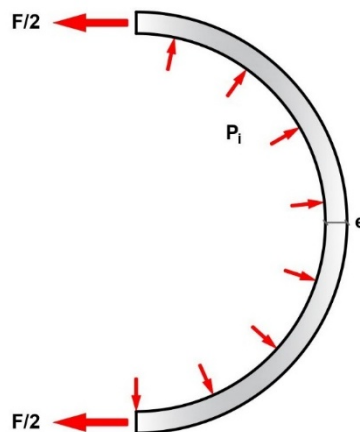


Figura 7.3: Equilibrio de fuerzas en una sección del acueducto

Por lo tanto, se tendrá el siguiente esquema de fuerzas, donde la fuerza F genera una tensión de tracción σ tal que:

$$F = 2\sigma\Omega \quad (7.4)$$

Donde el área por unidad de longitud Ω es el espesor e .

La fuerza F que actúa en el cilindro, calculada por unidad de longitud del acueducto, es:

$$F = p_i D \quad (7.5)$$

Este análisis se fundamenta en la simplificación de que la distribución de tensiones que tiene lugar en los espesores de la tubería, como respuesta a la presión interna, será uniforme. Este concepto implica considerar 'tuberías de pared fina', es decir, de relativamente poco espesor

frente al diámetro. Igualando las fuerzas y despejando el espesor, obtenemos:

$$e = \frac{p_i D}{2\sigma} \quad (7.6)$$

Con esta expresión sería posible determinar el espesor de la tubería en función de la tensión admisible de tracción para cada tipo de material y para cada sección; si la tubería tuviera una cierta inclinación respecto de la línea de energía, el espesor deberá ser capaz de absorber la presión máxima de trabajo correspondiente (Fig. 7.2).

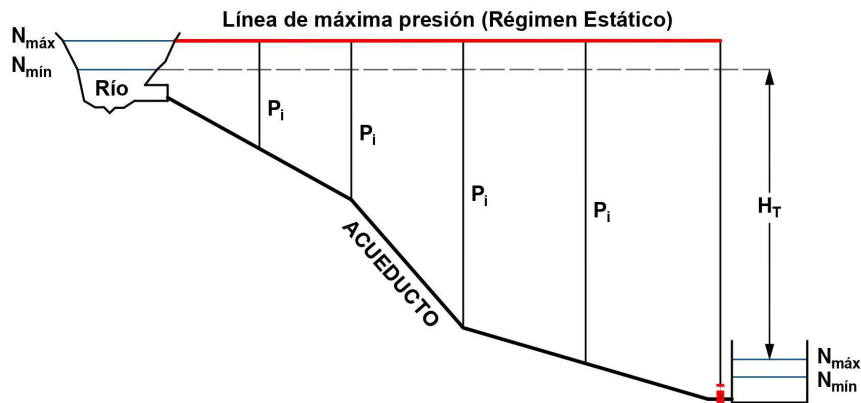


Figura 7.4: Presiones internas en una tubería funcionando a gravedad

Sin embargo, asumir un espesor variable sección a sección resulta impracticable técnica y económicamente. Para salvar este inconveniente, se realiza una distribución discreta en tramos de espesor constante. Los fabricantes de tuberías ofrecen al mercado una serie estandarizada de tuberías aptas para resistir, en condiciones de régimen permanente, una determinada serie de presiones fijadas de antemano.

La clase de las tuberías depende de las normas que se utilicen, y estas, a su vez, del tipo de material. Las normas tendientes a optimizar toda la construcción de las tuberías indican clases con números discretos. En general, clase 2 significa que la tubería puede trabajar con una presión interna de hasta 2 kg/cm². Análogamente para clase 4 (4 kg/cm²), clase 6 (6 kg/cm²), etc. Con esta discretización se subdivide la tubería en tramos, donde cada uno de ellos queda definido por la clase (Fig. 7.5).

En general, los acueductos tienen trazas con quiebres en el plano vertical. Por este motivo, las clases deberán seleccionarse teniendo algún algoritmo que permita identificar las presiones de trabajo, quedando soluciones como las indicadas en el esquema (Fig. 7.6).

En los acueductos, o tramos de estos, en donde opere una estación de bombeo (Fig. 7.7), las mayores solicitaciones se producen cuando las bombas impulsan el máximo caudal, que implica la mayor pérdida de energía a vencer.

Esto es así aun en aquellos casos en los que el acueducto tenga un equipo de bombeo a fines de incrementar el caudal máximo que escurre por gravedad por la tubería (Fig. 7.8). En estos casos, se combinan la línea de energía dinámica debida al bombeo del caudal máximo con la línea de energía estática que, en algunos tramos, supone una mayor solicitación.

Para el trazado de la línea de presión estática, o de reposo, se debe siempre recordar que los

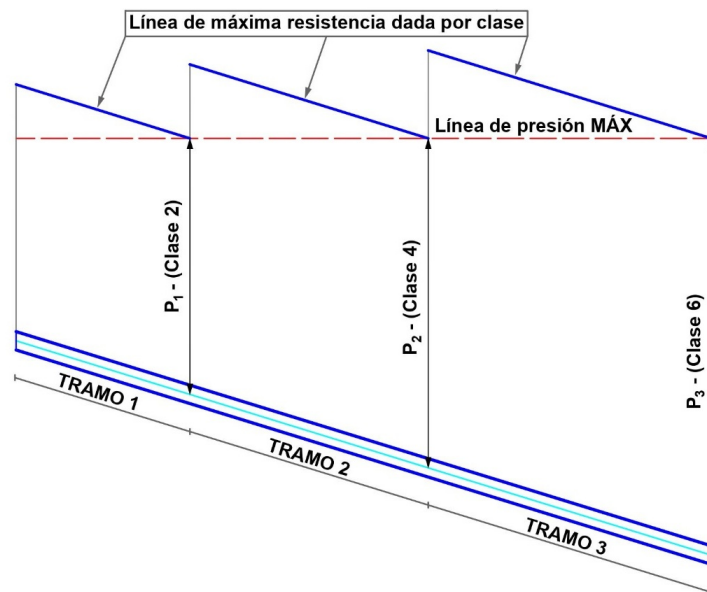


Figura 7.5: Clase de la tubería discretizada por tramos

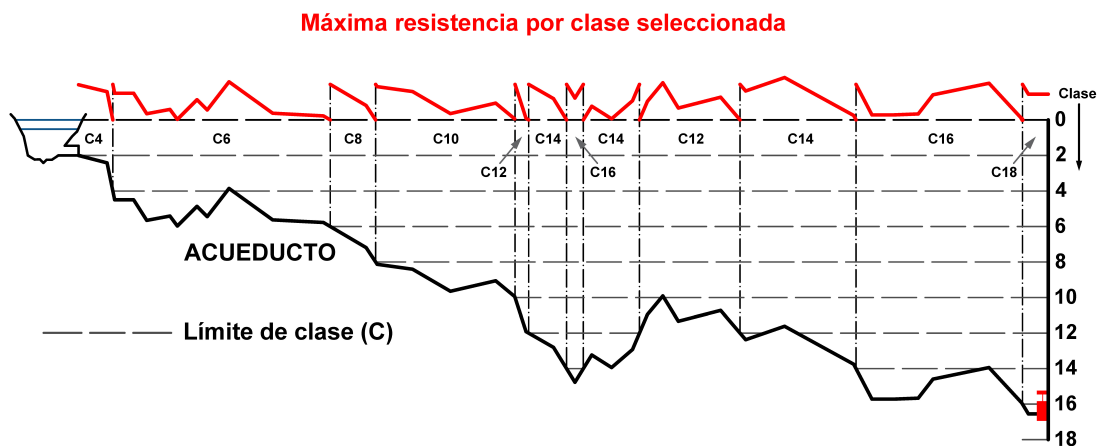


Figura 7.6: Variación de clases en un tramo de acueducto a gravedad

órganos de cierre deben asegurar que el acueducto no se vacíe. Como se puede apreciar en la definición de las clases de las tuberías, la topografía del lugar es de influencia determinante, ya que define los estados posibles de operación del acueducto además del valor de la altura.

Cuando se trata de acueductos con impulsión por bombeo, la clase, que define el espesor en tramos discretos, y el diámetro resultan contrapuestos a la hora de su selección. Por una parte, el aumento del diámetro disminuye las pérdidas de carga. Por otra parte, el aumento del diámetro tiene otras dos implicancias: el cambio del espesor y el aumento de volumen de material de la tubería. Este cambio implica mayor costo pues incrementa no solo la cantidad de material, sino también el ancho de excavación de la zanja donde se va a colocar. El aumento del diámetro redundará en menores pérdidas de energía. Por lo tanto, la bomba puede inyectar una menor presión al sistema, con lo cual la exigencia respecto del espesor es menor.

Para determinar cuál es el diámetro que resulte más económico teniendo en cuenta todos los factores antes mencionados, se realiza un análisis económico financiero para distintos valores de diámetro. Lo primero a considerar es la inversión inicial, compuesta, a grandes rasgos, por

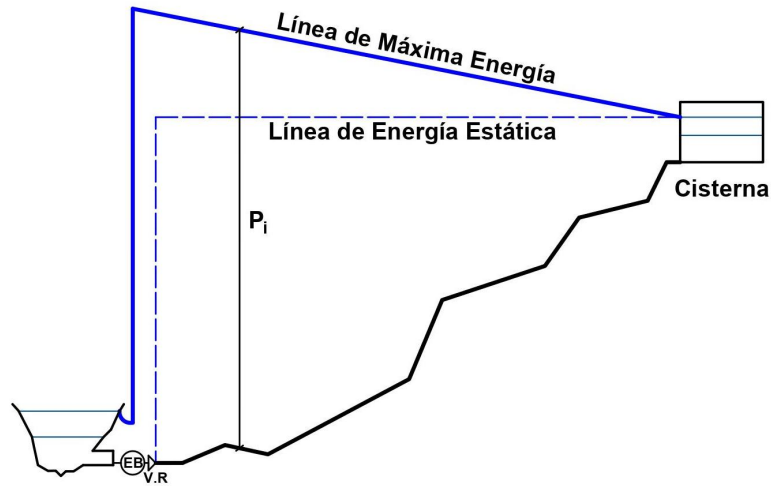


Figura 7.7: Esquema de acueducto funcionando por bombeo

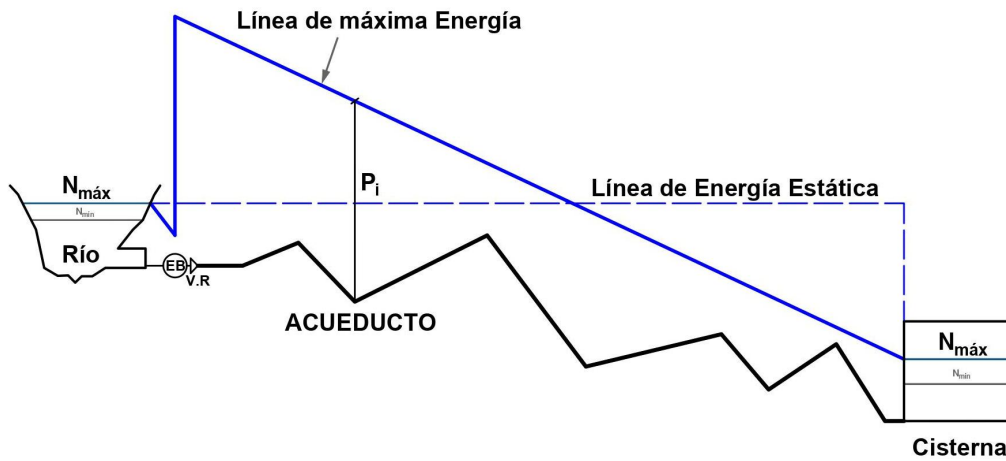


Figura 7.8: Operación por bombeo con gradiente topográfico positivo

el costo de la tubería (función del diámetro, el espesor y el material); el costo de instalación de la tubería, referido a la excavación y relleno de la zanja donde se instala la tubería; y el costo del equipamiento hidromecánico, función de la potencia total instalada, aunque algunos autores lo dan como función de la altura o salto de impulsión. Para observar la forma en que están relacionadas estas variables supondremos que la tubería es diseñada para una misma presión en toda su longitud.

Con respecto al costo total de la tubería, C_T , en general todos los materiales tienen un precio en función del peso de material que deben utilizar para resistir a la presión a que son sometidos; si C_u es el precio unitario y G , el peso de la tubería, entonces:

$$C_T = C_u G \quad (7.7)$$

El volumen de la tubería puede asumirse igual a $V = \pi e D L$; sustituyendo en la Ec. 7.6, se obtiene:

$$C_T = \frac{C_u \gamma \pi p_i L}{2\sigma} D^2 \quad (7.8)$$

Con lo cual es evidente que el costo total de una tubería es función cuadrática de su diámetro.

El costo de instalación, o de zanjeo, de la tubería, C_I , varía poco y es, en general, función del ancho del equipo de excavación cuando se trata de diámetros pequeños. No obstante, en las cotizaciones, o en forma general, se considera un ancho de excavación igual al diámetro del conducto más un sobrecancho fijo de cada lado de la tubería que permita su correcta instalación y relleno (Fig. 7.9).

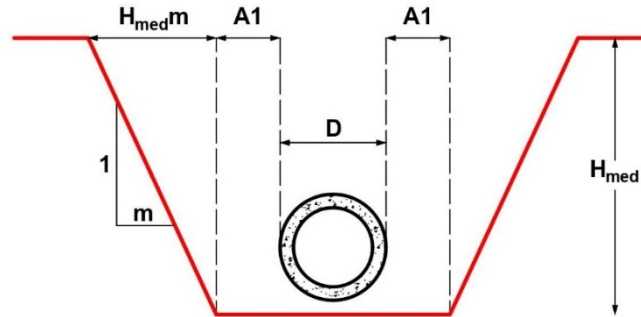


Figura 7.9: Sección de excavación para instalación de tubería

Es fácil comprobar entonces que, siendo C_i el costo de excavación por metro cúbico de suelo:

$$C_I = C_i L (D + 2A_1 + mH_{med}) H_{med} \quad (7.9)$$

Por su parte, el costo del equipamiento electromecánico, C_B , se compone fundamentalmente por las bombas, sus motores y tableros eléctricos; puede asociarse directamente a la potencia eléctrica que consume la bomba. Si el costo unitario del consumo de energía es C_b , entonces:

$$C_B = C_b P \quad (7.10)$$

Donde la potencia suministrada, P , viene dada por la Ec. 7.11:

$$P = \frac{1}{\eta_T} \gamma Q H_u \quad (7.11)$$

En la que el salto útil, H_u , está dado, a su vez, por:

$$H_u = H_T + \frac{fL}{2gD} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \quad (7.12)$$

Donde H_T representa el salto topográfico a salvar.

En vistas de todo ello, se obtiene que:

$$C_B = C_b \frac{1}{\eta_T} \gamma Q \left(H_T + \frac{8fL}{\pi^2 g} \frac{Q^2}{D^5} \right) \quad (7.13)$$

Si se analizan por separado los tres componentes citados de la inversión inicial, veremos que tanto el costo de la tubería como el costo de la excavación aumentan con el aumento de su diámetro. Por el contrario, el costo del equipamiento de bombeo disminuye a medida que el diámetro de la tubería se incrementa, pues ello implica una reducción en las pérdidas de carga y, por ende, en el salto útil requerido para el equipamiento de bombeo.

Además de la inversión inicial, debemos considerar el costo que implica la operación del acueducto durante su período de vida útil. Este costo, que identificaremos como costo de operación, C_O , es variable según varíe el caudal bombeado. Por lo tanto, para los distintos años de vida útil del acueducto, conforme varíen los caudales objetivos, también variarán los costos de operación. Estos costos, denotados por C_1 están ligados a la tarifa por unidad de energía consumida por el equipamiento hidromecánico, Tar , y su factor de utilización, F_u ; o sea:

$$C_1 = TarF_uE \quad (7.14)$$

La energía, E , por su parte, resulta de la integración de la potencia (Ec. 7.11) a lo largo de un periodo de duración T ; usualmente, la unidad temporal de referencia es un año. Por lo tanto:

$$C_1 = TarF_u \frac{1}{\eta_T} \gamma Q \left(H_T + \frac{8fLQ^2}{\pi^2gD^5} \right) T \quad (7.15)$$

Para un caudal dado, la variación del costo anual de bombeo según el diámetro de tubería seleccionado tendrá una variación como la mostrada en la Fig. 7.10. Este costo actúa en todos los años que el acueducto opere. Durante estos años, el caudal va cambiando, o se modifica el tiempo de utilización y por ende, los costos de operación varían también. Para que sea posible sumar todos estos costos es necesario llevarlos siempre, sin excepciones, al año que se tome como referencia (usualmente, el año cero). Una forma sencilla de realizarlo es calcular el costo actualizado C_A (Ec. 7.16).

$$C_A = \frac{C_1}{(1+i)^n} \quad (7.16)$$

Donde C_1 es, como se ha dicho, el costo de operación anual del sistema en un año n cualquiera e i es el interés del capital.

Esta fórmula es válida tanto para ingresos como para egresos y podemos utilizarla para llevar al año cero cualquier costo, ya sea de construcción, operación o mantenimiento, en cualquier año.

Para observar la forma en que están relacionadas estas variables supondremos que la tubería es diseñada para una misma presión en toda su longitud. Si sumamos las cuatro variables analizadas C_T , C_I , C_B y C_O recordando llevar siempre los costos al año cero o al que se tome como referencia, se obtiene una gráfica de costo o inversión en función del diámetro como la que se muestra en la Fig. 7.11. El diámetro óptimo es el que resulta más económico y es el que se corresponde con el valor mínimo de la inversión.

Cisternas

Una vez definidos los diámetros del acueducto, deben dimensionarse los cuerpos receptores que, en general, son cisternas. Las cisternas reciben un caudal del acueducto y desde allí pueden alimentar derivaciones o entregar un caudal para su consumo directo. El caudal a entregar puede ser constante o igual al de consumo, de manera que la regulación a la red se realice mediante elementos intercalados antes de llegar a los usuarios. En cualquiera de estos casos

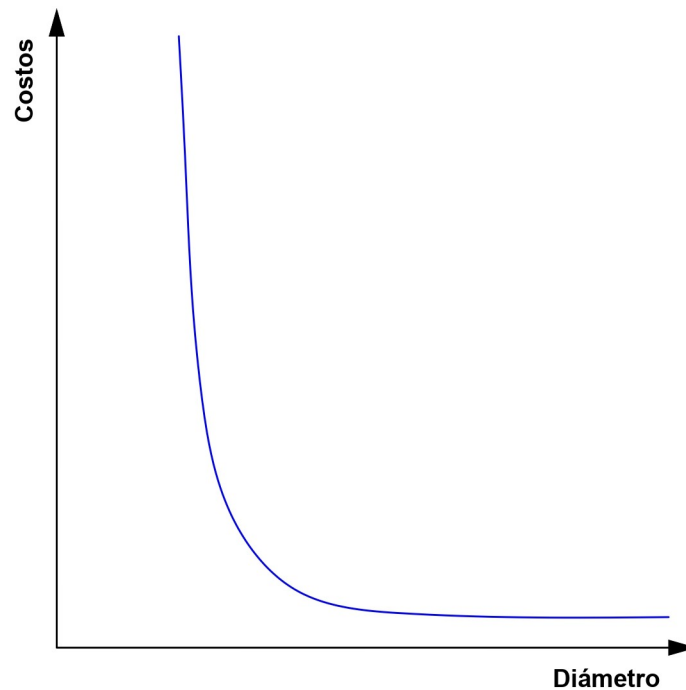


Figura 7.10: Variación del gasto por consumo energético del equipamiento de bombeo en función del diámetro adoptado para la tubería

mencionados, estamos en presencia de un volumen que opera sobre la curva de caudal recibida a fin de erogar otra de características diferentes.

Si el caudal recibido proviene de un acueducto que funciona por gravedad, el caudal variará en función de la válvula que se encuentra aguas arriba de la cisterna, por lo cual deberá reducir el caudal recibido, en caso de que la cisterna se encuentre en su nivel máximo, o aumentarlo, si se alcanza un nivel mínimo de referencia. Si la operación del acueducto es por bombeo, se deberá conocer la secuencia más desfavorable de arranques y paradas de las bombas asociada al desnivel operativo, para verificar que satisface los límites establecidos por el proveedor del equipamiento de bombeo.

Válvulas

Las válvulas son elementos que se intercalan en la conducción con diferentes finalidades como regular el caudal, limitar la presión, evitar el retorno del agua, eliminar el exceso de aire durante el llenado, eliminar el agua durante el vaciado y otras funciones, inclusive asociadas a la operación en régimen impermanente. Las características principales de una válvula son el diámetro, la consigna y su estado de operación (abierta o cerrada). Los resultados asociados con una válvula son básicamente el caudal de paso y la pérdida de carga.

Las válvulas de corte (tipo compuerta) y las válvulas de retención (o antirretorno), tienen por finalidad abrir o cerrar totalmente el paso del flujo. Cada tipo de válvula tiene una consigna diferente, relacionada con su comportamiento.

Las válvulas de regulación son bidireccionales y simulan una válvula parcialmente cerrada, cuyo comportamiento queda determinado por el valor del coeficiente de pérdidas menores. Usual-

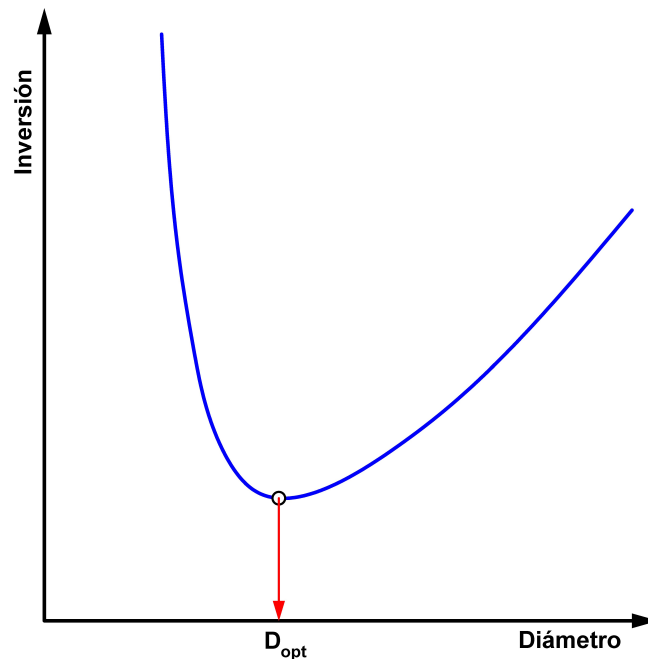


Figura 7.11: Costo total de inversión para distintos diámetros de tubería adoptados

mente, los fabricantes proporcionan la relación entre dicho coeficiente y el grado de apertura de la válvula.

Las válvulas limitadoras de caudal limitan el caudal de paso a un valor prefijado especificado por el operador del sistema. Estas válvulas pierden, por lo general, su capacidad de control cuando no existe pérdida de carga a su través o cuando se encuentran con un flujo en reversa.

Las válvulas reguladoras de presión limitan la presión aguas abajo de la válvula para que no exceda un valor de consigna prefijado. Permiten modificar las clases de las tuberías y, con esto, los costos de esta última (Fig. 7.12). Estas válvulas operan, en general, hidráulicamente, y comparan a cada instante la presión aguas abajo con un valor de referencia: si esta supera el valor fijado (presión de seteo) cierra, introduciendo una pérdida de carga hasta llegar, si es necesario, a caudal nulo. En régimen estático, es decir, con caudal nulo, aguas abajo de la válvula la presión queda igualada al valor de seteo. Con esta disposición, la máxima carga que el acueducto debe soportar aguas abajo de las válvulas reguladoras de presión puede ser considerablemente menor que la que actuaría si ella no estuviese. Se reducen así las clases de la tubería. En cualquier caso, la economía lograda en el costo de la tubería deberá ser tal que justifique el costo de la instalación y mantenimiento de la válvula. Además, deben ser tenidos en cuenta otros costos adicionales, como son los correspondientes a válvulas complementarias que resultan necesarias para el correcto funcionamiento, como son las válvulas de seguridad o de alivio y de aislamiento para eventuales reparaciones.

Las válvulas sostenedoras de presión tratan de mantener la presión aguas arriba de la válvula en un valor de consigna prefijado. Pueden operar en tres estados:

1. Parcialmente abierta, para mantener la presión aguas arriba en el valor de consigna prefijado, siempre y cuando la presión aguas abajo sea inferior al valor de consigna;
2. Completamente abierta, si la presión aguas abajo es superior al valor de consigna;

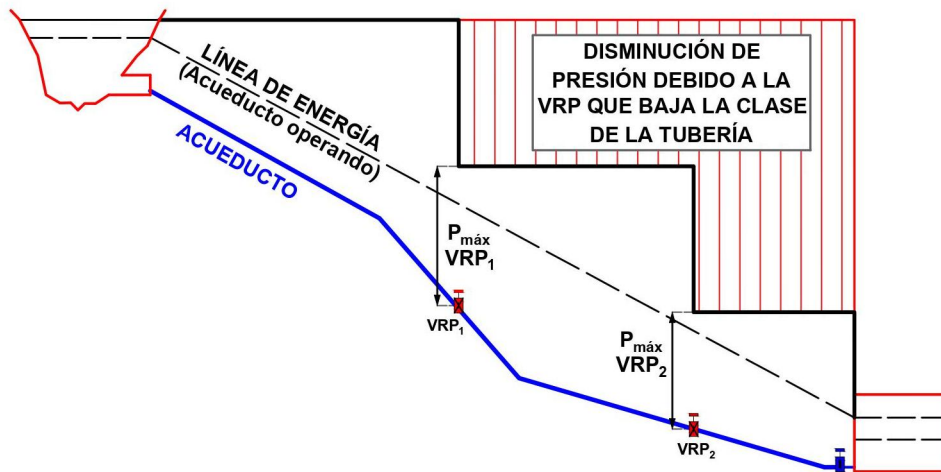


Figura 7.12: Ubicación y funcionamiento de válvulas reguladoras de presión en un acueducto operando a gravedad

3. Cerrada, si la presión aguas abajo excede a la del nudo aguas arriba (para impedir el flujo inverso).

Las válvulas de aire pueden ser de pequeño orificio (o de purga) y de gran orificio; hay diseños que tienen ambas funciones en la misma válvula. Las primeras abren automáticamente en forma intermitente, dejando salir el aire cuando se ha acumulado una cierta cantidad en las partes altas de los tramos –los perfiles quebrados, justamente, admiten la acumulación de aire en las partes altas– y las de gran orificio están previstas para las maniobras programadas de llenado y vaciado del acueducto por tramos, también ubicadas en las partes altas de los tramos, aproximadamente cada mil metros.

Las válvulas de desagüe se disponen en los puntos bajos del acueducto, distanciadas unas de otras en no más de 3000 m, con el fin de permitir el desagote de la tubería en cada sector, en caso de tener que vaciar algún tramo del acueducto ya sea por razones de limpieza, operativas o por alguna rotura sufrida en algún sector.

Las válvulas seccionadoras son las encargadas de posibilitar la división del acueducto en tramos independientes. De esta manera, en caso de hacerse necesaria la reparación de algún sector de tubería o de algún otro accesorio, no hace falta el vaciado de todo el acueducto, solo se aísla el tramo con problemas, cerrando las válvulas seccionadoras al comienzo y al final del mismo. La cantidad, tipo y distribución de estas válvulas en la instalación dependerá, de la configuración de cada problema en particular y de la decisión del proyectista.