

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA

CÁTEDRA DE "CONSTRUCCIONES HIDRÁULICAS"

ACUEDUCTOS A PRESIÓN
Nociones Básicas de Diseño

VERSIÓN AL 12/07/2005

Ing. Luis E. PÉREZ FARRÁS
Ing. Sandra M. PÉREZ

INDICE

<u>OBJETIVOS Y DEFINICIONES</u>	<u>3</u>
<u>COMPONENTES DE UN ACUEDUCTO A PRESIÓN</u>	<u>4</u>
OBRA DE TOMA	6
TUBERÍAS	7
EL CASO PARTICULAR DEL PRFV, PRESENTA UNA FLEXIBILIDAD TAL DE PRODUCCIÓN, QUE PERMITE LA ADOPCIÓN DEL DIÁMETRO EXACTO QUE EL CÁLCULO HIDRÁULICO REQUIERE.	7
ESTACIONES DE BOMBEO	8
BOMBAS CENTRÍFUGAS AXIALES	11
BOMBAS CENTRÍFUGAS HORIZONTALES	11
BOMBAS CENTRÍFUGAS MIXTAS	11
CÁMARA PARA VÁLVULAS DE AIRE	11
CÁMARA PARA VÁLVULAS DE DESAGÜE	12
VÁLVULAS SECCIONADORAS	12
VÁLVULAS DE CONTROL (DE ALTA TECNOLOGÍA)	13
CÁMARAS COMPENSADORAS	14
DEPÓSITOS DE DESCARGA	14
CISTERNAS	15
<u>PASOS BÁSICOS A SEGUIR EN EL DISEÑO DE UN ACUEDUCTO A PRESIÓN</u>	<u>15</u>
1º - ESTUDIOS PRELIMINARES	15
2º - DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES A ABASTECER POR LA OBRA	16
3º - PLANTEO DE TRAZAS ALTERNATIVAS	18
4º - ELABORACIÓN DE VARIANTES PARA CADA TRAZA	18
5º - ESTUDIO ECONÓMICO DE CADA ALTERNATIVA (MÉTODO DEL MENOR V.A.N.)	19
7º - SELECCIÓN DE BOMBAS PARA LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	19
8º - ESTUDIO DE LOS ASPECTOS HIDRÁULICOS DE LA ALTERNATIVA	20
REGULACIÓN DEL ACUEDUCTO	20
CÁLCULOS EN RÉGIMEN PERMANENTE	20
CÁLCULOS EN RÉGIMEN IMPERMANENTE	20
9º - CÁLCULO Y/O VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE TUBERÍAS	21
10º - DISEÑO Y VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS OBRAS CIVILES	21

ACUEDUCTOS A PRESIÓN

Pautas Generales para su Diseño

OBJETIVOS Y DEFINICIONES

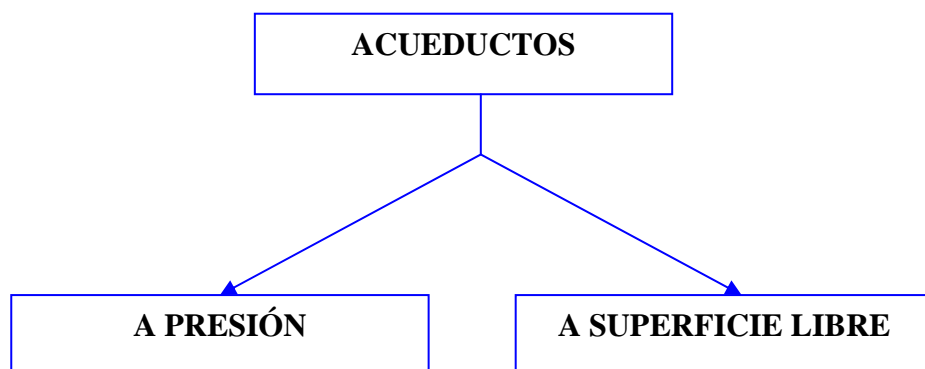
Es el objetivo central del presente capítulo, la descripción de los distintos componentes de un acueducto, como así también la enumeración y comentarios sobre las pautas de cálculo y diseño necesarias.

En realidad, el presente constiuye un texto introductorio, que posibilitará la visión integral del conjunto del proyecto y sobre todo, la guía de referencia para el tratamiento de los ítems constitutivos del mismo, con la profundidad necesaria prevista para la asignatura que nos ocupa.

Un ACUEDUCTO es toda aquella obra destinada al transporte de agua entre dos o más puntos. Esta obra incluye tanto al medio físico a través del cual el fluido será transportado (tuberías, canales, etc.) como a todas las obras adicionales necesarias para lograr un funcionamiento adecuado de la instalación (Estaciones de Bombeo, Válvulas de todo tipo, Compuertas, Reservas, Transmisión de energía, etc.).

Por lo general, la idea de construir un Acueducto surge ante la necesidad de proveer de agua a sitios o poblaciones que no disponen en abundancia de la misma, o en caso de disponer, que su calidad sea deficiente, con todas las consecuencias ingenieriles que esto implica. Por estar transportando un recurso de primera necesidad para el desarrollo humano y por estar involucrada en general una cantidad importante de personas, de recursos de la Ingeniería e importantes recursos económicos, es que el diseño correcto de esta obra se hace especialmente importante, sobre todo teniendo en cuenta la trascendencia social de la obra en consideración.

Los Acueductos pueden funcionar “A PRESIÓN” (en tuberías cerradas) o bien “A SUPERFICIE LIBRE” (a través de canales o tuberías parcialmente llenas). Los primeros tienen la limitación impuesta por la tecnología actual de tuberías, por lo que se usan por lo general para caudales menores a los 4 m³/s. Cuando los caudales son muy grandes, resulta mucho más cómodo y económico el transporte a superficie libre. En el rango de caudales medios, habrá que analizar la situación de la zona, sobretodo la topografía, para decidir cuál sería la alternativa más conveniente.



En algunas ocasiones, los acueductos tienen como misión la conducción tanto de líquidos cloacales como pluviales, formando en ese caso parte de lo que podríamos denominar un proyecto de drenaje. No obstante, todo lo que aquí mencionaremos es absolutamente aplicable en tanto y en cuanto se conduzca el mismo fluido, o sea Agua. En todos los casos, la determinación del caudal a conducir forma parte de un capítulo fundamental al que nos referiremos más adelante.

En lo que sigue, y debido a que el propósito principal de nuestra materia son las tuberías, nos referiremos exclusivamente a los Acueductos a Presión.

COMPONENTES DE UN ACUEDUCTO A PRESIÓN

En la Figura 1 podemos ver un dibujo esquemático del corte longitudinal de un Acueducto a Presión, con las correspondientes líneas de energía dinámica y estática.

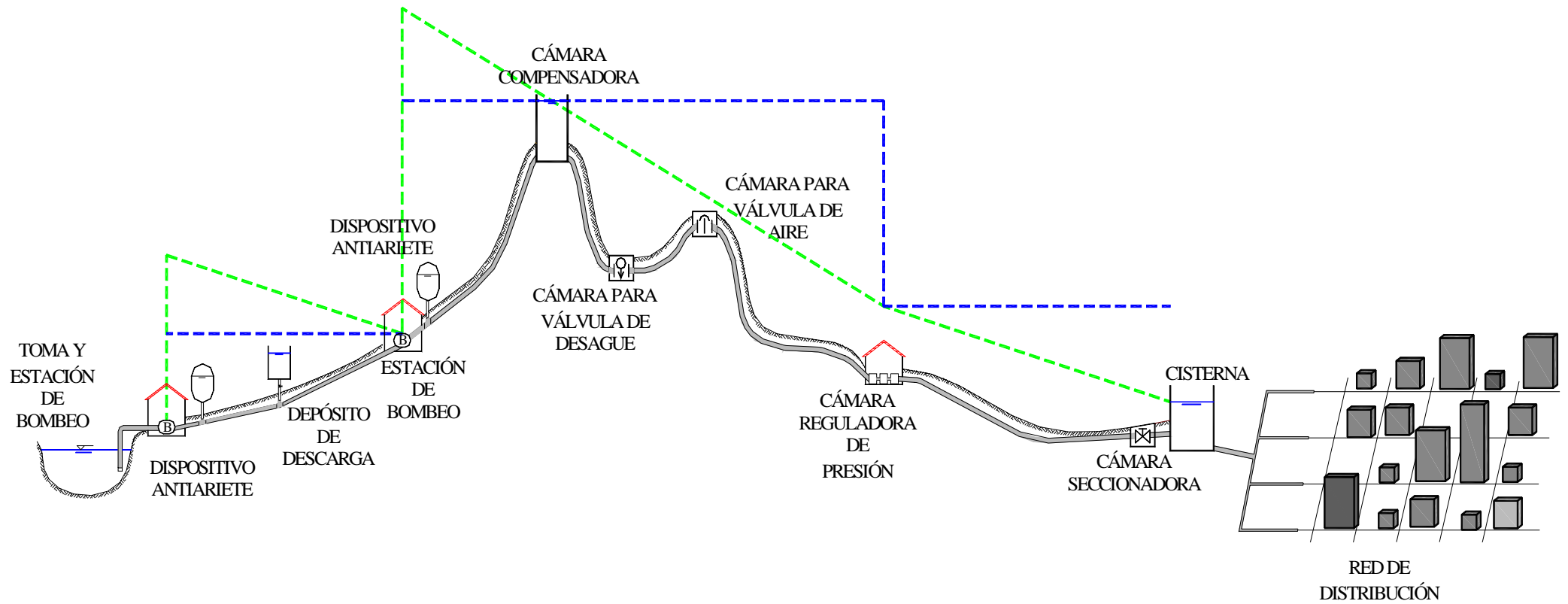


Figura 1
Componentes Principales de un Acueducto a Presión

OBRA DE TOMA

La Obra de Toma forma un conjunto de estructuras y sus auxiliares que permiten extraer agua del curso de un río o de algún tipo de embalse (natural o artificial) en condiciones satisfactorias de flujo y con un control adecuado.

El diseño de la misma varía mucho de acuerdo con las condiciones geológicas y topográficas, el lugar de donde se realiza la extracción y las variaciones del caudal a extraer. En grandes ríos o en grandes presas, incluso, se puede requerir de varias tomas, o bien una toma con varios pasajes o conductos.

En general, una obra de toma consiste en una estructura de entrada, conductos, mecanismos de regulación y emergencia con su equipo de operación y dispositivos para disipación de energía.

En la Figura 2 se pueden apreciar algunos diseños comunes para este tipo de obra.

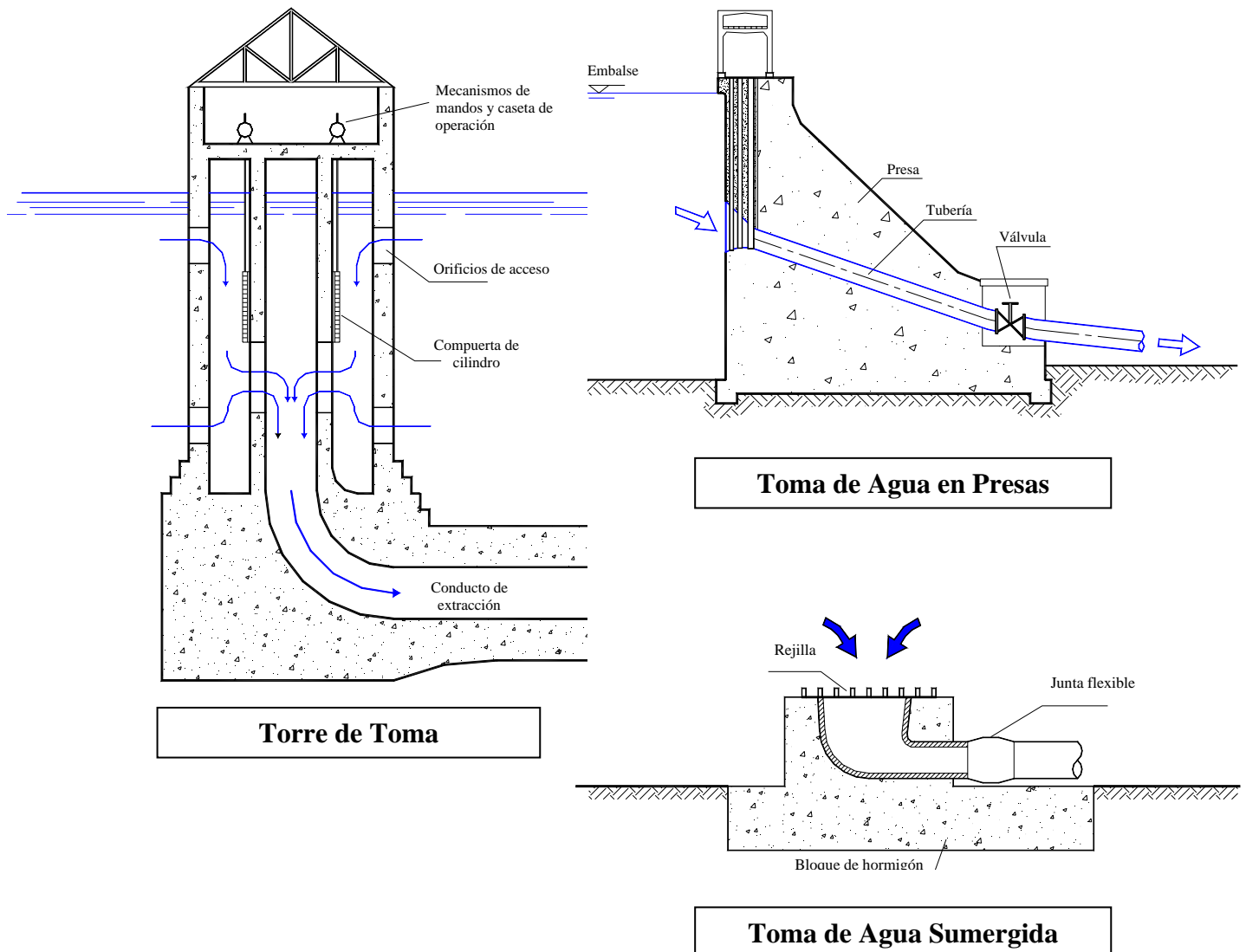


Figura 2
Obras de Toma

TUBERÍAS

Constituyen la componente indispensable en las obras de Acueductos a Presión ya que serán las encargadas de conducir el agua entre la obra de toma y la reserva final. Por lo general, constituyen no menos del 60% del costo total de la obra, por lo que es muy importante su estudio profundo si se quiere hacer un buen proyecto.

Es indispensable una adecuada selección de las mismas (ver “Selección de Tuberías en base al concepto de Prestaciones Equivalentes”) y el correspondiente dimensionamiento de acuerdo a los caudales a transportar, la topografía de la traza elegida y a las solicitaciones (internas y externas) que deberán soportar (presión de trabajo, sobrepresión por transitorios, cargas por el relleno de la zanja y por el tránsito, etc.).

Los materiales más frecuentes de tuberías en la oferta local son:

- Poliester Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV)
- Policloruro de Vinilo (PVC)
- Hormigones Armados y Pretensados o Postesados, con alma de acero o sin ella.
- Fundición Dúctil
- Acero
- Poliester de Alta Densidad (PEAD)

En la selección del material de las tuberías, deben tenerse en cuenta todos los conceptos descritos en el tema “Prestaciones Equivalente de Tuberías de Distintos Materiales”.

En apretada síntesis, se recuerda que aquellas tuberías que se comportan como **flexibles** una vez instalada en la zanja, están caracterizadas por una elevadísima resistencia a la tracción, lo que las hace sumamente resistentes a las solicitaciones debidas a la presión interna, requiriendo para ello pequeños espesores. Pero justamente esta propiedad es la que implica una baja resistencia a las cargas externas o de “aplastamiento”, puesto que frente a las mismas la tubería tiende a ovalizarse con facilidad, dando lugar a reacciones laterales que deben ser resistidas por los prismas laterales de la zanja con el correspondiente compactado.

Por otra parte, dos características distintivas y destacables de las tuberías plásticas en general son, su inercia química al ataque corrosivo de los suelos y que posibilitan un gran atenuamiento para las ondas positivas por Golpe de Ariete, debida a la baja celeridad de transmisión de las ondas de sobrepresión y depresión, que presentan como consecuencia de su elasticidad.

El caso particular del PRFV, presenta una flexibilidad tal de producción, que permite la adopción del diámetro exacto que el cálculo hidráulico requiere.

Dentro de las tuberías plásticas, las tuberías de PVC por lo general constituyen una alternativa de muy buena resistencia muy económica, siempre y cuando se trabaje en el rango de diámetros entre 63 y 500 mm.

Una característica importante a tener en cuenta es que, para un diámetro nominal dado, el diámetro real de cálculo hidráulico de estas tuberías (PVC) es menor cuanto mayor es la resistencia de las mismas. Esto se debe a que, debido al proceso de fabricación, el incremento de espesor de las paredes de la tubería, que se hace para aumentar su resistencia, se realiza hacia adentro y no hacia

afuera como en el resto de los materiales del mercado. Por lo tanto, para las tuberías de PVC, el diámetro real dependerá de la “clase”.

Además, su bajo peso, y consecuente facilidad de transporte y manipuleo en obra, constituyen una importante propiedad a ser evaluada en los análisis de costos.

Las tuberías con **comportamiento rígido** frente al suelo de apoyo, permiten un diseño de zanjas menos exigente, puesto que no deben evitar la ovalización en base a un compactado muy especial de los prismas laterales,

Si bien la celeridad de la onda de sobrepresiones es del orden de los 1000 m por segundo y, por lo tanto, sus magnitudes son mayores y más expuestas a las sobrepresiones, no presentan peligro de aplastamiento por depresiones sumadas a la acción de las cargas externas.

Obviamente, su resistencia elevada al aplastamiento les dará ventaja relativa en el rango de las bajas presiones, cuando se hace importante la acción de las cargas externas.

Como puede observarse con algunas de las ventajas y desventajas relativas (a veces contradictorias) enunciadas, la selección del material requiere de un cuidadoso estudio comparativo, tal como se indica en el texto relativo a “Prestaciones Equivalentes”. El mismo implica el conocimiento profundo de las propiedades de las tuberías de los distintos materiales que se ofertan en el mercado.

ESTACIONES DE BOMBEO

Las Estaciones de Bombeo, dispuestas convenientemente a lo largo de la traza del Acueducto, son las encargadas de proveer al caudal, la energía necesaria para poder sortear los obstáculos dados por la topografía y para compensar las pérdidas de energía ocurridas en la conducción (pérdidas por fricción y localizadas).

El estudio detallado del número y localización de estas estaciones de bombeo posibilitará la optimización del sistema y, sobretodo, de la selección y dimensionamiento de las tuberías.

Las Estaciones de Bombeo están integradas por un conjunto de equipos e instalaciones electromecánicas montadas en una obra civil. Entre los equipos e instalaciones electromecánicas cabe mencionar:

- Bombas
- Motores
- Instalaciones de la Fuente de Energía.
- Instalaciones auxiliares de comandos, control y seguridad.

Debe tenerse en cuenta, además, la colocación de válvulas seccionadoras (aguas arriba y abajo de cada bomba) y de una válvula de retención a la salida que cumple la función de evitar que el fluido retorne (en caso de una detención total o parcial del equipo), haciendo que el rotor gire en sentido inverso. Esta última deberá colocarse entre la bomba y la válvula seccionadora aguas abajo

de la misma, de manera tal que, en caso de desarme, no será necesario vaciar la cañería de impulsión.

El diseño de la obra civil de estas estaciones se compone de dos partes bien diferenciadas:

- A) El dimensionamiento hidráulico, tanto de las conducciones como de las estructuras, que depende de las funciones de la estación y del tamaño y tipo de bombas empleadas.
- B) El diseño arquitectónico y estructural.

Con respecto a la ubicación de las bombas dentro de las estaciones, pueden darse dos posibilidades:

- 1.- EMPLAZAMIENTO INDIRECTO (ó “CÁMARA SECA”): En este caso las bombas y los respectivos motores se colocan en un recinto independiente o a la intemperie. Las bombas y la cámara seca, si existe, pueden adosarse a la obra de toma o pozo de bombeo, lo que se conoce como “emplazamiento lateral” o colocarse en la parte superior de los mismos, que corresponde a un “emplazamiento superior”.

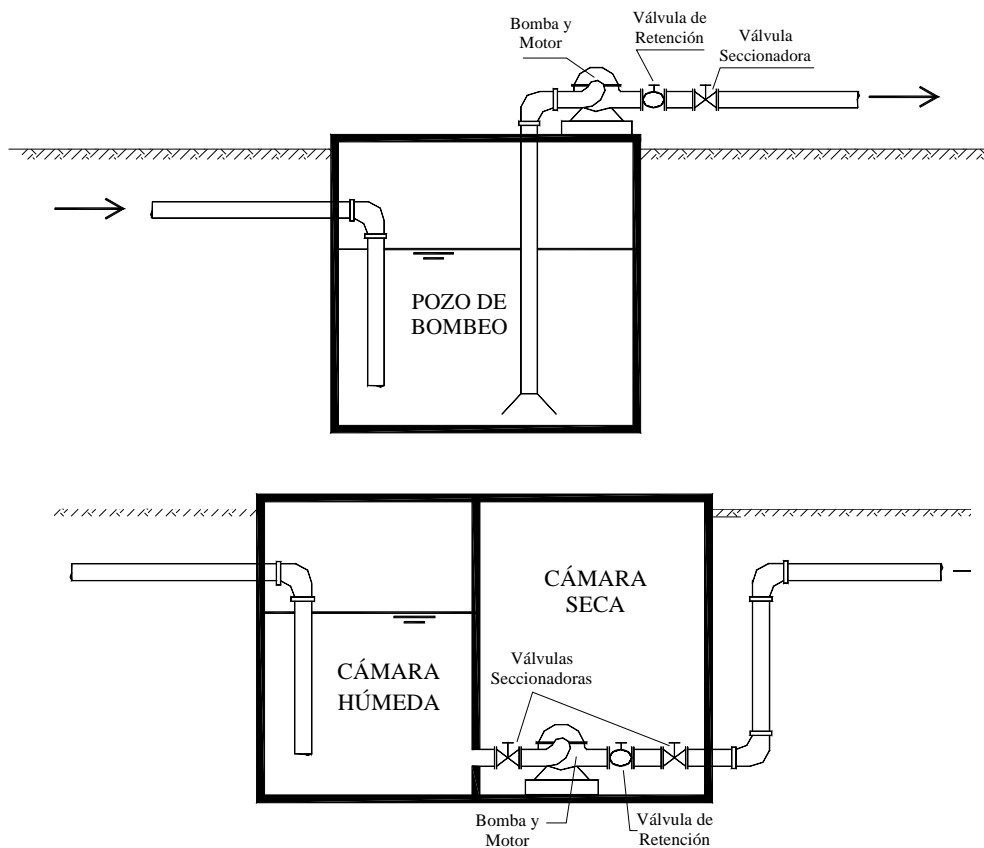


Figura 3
Estaciones de Bombeo con Cámara Seca

- 2.- EMPLAZAMIENTO DIRECTO (ó “CÁMARA HÚMEDA”): En este segundo caso, las bombas están dentro de la masa líquida de la obra de toma o pozo de bombeo. Los motores, por su parte pueden hallarse junto a la bomba en la cámara húmeda o en una cámara seca superior o a la intemperie.

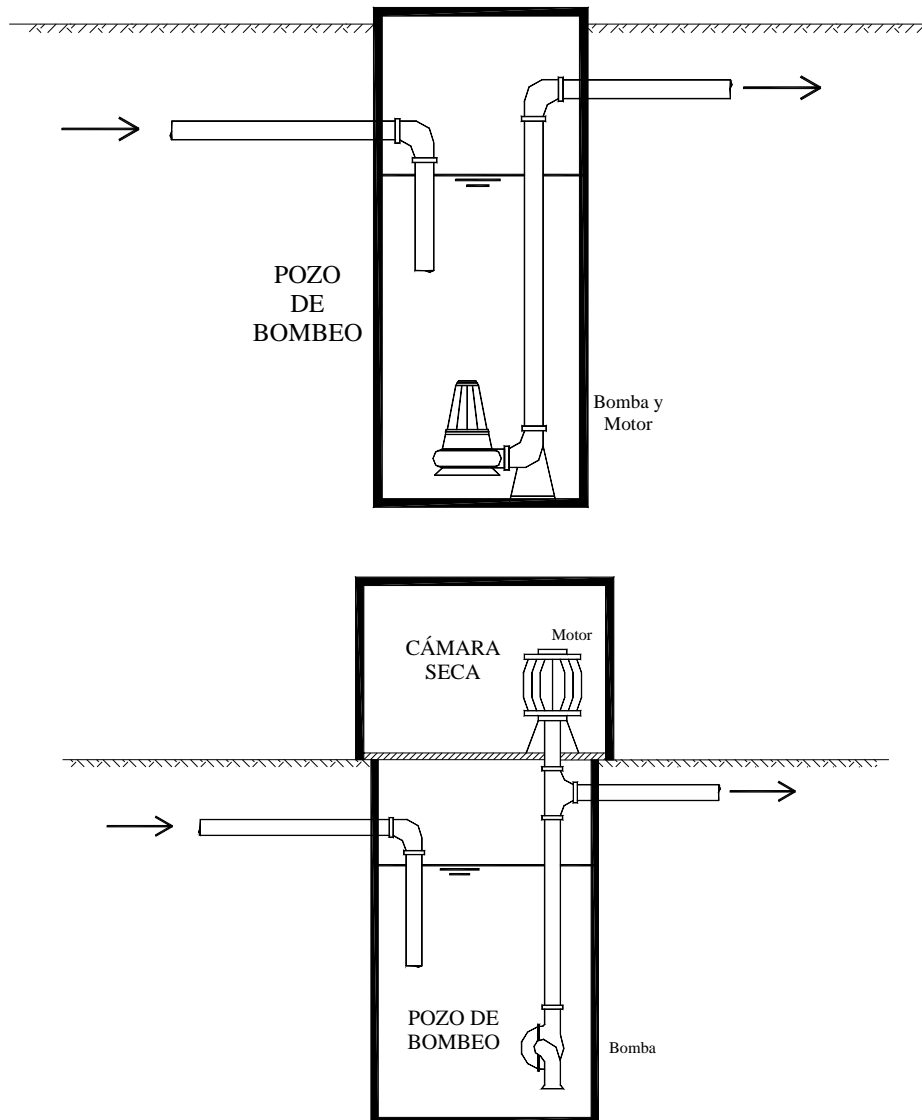


Figura 4
Estación de Bombeo con Cámara Húmeda

La mejor alternativa para la instalación electromecánica depende de la necesidad, conveniencia, ubicación y seguridad del sistema de bombeo, tanto como de los costos relativos de las diversas soluciones desde el punto de vista electromecánico, hidráulico y civil.

En general, la cámara seca implica mayores inversiones puesto que la estructura resulta mucho mayor. Además, en este caso, debe tener especial cuidado con la ubicación de las

bombas debido a la posibilidad de cavitación que puede ocurrir en los rotores en caso de un emplazamiento inadecuado (ver “Selección Fina de Bombas”).

Dependiendo de los requerimientos del sistema las bombas pueden ser más de una, dispuestas en serie o en paralelo (ver “Selección Fina de Bombas”).

Con respecto a la tecnología de las bombas, hay que aclarar que, en Acueductos a Presión, se utilizan las conocidas como “Bombas Centrífugas”, que son aquellas compuestas por un elemento rotatorio que es el que imparte energía al agua. En el mercado existen muchos tipos de bombas centrífugas y se que se pueden diferenciar, en primera aproximación, como:

Bombas Centrífugas Axiales

Bombas Centrífugas Horizontales

Bombas Centrífugas Mixtas

CÁMARA PARA VÁLVULAS DE AIRE

La función de las válvulas de aire es la de controlar el aire en el interior de las conducciones, posibilitando ingresos y egresos, de acuerdo a las necesidades y tratando de evitar, o al menos minimizar, la posibilidad de que quede atrapado en algún sector alto de la misma, con las consecuencias que esto implica (ver “El Aire en las Conducciones a Presión”). Deben disponerse en todos los puntos altos o picos de la conducción y espaciadas en no más 1000 m entre sí. En la Figura 6 puede verse un esquema de estas cámaras.

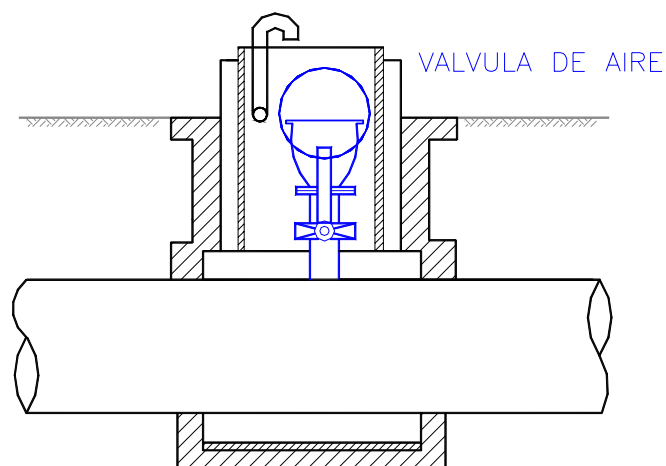


Figura 6
Cámara para Válvula de Aire

CÁMARA PARA VÁLVULAS DE DESAGÜE

Estas cámaras se disponen en los puntos bajos (distanciadas unas de otras en no más de 3000m) 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). La Figura 7 muestra un esquema de estas cámaras.

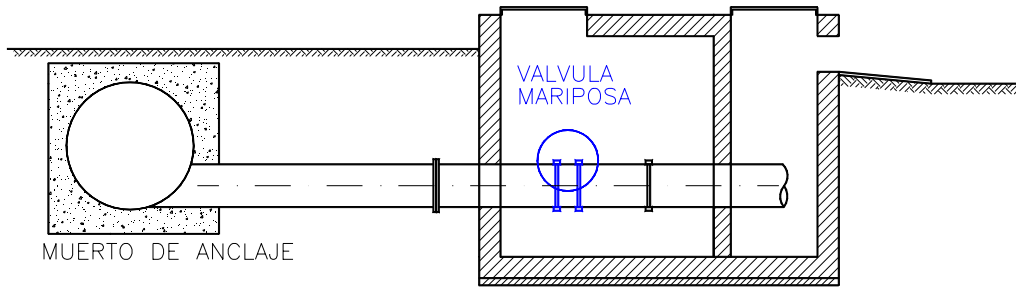


Figura 7
Cámaras de Desagüe

VÁLVULAS SECCIONADORAS

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 del acueducto, sólo se aísla el tramo en 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.

En la Figura 8 puede apreciarse un esquema de cámara para estas válvulas.

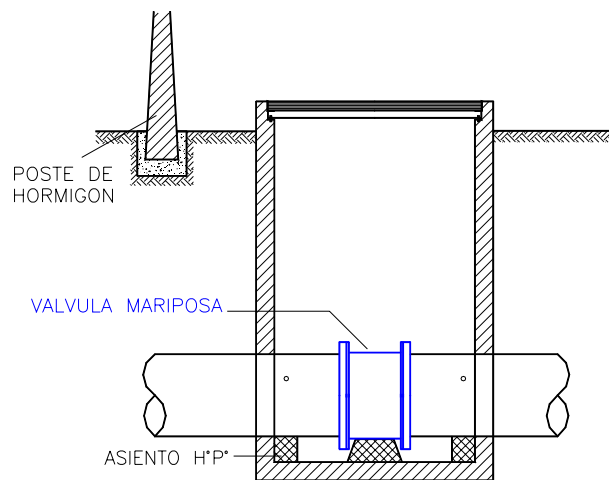


Figura 8
Cámara para Válvula Seccionadora

Asimismo, todos los componentes mecánicos de la obra (bombas, válvulas, etc.) deben colocarse entre dos de estas válvulas con el mismo fin (permitir el reemplazo de los mismos sin sacar de funcionamiento el tramo entero).

VÁLVULAS DE CONTROL (DE ALTA TECNOLOGÍA)

Las válvulas de control, como su nombre lo dice, se encargan de controlar la presión o el caudal, en el lugar donde están emplazadas, en valores especificados por el operador del sistema. En la Figura 9 se muestra un esquema de una cámara tipo para estas válvulas.

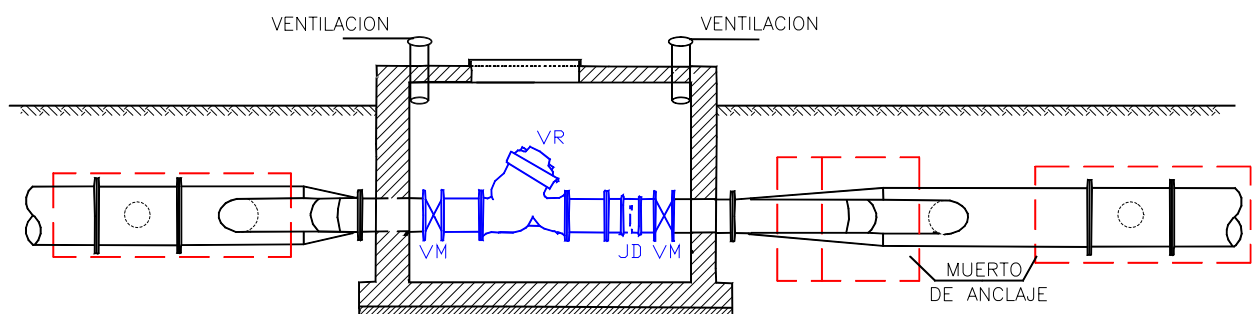


Figura 9
Cámara para Válvula de Control

Por lo general, existen cuatro tipos de válvulas de control:

1. Válvulas Reductoras de Presión: Estas válvulas mantienen una presión de control (especificada por el operador) constante aguas abajo del lugar de su emplazamiento, siempre y cuando ésta sea menor que el valor de la presión aguas arriba (en caso contrario, la habilidad de control se pierde).
2. Válvulas Sostenedoras de Presión: Estas válvulas son similares a las anteriores en cuanto a que controlan la presión en el lugar. Pero, en este caso, la presión de control se mantiene aguas arriba del lugar de emplazamiento de la válvula. Si la presión aguas abajo de la misma es superior a la de control, la habilidad de mantener esta presión se pierde.
3. Válvulas para Caída de Presión Constante: Estas mantienen una caída de presión constante en el lugar de emplazamiento.
4. Válvulas Controladoras de Caudal: Estas válvulas mantienen el caudal fijo en el valor de control especificado por el operador del sistema. Estas válvulas pierden, por lo general, su capacidad de control cuando no existe pérdida de carga a través de las mismas o cuando se encuentran con un flujo en reversa.

CÁMARAS COMPENSADORAS

Estas cámaras consisten en tanques conectados al acueducto que mantienen un flujo bidireccional con el mismo. Debido a esta conexión permanente, el nivel de agua en estas cámaras, para cada instante, se mantiene fluctuante en correspondencia con la cota de la línea piezométrica dada por el funcionamiento del sistema en ese punto. En la Figura 10 puede observarse un esquema de este tipo de tanques.

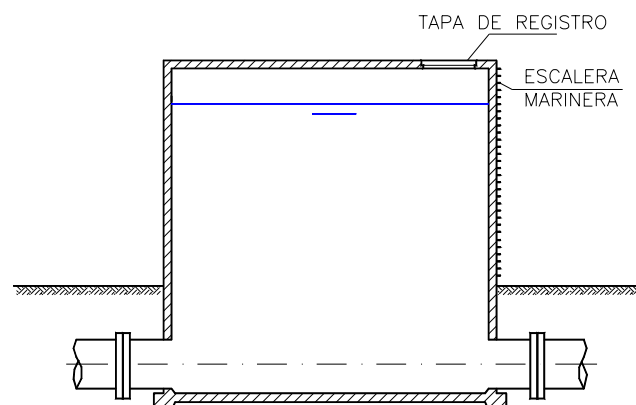


Figura 10
Cámara Compensadora

Su función primordial consiste en brindar un nivel de energía estática adecuado (en caso de detenimiento del sistema). No obstante, si está correctamente dimensionado, pueden ayudar en acotar las ondas de sobrepresión durante un transitorio.

DEPÓSITOS DE DESCARGA

Estos son también tanques conectados al acueducto, pero esta vez no en forma permanente. La conexión posee una válvula de retención que sólo permite el flujo desde el depósito en dirección hacia la tubería principal. No existe el ingreso de agua proveniente del acueducto en el tanque.

El propósito de este tipo de dispositivo es el de proveer de agua al acueducto durante las ondas de depresión que ocurren durante los transitorios y minimizar así sus efectos indeseables. Producida la descarga, su recarga posterior, se realiza mediante una conexión especial proveniente del mismo acueducto.

Existen otros tipos de instalación antiarriete, pero a éstos los estudiaremos en profundidad en el capítulo correspondiente.

CISTERNAS

Consisten también en reservas de agua, de flujo bidireccional como en las cámaras compensadoras. Sin embargo, a diferencia de éstas, las cisternas son generalmente capaces de contener volúmenes de agua mucho mayores, suficientes como para poder considerarla, a los fines prácticos, como un reservorio infinito (es decir que el nivel del pelo del agua en el interior de las cisternas se mantiene prácticamente constante, aún durante los transitorios).

Se utilizan generalmente para imponer condiciones de borde al sistema (el nivel de agua en ese punto) y, sobretodo, cuando se necesita almacenar gran cantidad de agua (para provisión de agua potable de una localidad cercana, por ejemplo).

PASOS BÁSICOS A SEGUIR EN EL DISEÑO DE UN ACUEDUCTO A PRESIÓN

1º - ESTUDIOS PRELIMINARES

Estos estudios tienen como objetivo establecer las bases y reunir información mediante la cual se fundamentará el Proyecto. Los Estudios Preliminares proveen los elementos básicos para las decisiones esenciales en la etapa de diseño.

En general, comprenden:

A) Reconocimiento preliminar

Donde se recogen los elementos auxiliares necesarios para el Estudio, a los efectos de identificar las características del área. Son fuentes de información las cartas satelitales, topográficas, geológicas e hidrográficas del área en estudio.

Una vez identificadas las zonas en los documentos, se debe efectuar una inspección visual para un mejor conocimiento del área en estudio.

B) Recopilación de Datos y Antecedentes, Análisis de los mismos y Elaboración de datos

La información a obtener se relaciona con los siguientes aspectos:

- Localización y delimitación del área afectada
- Reconocimiento aéreo y terrestre
- Estudio de mapas satelitales existentes

- Topografía de la zona
- Geología, Geomorfología local e Hidrogeología
- Clima y vegetación local
- Hidrografía local y zonal
- Caracterización de la Fuente y su eventual variación de niveles. Informe general sobre la calidad de sus aguas y aspectos de interés para el proyecto.
- Problemas ambientales del área
- Aspectos jurídicos e institucionales
- Opinión e intereses de la comunidad
- Estudios de la Población afectada
- Disponibilidad de fuentes de energía en la zona

C) Ordenamiento y Análisis de la Información Recogida

Una vez obtenidas las informaciones en los organismos nacionales, provinciales y comunales competentes, además de los estudios propio realizados, se procede al análisis exhaustivo de los mismos, las conclusiones que de él surjan y la elaboración de los datos necesarios para el cálculo y diseño de los distintos componentes del sistema a proyectar.

El análisis comprende los trabajos necesarios para definir la configuración del sistema en estudio y la Economicidad del Proyecto. Se abordan los estudios con la información aportada por el Reconocimiento preliminar, la Recopilación de Datos y verificaciones expeditivas.

2º - DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES A ABASTECER POR LA OBRA

Los caudales se determinarán a partir del análisis de la demanda de agua que se producirá en la zona durante la vida útil de la obra.

Esta demanda, como es lógico, es directamente proporcional a la cantidad de población afectada, por lo que se hace necesario, antes que nada, un análisis profundo de la misma y del crecimiento demográfico esperado.

El análisis del crecimiento demográfico se realiza en base a “métodos de proyección”, los cuales se encargan de estimar cómo habrá de ser la evolución de la zona en el futuro, teniendo en cuenta, para ello, cómo ha sido su evolución en el pasado. El período de proyección se establece, en general, en base al período de diseño o vida útil de las instalaciones, a partir del momento de su

habilitación. La población inicial, correspondiente a la fecha prevista para la habilitación de cada sistema se calcula utilizando como período de proyección el que media entre la fecha del último censo nacional y la de dicha habilitación. Los métodos más frecuentemente utilizados son:

- Ajuste Lineal de Tendencia Histórica
- Tasa de Crecimiento Medio Anual Constante
- Tasas de Crecimiento Medio Anual Decrecientes
- Curva Logística
- Relación - Tendencia
- Crecimiento Urbano

Mediante estos métodos, entonces, podrá elaborarse una tabla informando, año a año, la población estimada que tendrá cada lugar durante toda la vida útil de la obra.

Ahora, tomando esta información podemos calcular fácilmente los caudales si asignamos un gasto de agua aproximado por habitante en el año. Este es el concepto de “Dotación”, que se expresa en [litros/seg x hab] (litros por segundo por habitante).

De esta forma, el caudal deberá calcularse como:

$$Q_i = P_i \cdot d_i$$

Donde:

- Q_i : Caudal a abastecer en el año “i”
- P_i : Población en el año “i”
- d_i : Dotación en el año “i”

El valor, para cada año, de la dotación se podrá estimar de dos maneras:

- a) Si la población a abastecer por el Acueducto ya posee un sistema de provisión de agua (proveniente de otra fuente), podrán analizarse los registros de consumo por habitante de los últimos años y extrapolar los valores para el período de vida útil de la obra de manera similar a como se hizo con los registros de población.
- b) Si la población en estudio no posee sistema de provisión de agua, la dotación deberá estimarse en base a los registros tomados en poblaciones de características similares.

En todos los casos, estas dotaciones estimadas constituyen valores “medios”. Por lo tanto, como el caudal de diseño del sistema deberá 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), será necesario afectar al caudal de un “coeficiente de pico” (α) que convierta los caudales medios en caudales máximos. Entonces, la expresión anterior queda:

$$Q_i = \alpha \cdot P_i \cdot d_i$$

3º - PLANTEO DE TRAZAS ALTERNATIVAS

El planteo de trazas, como es lógico, se debe realizar luego de un estudio profundo de la topografía de la zona.

Una traza adecuada debería tener elevaciones tenues, debe ser lo más lisa posible y con un declive apropiado en dirección a la zona de destino de la obra. Idealmente, este declive debería ser del orden de la pendiente de la línea de energía del sistema (dada por las pérdidas unitarias por fricción en la tubería).

Por supuesto, las condiciones antes expuestas serían ideales. En la práctica, por lo general es difícil encontrar trazas con semejantes características.

También es importante tener en cuenta la economicidad de la obra. Con esto nos referimos al hecho de que, muchas veces, el proyectista, en su búsqueda por una traza que tenga una topografía ideal, quizás elige un recorrido muy largo (rodeando colinas, por ejemplo) que demandará costos muy grandes en instalación de tuberías, y no nos olvidemos que éstas constituyen no menos del 60% del monto total de la obra. A veces conviene elegir trazas más cortas y más desfavorables, a expensas de un mayor gasto de energía (habrá que elevar más en las Estaciones de Bombeo o agregar nuevas) ya que, muchas veces, este gasto adicional es menor que el que supondría la instalación de una cantidad mayor de tuberías. Como en todos los órdenes, se debe llegar a un equilibrio y elegir trazas que equilibren aproximadamente estos aspectos.

Por supuesto, todo esto no puede ser conocido de antemano, no podemos saber qué traza será más económica antes de plantear, en cada una, un proyecto preliminar. Sin embargo, con un poco de experiencia en el tema, podemos “intuir” cuáles serán las más adecuadas. De esta manera, lo ideal es elegir un conjunto de trazas que “intuitivamente” nos parezca que pueden funcionar y analizar luego cada una hasta encontrar la más adecuada.

4º - ELABORACIÓN DE VARIANTES PARA CADA TRAZA

En el paso anterior seleccionamos un grupo de trazas alternativas (por lo general, se eligen 2 ó 3 para analizar en profundidad). Ahora deberíamos plantear distintas alternativas o variantes de proyecto para cada una de estas trazas.

Estas variantes se diferenciarán en:

- Material de la tuberías.
- Número, distribución y potencia de las Estaciones de Bombeo.
- Número y distribución de las Cámaras compensadoras, Cámaras reguladoras de Presión, Cisternas, etc.
- Diámetro y espesor de las tuberías (que surgirá del cálculo a partir de todas las condiciones anteriores).

Estas variantes en las distintas trazas elegidas constituirán las distintas ALTERNATIVAS de Proyecto para analizar.

5º - ESTUDIO ECONÓMICO DE CADA ALTERNATIVA (Método del Menor V.A.N.)

Una vez definidas las Alternativas, deberá realizarse, entonces, un estudio económico (con un enfoque totalmente preliminar) para determinar cuál será la alternativa más conveniente.

Esta alternativa, no necesariamente será aquella que signifique un costo menor de obra ya que, a pesar de ser una alternativa BARATA, puede no ser la más ECONÓMICA. La distinción está en que la alternativa más económica tiene en cuenta, además del costo de obra, todos los demás costos que supondrá la instalación a lo largo de su vida útil (energía, operación y mantenimiento, etc.). Y éstos tienen mucho que ver con la configuración adoptada. Por ejemplo, una obra con muchas estaciones de bombeo puede ser muy barata por el ahorro en tuberías instaladas pero no ser económica por los grandes costos de consumo de energía que demandará durante su funcionamiento.

Para realizar la selección, entonces, es ideal utilizar algún método que tenga en cuenta todos estos parámetros e incluya, además, el factor TIEMPO, ya que muchos de estos costos serán diferidos a lo largo de la vida útil de la obra.

Una opción recomendable para realizar el análisis es el “Método del Menor Valor Actual Neto” ya que fue especialmente diseñado para el caso que nos ocupa, es decir la Evaluación Económica de Proyectos de Acueductos a Presión con el fin de seleccionar alternativas.

Este método implica estudiar tanto los costos de inversión inicial como aquellos que se sucederán a lo largo de la vida útil de la obra para cada alternativa en consideración. Luego, con todos estos datos, el método calcula el VALOR ACTUAL NETO, que no es más que la suma de costos que implicará la construcción y operación de la obra en cada año y llevados al año cero (para poder hacerlos comparables) a través de una tasa de interés adecuada.

La obra más económica será, entonces, aquella alternativa cuyo VALOR ACTUAL NETO (V.A.N.) sea mínimo.

Para una mayor información acerca del método, recomendamos la lectura del apunte “Selección de Alternativas en Base al Menor Valor Actual Neto”.

7º - SELECCIÓN DE BOMBAS PARA LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

En los pasos anteriores nos dedicamos a la selección de la alternativa más adecuada. Ahora nos toca comenzar a definirla en profundidad.

El primer paso será la selección de los equipos mecánicos de las estaciones de bombeo ya que el funcionamiento de los mismos constituye una importante condición de borde en todos los cálculos hidráulicos posteriores.

En la práctica, la selección de bombas la realiza por lo general el proveedor. Sin embargo, es siempre conveniente que el proyectista verifique el punto de funcionamiento de la instalación con

las bombas seleccionadas. El proceso de verificación puede verse claramente en el apunte “Selección Fina de Bombas”.

8º - ESTUDIO DE LOS ASPECTOS HIDRÁULICOS DE LA ALTERNATIVA

Regulación del Acueducto

Con regulación del acueducto nos referimos a la ubicación y forma de funcionamiento de posibles cámaras compensadoras, cisternas y cámaras reguladoras de presión. Éstas, como es fácil presumir, impondrán condiciones de borde al sistema que limitarán los cálculos hidráulicos posteriores, por lo tanto su implementación debería diseñarse antes que nada.

Cálculos en Régimen Permanente

Para plantear las alternativas, debieron esbozarse los cálculos en régimen permanente preliminares. En esta etapa, entonces, corresponderá afinar dichos cálculos. Para hacerlo, se recomienda utilizar más de un método (fórmula de Hazen y Williams, fórmula de Darcy-Weisbach, etc.), y contrastarlos para evitar resultados erróneos.

Cálculos en Régimen Impermanente

Antes que nada, deberán plantearse alternativas de dispositivos antiarriete que puedan amortiguar lo suficiente las ondas de sobrepresión dadas por el transitorio, de manera tal que las presiones resultantes puedan ser soportadas, sin inconvenientes, por las tuberías (no nos olvidemos que las tuberías son diseñadas de forma tal que soporten 1.5 veces el valor de presión dado por la “clase”). A continuación, entonces, deberá verificarse el sistema para cada alternativa haciendo los cálculos correspondientes.

Estos son los cálculos más complicados ya que implican simulaciones del comportamiento del sistema en el tiempo, por lo que la cantidad de variables es apreciable.

Actualmente, existen softwares de última generación que nos resuelven el problema, pero es importante conocer el tema en profundidad para poder ingresar los datos correctos al programa y analizar sus resultados.

Por ello, se recomienda realizar un primer cálculo “a mano” utilizando los métodos de acotamiento conocidos (que nos informarán los valores máximos y mínimos posibles de presión que ocurrirán en las tuberías). De esta forma, conociendo estos valores, podremos analizar con mayor criterio los resultados que nos puede dar el programa.

Ahora... ¿Para que usar un software tan complejo si con un par de cuentas resolvemos el problema? La respuesta es simple: porque somos Ingenieros y nuestra misión es encontrar soluciones que funcionen y económicas. El diagrama envolvente que nos dan los métodos de acotamiento son los máximos posibles, valores a los que nuestro sistema en particular puede no llegar nunca. Por lo tanto, si nos quedamos únicamente con esta envolvente diseñaremos un sistema que funcionará bien, pero que estará sobredimensionado y, por lo tanto, no será económico.

Por lo tanto, es importante la realización de los cálculos por ambos métodos: uno, más rudimentario, para corroborar los resultados (para saber “qué esperar”) del otro, más sofisticado y preciso. Con éste último, por supuesto, verificaremos la bondad del sistema para cada alternativa.

Por último, entre las alternativas que verifican se elegirá la solución técnica y económicamente más adecuada para el caso.

9º - CÁLCULO Y/O VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE TUBERÍAS

La determinación del espesor y la verificación estructural de tuberías es realizada, en la práctica, por el proveedor de las mismas. Sin embargo, del mismo modo que con los equipos electrobombas, es conveniente que el proyectista verifique los cálculos. Los procedimientos para hacerlo dependerán de las Normas que competan al material de la tubería en cuestión (ver “Cálculo Estructural de Tuberías”).

10º - DISEÑO Y VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LAS OBRAS CIVILES

Este último paso comprende el diseño, dimensionado y verificación de las estructuras en todas las obras civiles que deban hacerse para el acueducto. Estas obras incluyen:

- Edificio para las Estaciones de Bombeo.
- Cámaras para Válvulas de aire, de Desagüe, Seccionadoras, de Retención, etc.
- Cámaras para Válvulas de Control.
- Depósitos (Cámaras Compensadoras, Depósitos de Descarga, Cisternas, etc.).
- Instalaciones necesarias para el Telecontrol y encargados de Operación y Mantenimiento.
- De existir, las instalaciones de la Planta Potabilizadora.