

Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua 2007/2008

Módulo: abastecimiento y saneamiento urbano

eoí

CANALES

GENERALIDADES. OBRAS Y ELEMENTOS

AUTOR: FRANCISCO BLÁZQUEZ PRIETO
ING. DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Índice

1. INTRODUCCIÓN. OBJETO. TIPOS.....	3
2. ESTUDIO HIDRÁULICO DEL CANAL.....	3
3. ANÁLISIS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	6
4. EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO.....	8
5. REVESTIMIENTOS EN LOS CANALES.....	10
6. REVESTIMIENTOS DE HORMIGÓN.....	11
7. REVESTIMIENTOS CON MEMBRANAS.....	13
8. OBRAS DE TOMA E INICIO DEL CANAL.....	15
9. ALIVIADEROS Y DESAGÜES. ALMENARAS.....	17
10. OBRAS DE CRUCE.....	19
11. OBRAS EN DESNIVELES.....	23
12. ELEMENTOS DE CONTROL: AFOROS.....	25
13. MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN.....	26
14. SEGURIDAD EN LOS CANALES.....	28



1. INTRODUCCIÓN. OBJETO. TIPOS

La conducción del agua desde el lugar donde se encuentra al lugar donde se necesita puede ser por gravedad o mediante impulsiones (bombeo), a su vez en las conducciones por gravedad, el agua puede circular rodada (en contacto con el aire) o forzada (en conducción con presión superior a la atmosférica). Hecha esta introducción, se denomina canal a aquella conducción de agua en régimen rodado que constituye un cauce artificial.

Su objeto principal, ya indicado, es el de transportar el agua destinada a riegos, abastecimiento o producción de energía hidroeléctrica. Existe otra clase de canales cuyo objeto no tiene relación con el transporte del agua sino que el propio agua es el medio de transporte, éstos son los canales de navegación poco empleados en España y sobre los cuales se tratará en un apartado particular.

En general la conducción por canal tiene un coste superior a la conducción forzada siendo los principales argumentos a favor de su empleo:

- La menor pérdida de carga que se produce en ellos, lo cual redundará en una mayor cota de llegada, aspecto importante en un regadío o en una central.
- La mayor facilidad de transporte para grandes caudales.

Según el material de construcción pueden ser: de materiales sueltos (tierras); de fábrica (hormigón, mampostería o ladrillos) y prefabricados (de hormigón).

En general los canales suelen ser abiertos cuando el agua se dedica a regadíos o a producción de energía y deben estar cubiertos cuando el agua sea para abastecimiento, con el fin de evitar pérdidas por evaporación y manipulaciones externas.

2. ESTUDIO HIDRÁULICO DEL CANAL

A la hora de proyectar, el primer dato es el caudal a transportar, éste será:



- El caudal máximo preciso para el regadío si el canal se destina a tal fin.
- Los canales para abastecimiento se dimensionarán para un caudal de vez y media el caudal medio del día de máximo consumo.
- En el caso de canales hidroeléctricos 2 a 3 veces el caudal medio a transportar.

Este caudal de proyecto será el que se empleará para el dimensionamiento de las diferentes obras incluidas en el proyecto.

La determinación de la pendiente se hará por motivos económicos, habiéndose definido previamente las limitaciones debidas a las características del terreno y las velocidades límite del agua. Debe recordarse que para un caudal dado, a mayor pendiente se precisa menos sección y por tanto menos obras.

En la definición del perfil del canal, la pendiente longitudinal de la solera coincidirá con la pendiente superficial necesaria para la circulación del caudal máximo.

Una limitación importante es la velocidad del agua en el canal, dato que está íntimamente relacionado con la pendiente superficial del agua. Esta velocidad estará comprendida entre dos límites, uno inferior, necesario para que no sedimenten las materias en suspensión y otro superior que será el que inicie la erosión de las paredes del canal.

En general se considera como velocidad mínima 0,6 m/s; en caso de que se precise adoptar velocidades inferiores deberá estudiarse la granulometría de las sustancias en suspensión. Este mismo estudio se efectuará en los canales con calado superior a 2,00 m.

Como velocidades máximas a plena sección se consideran las siguientes: en canales sin revestir 0,9 m/s y en canales revestidos de hormigón 3,0 m/s.

En casos particulares (rápidos) supuesta una buena calidad del hormigón, un adecuado espesor de los revestimientos y una correcta disposición de las juntas pueden alcanzarse 8 m/s.



Una segunda limitación viene dada por el interés en que no se alcance el régimen rápido ya que se originarían ondulaciones difíciles de controlar.

Según que el número de Froude ($F = v / (y \cdot g)^{0.5}$), siendo y el calado y g la aceleración de la gravedad, sea mayor o menor que la unidad, el régimen del canal será rápido o lento. Con el valor unidad, la velocidad de traslación de las ondas coincidirá con la velocidad de circulación del agua. En régimen rápido, cualquier perturbación da origen a ondas y sobreelevaciones difíciles de controlar que se propagan hacia aguas abajo.

Por la citada razón, en tramos normales conviene mantener el régimen lento y suficientemente separado de la velocidad crítica para evitar estas ondulaciones. En ciertos casos (aforadores, rápidos, etc.) no puede evitarse pasar al régimen rápido, este paso se efectúa insensiblemente, con el consiguiente descenso de lámina. El paso de régimen rápido a lento se efectúa de forma brusca mediante resalto en el que se disipa gran cantidad de energía, debiendo estudiarse en cada caso las condiciones para su formación.

Para obtener la relación entre la pendiente necesaria para conducir un caudal determinado, las condiciones del material que constituye el canal y las dimensiones del canal precisas existen diferentes fórmulas empíricas y coeficientes cuya validez se ha comprobado, siendo las más empleadas las de Manning y Bazin.

Fórmula de Manning $i = (v^2 \times n^2) / R_h^{4/3}$

i = Pérdida de carga

v = Velocidad

n = Coeficiente de rugosidad

R_h = Radio hidráulico (sección transversal / perímetro mojado)

Fórmula de Bazin $i = (1/R_h) \times (v^2/c^2)$

siendo $c = 87 / (1 + (\gamma / R_h^{1/2}))$ γ = coeficiente de rugosidad

Los valores típicos del coeficiente de rugosidad en función de los diferentes



materiales empleados en la construcción son:

	n	γ
Hormigón liso	0,013	0,06
Hormigón basto	0,016	0,20
Fundición	0,015	-
Ladrillo	0,018	0,16
Tierra	0,028	0,85
Piedras o hierbas	0,040	1,75

Para la elección del coeficiente de rugosidad, debe considerarse que ésta aumentará por el envejecimiento y la acción de las algas. Igualmente se tendrá en cuenta que la rugosidad de la solera (por efectos de caída de materiales) puede ser muy superior a la de los cajeros. Deberán tenerse en cuenta igualmente las pérdidas de carga localizadas en rejillas, compuertas, cambios de sección, curvas, entradas y salidas de sifones y transiciones en general. Por último, en canales de gran anchura se estudiará el efecto del oleaje producido por el viento con objeto de prever los resguardos necesarios.

3. ANÁLISIS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

La sección transversal más ventajosa hidráulicamente es la sección semicircular llena hasta los bordes. Por razones tecnológicas esta sección no es realizable fácilmente y hay que elegir una sección que se aproxime lo más posible a la citada, pero teniendo en cuenta las exigencias prácticas. Por ello, la sección más empleada es la trapecial o rectangular.

Analizando las diferentes proporciones en cada caso, se concluye que:

- La sección trapecial más favorable es la formada por la mitad de un hexágono regular.
- La sección rectangular óptima tiene un calado igual a la mitad del ancho.



En la práctica estas condiciones son difíciles de cumplir debido a:

- En canales de tierra, los taludes estables son inferiores a los que corresponden a los perfiles teóricos.
- Las expropiaciones costosas pueden obligar a reducir el ancho aumentando el calado.
- En terrenos escarpados, el volumen de excavación se reduce disminuyendo el ancho.
- En grandes canales puede convenir limitar el calado para reducir la carga sobre el revestimiento.
- En terreno llano es más económico dar gran anchura y poca profundidad.
- En canales de hormigón, por razones constructivas puede convenir ir a anchos de solera o taludes predeterminados y adecuados a los equipos mecánicos disponibles.

En terrenos estables, los taludes pueden oscilar entre 1,5 y 2 siendo mayores en caso de bajo coeficiente de rozamiento de las tierras. Para mantener el talud exterior seco puede ser conveniente disponer drenes en su pie. Puede convenir un talud variable (más tendido en la zona inferior).

Para canales revestidos se recomiendan secciones trapeciales, el talud dependerá del talud natural de las tierras pudiendo irse a taludes menos tendidos que en los canales sin revestir. La relación entre el ancho de la base y el calado se determina por motivos económicos, hidráulicamente es recomendable un ancho del 75% del calado. El costo de las expropiaciones o la capa freática alta son factores importantes en la decisión final.

Los resguardos serán suficientes, recomendándose valores entre 0,50 y 1,20 m en canales sin revestir y superiores a 30 cm en los revestidos incrementándose en función de la velocidad del agua y de las posibles oscilaciones bruscas de caudal.



4. EJEMPLO DE DIMENSIONAMIENTO

En el dimensionamiento de un canal se plantean dos problemas típicos:

- a) Obtener el caudal preciso para una pendiente y dimensiones dadas. Debemos recordar que la pendiente de la solera coincidirá con la necesaria para la circulación del caudal.

Ej.) Obtener el caudal máximo que circulará en un canal rectangular de hormigón basto ($n = 0,016$) con pendiente de 0,4 % y 2 m de base con una altura de lámina máxima de 1 m y en que tipo de régimen nos encontramos.

La solución es fácil bastando con aplicar directamente la fórmula de Manning y la de continuidad ($Q = v \cdot S$).

En este caso despejamos v en la fórmula de Manning ($v = (v^2 \cdot n^2) / R_h^{4/3}$) y resulta $v = i^{1/2} \cdot (1/n) \cdot R_h^{2/3} = 0,004^{1/2} \cdot (1/0,016) \cdot ((2 \times 1) / (2 + 1 + 1))^{2/3} = 2,5 \text{ m/s}$

El caudal será $Q = v \cdot S = 2,5 \times 2 = 5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Para conocer el tipo de régimen se calcula el nº de Froude (si $F < 1$ régimen lento)

$F = v / (y \cdot g)^{1/2} = 2,5 / (1 \times 9,81)^{1/2} = 0,7982$ (valor $< 1 \Rightarrow$ estamos en régimen lento)

NOTA: otra versión típica de este problema es calcular el ancho de base o la altura de lámina dada la pendiente

- b) Para un caudal y pérdida de carga determinados, dimensionar la sección óptima dado el tipo de sección a definir

Ej.) Dimensionar óptimamente un canal de sección trapezoidal y talud 1 capaz de transportar un caudal de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ entre dos puntos situados a 12 km con una diferencia de cota de 30 m. Comprobar que la velocidad no supera 3 m/s y que funciona en régimen lento. El material es hormigón basto ($n = 0,016$).



En primer lugar calculamos la pérdida de carga máxima.

$$i = (C_i - C_f) / L = 30 / 12.000 = 0,0025$$

Volvemos a emplear las ecuaciones de continuidad y Manning. Despejando la velocidad en ésta queda:

$$v = i^{1/2} \cdot R_h^{2/3} / n$$

como $Q = S \cdot v$ y $R_h = S / P$ resulta $Q = S \cdot i^{1/2} \cdot (S/P)^{2/3} / n$

En este caso, al ser una sección trapezoidal con talud 1 se tiene (siendo b la base y h el calado):

$$S = b \cdot h + h^2 \quad P = b + 2h \cdot 2^{1/2} = b + 2,8284h$$

y sustituyendo resulta

$$Q = (b \cdot h + h^2) \cdot i^{1/2} \cdot ((bh + h^2) / (b + 2,8284h))^{2/3} / n$$

Dado que conocemos Q , i y n la optimización se reduce a obtener para cada valor de b cual será la altura de la lámina de agua y la velocidad del agua.

Se considera óptima aquella combinación de b y h que nos dé la velocidad máxima ya que así se precisará la sección mínima y por tanto el coste inferior.

Como despejar h es complejo, lo más usual es proceder por tanteos, aumentando o disminuyendo h para una b dada hasta obtener el caudal del dato. Esto se hace actualmente con bastante rapidez con ordenador y una hoja de cálculo. En este caso los valores obtenidos han sido los de la tabla siguiente:

Base (m)	Calado (m)	Velocidad (m/s)	Nº de Froude
0	1,546	2,0891	0,536
0,5	1,303	2,1264	0,595

0,95 (Óptimo)	1,1266	2,137187	0,643
1,0	1,109	2,1367	0,648
1,5	0,958	2,1215	0,692
2,0	0,842	2,0880	0,726
2,5	0,752	2,0428	0,752
3,0	0,681	1,9918	0,771

Por lo que optaremos por la solución con 1 m de base cuya diferencia con la óptima es despreciable.

5. REVESTIMIENTOS EN LOS CANALES

En la mayor parte de los casos, las superficies en contacto con el agua se protegen o mejoran mediante revestimientos con los fines siguientes:

- Se reducen notablemente las pérdidas por filtración (mayor eficiencia).
- Se admiten mayores velocidades con la consiguiente disminución de sección.
- La rugosidad del canal revestido es muy inferior lo que implica menos sección.
- Se evita el peligro de deslizamientos de cajeros o fugas con arrastre de tierras.
- Desaparecen los problemas causados por el crecimiento de plantas.
- Se facilitan las operaciones de conservación y limpieza.

Debe quedar claro que los revestimientos no tienen como misión resistir los empujes del terreno o del agua. Por esta razón no se considerará como revestimiento a los muros cajeros en las obras de fábrica.

Los revestimientos se clasifican en los siguientes tipos:

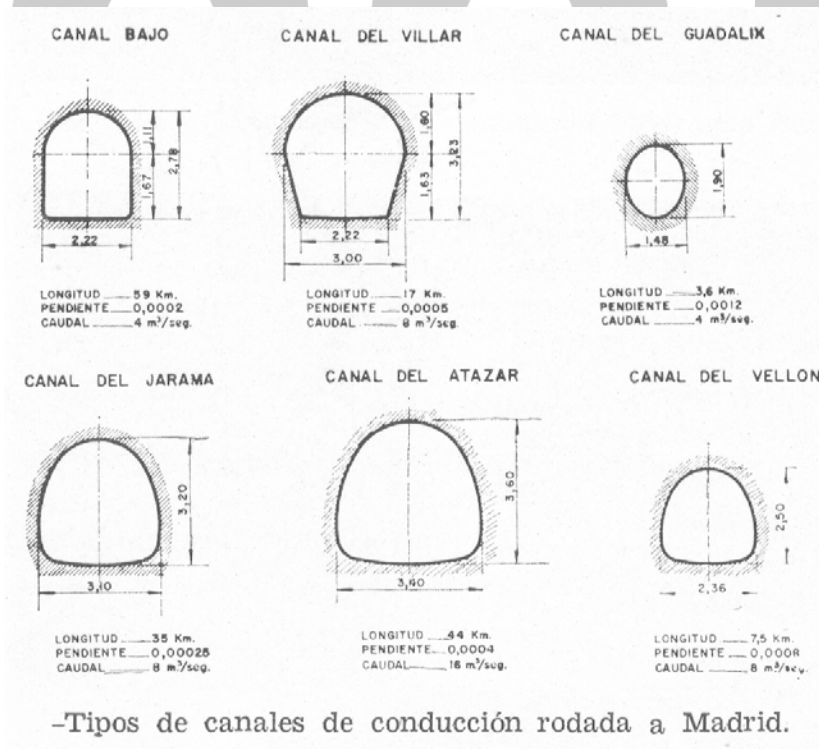
- Por su permeabilidad en permeables (poco usados, sólo en caso de terreno impermeable) e impermeables.
- Por su rigidez en rígidos, semiflexibles y flexibles, capaces de amoldarse a las

deformaciones del terreno.

- Por su material: de hormigón “in situ”, de hormigón prefabricado, asfálticos, de tierra consolidada, de materiales plásticos y de fibras geotextiles.

No se debe construir un revestimiento antes de que los taludes estén completamente consolidados. Es conveniente cubrir el canal en los casos siguientes:

- En las conducciones destinadas al abastecimiento humano:
- Cuando el desmonte del terreno sobre el canal sea poco estable.
- En zonas de paso frecuente en que exista peligro de caídas.
- En regiones de bajas temperaturas invernales.



6. REVESTIMIENTOS DE HORMIGÓN

El hormigón es una mezcla de cemento, grava, arena y agua que, una vez realizada, presenta un proceso (fraguado) en el cual se endurece, desprende calor y se



produce una disminución de sus dimensiones (retracción del fraguado). Sus ventajas son su facilidad de puesta en obra, su impermeabilidad y su rigidez, aunque esta propiedad en algún caso es un inconveniente. Sus inconvenientes provienen de su baja capacidad de resistir tracciones (que se producen en la retracción del fraguado y por bajas temperaturas) y su rigidez. Por todo ello es básico que los canales de este material dispongan de un sistema de juntas para que sean éstas las que absorban las deformaciones evitando así el agrietamiento y filtraciones.

El revestimiento de hormigón fabricado “in situ” suele tener espesores entre 0,10 y 0,20 m pudiendo ser conveniente su armado con una o dos mallas de alambre de acero. Conviene que los revestimientos puedan efectuarse de forma mecanizada.

Como consecuencia de la retracción del hormigón, si se opta por el hormigonado manual “in situ”, es conveniente el hormigonado en paneles alternados disponiendo entre ellos juntas de dilatación. La distancia será entre 5 y 15 m en función de las características de la obra. En este caso, se sitúan unas vigas de madera que se emplearán como moldes y entre ellas se extenderá el hormigón alisándolo con un tablón que se desliza sobre ellas. Conviene que la separación entre vigas coincida con la separación entre juntas. El problema es la baja compactación que se obtiene por este método.

Para mejorar la compactación se precisa un vibrado de la masa, lo que a su vez hace necesario el montaje de encofrados, que encarecen la obra. Un sistema de encofrado resistente y que permita un fácil montaje y desmontaje producirá un descenso apreciable del coste total.

El siguiente paso es el empleo de encofrados deslizantes, bien sean de tipo transversal o longitudinal, que permiten un avance continuado, si bien a costa de mayor complicación en la ejecución.

Un último problema es el del curado del hormigón (mantenimiento de un grado de humedad suficiente para que se produzca el proceso químico del fraguado). Es



preciso el regado continuo mediante equipos aspersores o la aplicación de una pintura de curado que impide el paso del vapor de agua.

Revestimientos semiflexibles. Suponen otra opción frente al hormigonado “in situ” pues, a causa del elevado número de juntas de construcción que tienen, se logra cierta adaptación al terreno.

Estos revestimientos se efectúan mediante placas prefabricadas. Como estas piezas alcanzan una elevada calidad, con ellas pueden revestirse canales. Se emplean placas de 0,5 x 0,3 m a 2 x 1 m con espesores que no suelen superar los 10 cm. En este material se pueden controlar todos los parámetros de fabricación con el fin de obtener unas características determinadas a un coste aceptable.

Otra ventaja es la permitir trabajar en épocas en las que el hormigonado tradicional sería imposible (por lluvia o frío). El máximo aprovechamiento se obtiene en caso de grandes obras en las que se realiza toda la red, incluyendo las acequias.

La existencia de un número mucho mayor de juntas supone mayor posibilidad de filtraciones por lo que éstas deberán tratarse cuidadosamente. También es muy importante la calidad de la excavación.

Los taludes deben garantizar la estabilidad de las placas por rozamiento con el terreno para evitar deslizamientos. Generalmente se colocan las placas de modo que cada una apoya sobre dos de la hilada inferior. Al final se coloca un reborde horizontal que evita la entrada de aguas de lluvia por el trasdós del revestimiento.

7. REVESTIMIENTOS CON MEMBRANAS

Debemos distinguir dos grandes grupos de membranas en los revestimientos de los canales, estos son las membranas asfálticas y las membranas plásticas.

Membranas asfálticas. Las primeras que se emplearon eran una capa de asfalto fundido en caliente que se extendía sobre un terreno bien compactado, dando un



espesor de 5 a 7 mm. Su debilidad hacía preciso que se tuviera que recubrir con una capa protectora de 30 a 60 cm formada por una primera subcapa de arena y una segunda de gravilla.

Posteriormente se han empleado membranas consistentes en un tejido de fibras artificiales empapado en asfalto oxidado, lo que les hace más estables frente a los cambios de temperatura. Estas membranas pueden constar de varias capas superpuestas hasta alcanzar un espesor suficiente. Se fabrican con longitudes hasta 10 m y anchura de 1 m. Su mayor resistencia permite la instalación sin capa protectora.

Membranas plásticas. Son impermeables y con elevada resistencia a la tracción. La principal ventaja frente a las asfálticas es su resistencia a la erosión y al punzonamiento, así como su menor reblandecimiento con el calor. Su mayor enemigo es el crecimiento de la vegetación natural por lo que el terreno debe tratarse previamente con herbicidas.

Los materiales más utilizados son: el policloruro de vinilo (PVC) el polietileno de alta densidad (PEAD) y el butilo. Los espesores pueden alcanzar hasta 3 mm. Se instalan con revestimiento de gravilla (con espesor de unos 40 cm) o sin protección en contacto con el agua, en cuyo caso deberán ser más resistentes. El mayor inconveniente es la pérdida de las características con el paso del tiempo.

Las láminas enterradas pueden dar un buen resultado si los materiales, el diseño y la construcción son adecuados, si bien hay que recordar que el canal se comporta como si fuera de tierra en lo referente a velocidad del agua.

Las láminas vienen en rollos de hasta 100 m y la instalación se efectuará por tramos, comenzando en el punto final del canal y soldando cada uno con el tramo anteriormente instalado para lo cual se deja una zona de solape de 5 cm. La mayor dificultad se presenta cuando hay viento.

Las ventajas del material instalado sin recubrimiento son:



- Se pueden emplear taludes más inclinados, hasta 1,7:1
- Se ahorra el exceso de excavación que luego se emplea para recubrir
- Se localizan fácilmente las averías

Las desventajas son debidas al envejecimiento producido por la luz solar y la mayor facilidad de dañar la lámina, bien sea por los animales, la erosión, el viento o actos vandálicos, incluido el robo.

8. OBRAS DE TOMA E INICIO DEL CANAL

El canal partirá de una conducción en carga con sus correspondientes elementos de regulación (válvulas o compuertas) o de una presa de desviación (azud).

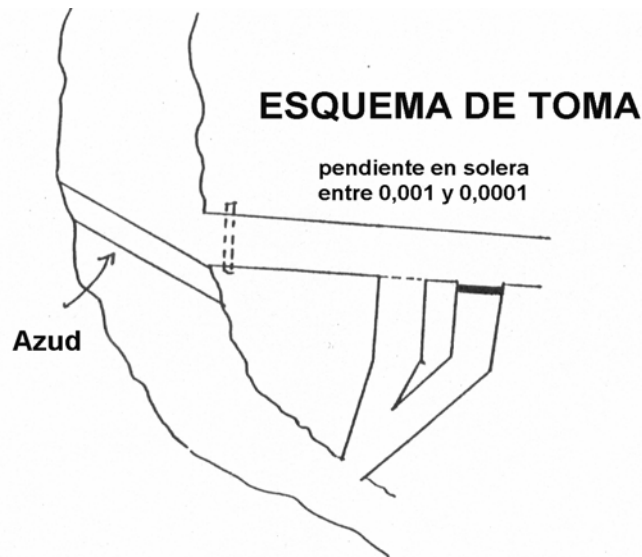
En el primer caso no se presentan problemas, pero en el caso de toma directa del río el primer problema que se plantea es el mantenimiento del caudal en unos límites estables. Entonces, para evitar caudales excesivos, deberán seguirse las siguientes normas:

- El fondo se situará a altura superior al nivel de aguas altas agua abajo de la presa.
- Se evitarán elevaciones excesivas del nivel de remanso en el azud dando la mayor longitud posible a su vertedero.
- Se procurará, si es posible, que el azud forme un embalse suficiente para atender a aumentos imprevisibles de la demanda.

A los azudes de regulación diaria conviene darles una capacidad suplementaria para recoger los sedimentos, o disponer desagües de limpia suficientemente amplios para arrastrar los sedimentos depositados.

Debe estudiarse la disposición de las tomas para evitar su obstrucción por sedimentos, recomendándose desagües para limpia de las tomas a continuación de las mismas. En relación con dicha disposición de la toma, ésta deberá formar un ángulo

con la ladera del embalse de manera que la corriente hacia el aliviadero desvíe los sedimentos de la misma. Es más favorable situar la toma en la zona cóncava del río.

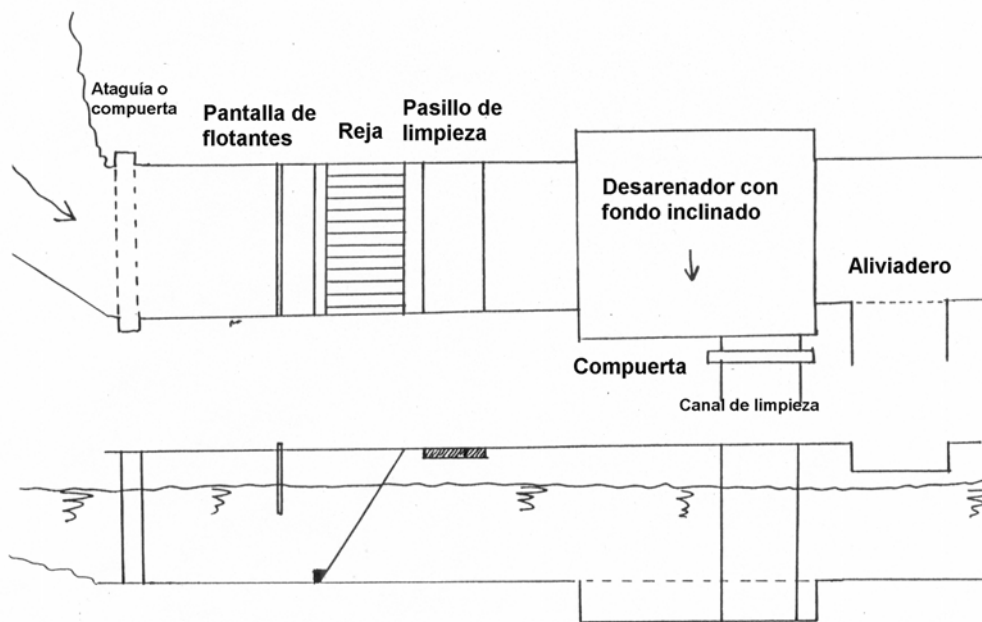


Conviene disponer una reja gruesa en la entrada del canal para impedir la entrada de cuerpos de dimensiones apreciables; como separación entre barrotes se recomienda entre 15 y 25 cm y la posición más adecuada es formando un ángulo menor de 30° con la vertical. En general debe evitarse una velocidad de paso del agua entre barrotes superior a 0,75 m/s.

Para facilitar su limpieza se dispondrá un pasillo o plataforma sobre la misma. Para evitar acarreo en el fondo, la reja se apoyará sobre un umbral algo elevado respecto a la solera. En lugar previo a la rejilla o sobre ésta, se debe situar una pantalla superior que penetre hasta 0,50 m desde el nivel mínimo del remanso para evitar el paso de flotantes.

A continuación conviene situar un desarenador. Este aspecto es básico en los canales para centrales hidroeléctricas debido al desgaste que provoca la arena en las turbinas. El desarenador tendrá cierta pendiente hacia un canal de limpia, normalmente cerrado, para que permita la evacuación periódica de los sedimentos hacia el río.

Dado que tanto la demanda como el nivel del remanso es variable, se precisa situar en la entrada del canal de una o varias compuertas que limiten el caudal derivado. En todo caso deberá preverse el cierre por medio de ataguías para casos de revisión o limpieza.



OBRA DE TOMA

Si la toma es en carga se dispondrán sistemas amortiguadores de energía que pasen el agua a régimen lento (el sistema más adecuado es la formación de un resalto hidráulico).

9. ALIVIADEROS Y DESAGÜES. ALMENARAS

En caso de falsas maniobras o sobreelevaciones imprevistas puede pasar al canal un caudal superior a su capacidad por lo que se tiene un caudal sobrante que debe eliminarse. A tal fin se dispondrá de un aliviadero suficientemente separado de las compuertas para que el agua haya alcanzado su régimen uniforme. Este aliviadero debe ser muy sensible a las variaciones de nivel recomendándose de tipo vertedero lateral con longitud suficiente.



Además, para evitar sobreelevaciones y vertidos accidentales, debe situarse varios aliviaderos a lo largo del canal particularmente en puntos previos a:

- Obras que se pudieran obturar.
- Tramos donde el desbordamiento tuviera consecuencias catastróficas.
- La cámara de carga (en los canales hidroeléctricos).
- Lugares con disminución posterior de la capacidad (para evacuar la diferencia).

Es preciso situar los aliviaderos en las proximidades de los cauces públicos para que se reduzcan las longitudes de los canales de descarga. Se cuidará su cimentación y ejecución por la alta erosión debida al caudal y velocidad de paso del agua en ellos.

Los aliviaderos normalmente son laterales, se disponen rebajando el cajero hasta una cota algo superior al nivel normal del agua y redondeando su coronación para facilitar el vertido. Como la altura de lámina de agua es pequeña, deben tener gran longitud disponiendo un canal de recogida del caudal evacuado.

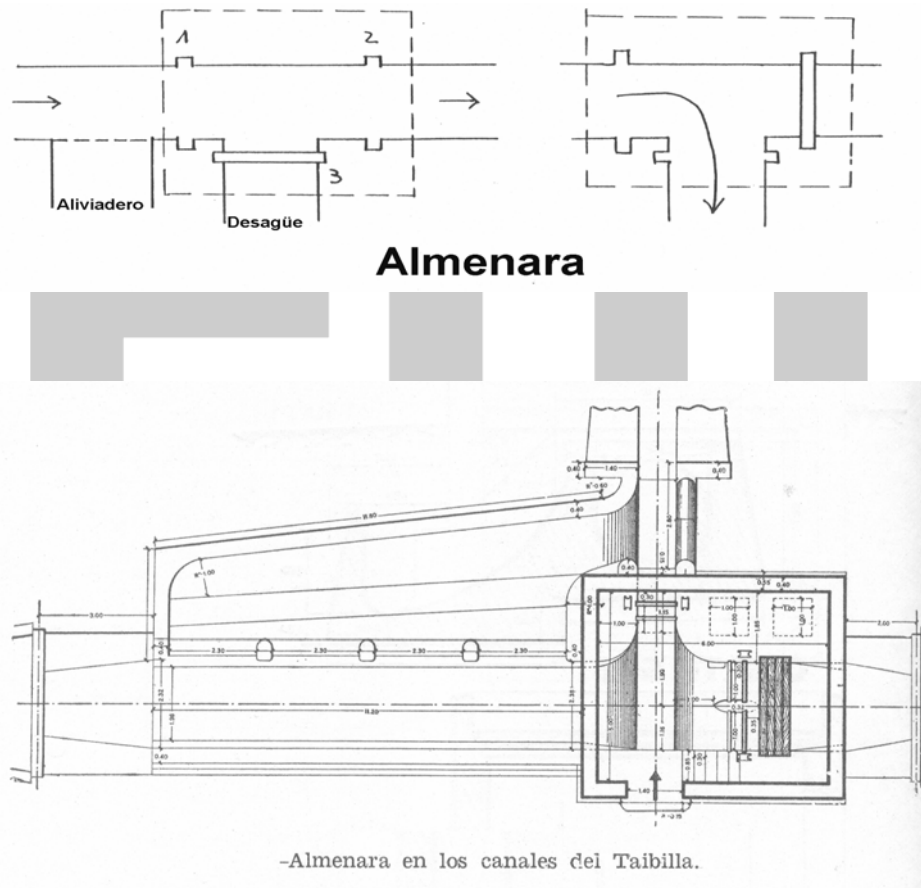
Como los aliviaderos de vertido libre exigen una sobreelevación del nivel para evacuar los caudales excesivos, a veces conviene disponer aliviaderos con compuertas para evitarlas. Al no poder mantenerse siempre una vigilancia en el canal, es útil que el funcionamiento de las compuertas sea automático, mandado por el nivel del agua. Los mecanismos automáticos tendrán total garantía, pues un error podría resultar grave.

Los desagües se emplean para dar salida al agua en caso de revisión o reparación y para la limpieza del canal arrastrando hacia ellos los materiales acumulados en el fondo. Los desagües se dispondrán en los siguientes puntos:

- En las cámaras de carga finales de los canales hidroeléctricos.
- En las transiciones a sección menos profunda pudiera quedar agua estancada.
- Ante las compuertas que cortan la circulación de agua en el canal.

En la salida de los desagües se proyectarán dispositivos de amortiguación de la energía cinética del agua para evitar erosiones en los terrenos cercanos.

En las conducciones largas conviene situar las instalaciones denominadas almenaras que permiten dejar tramos en seco sin cortar el agua en el inicio y tener que esperar después a que el descenso de nivel llegue al punto cortado. Constan generalmente de un aliviadero previo y dos compuertas de paso entre las cuales se sitúa otra para desvío al arroyo. Todos estos mecanismos pueden estar situados dentro de case-tas para su protección.



10. OBRAS DE CRUCE

En el caso de que la traza del canal se encuentre con una zona de terreno a cota inferior a la de la solera existen las siguientes soluciones:

- Rodearla buscando la cota adecuada, cosa que no siempre es posible.
- Elevar la cota del terreno mediante terraplenes.
- Situar el canal sobre un acueducto a la cota adecuada.
- Emplear conducciones en régimen forzado (sifones).



Sifones

El empleo de sifones (conducciones a presión) en tramos de canales es usual para el paso de valles. Los sifones se construyen en chapa de acero u hormigón armado o pretensado. Cuando sea posible se emplearán materiales prefabricados. Puede ser conveniente cubrirlos con tierra contra los cambios de temperatura.

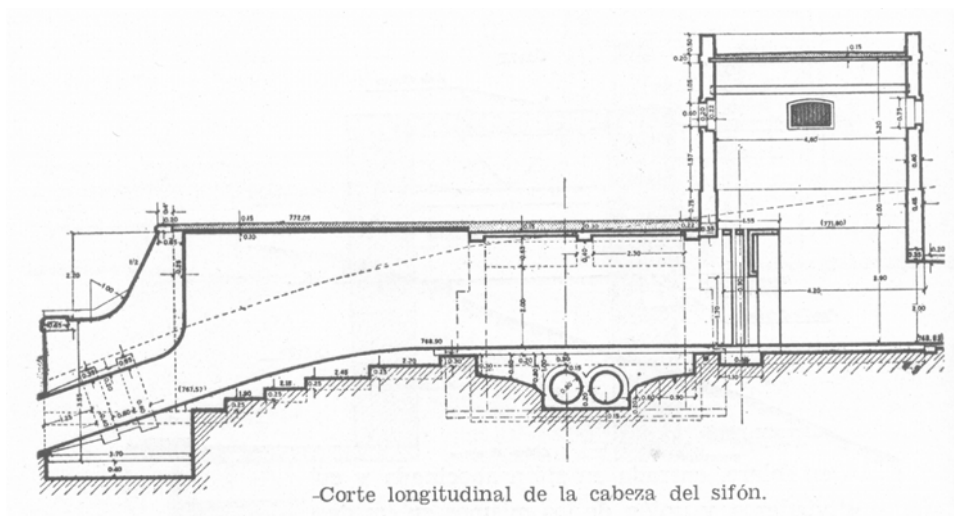
Las tuberías metálicas se construirán preferentemente en chapa de acero, el espesor será superior a 8 mm y se recomienda dejar juntas de dilatación cada distancia no superior a 150 m. En conducciones con presiones poco elevadas se emplean tuberías de hormigón armado por su mayor rigidez y su conservación más sencilla.

Es recomendable proteger los tubos con un revestimiento externo para evitar agresiones químicas y catódicas, éste se aplica generalmente en la propia fábrica de

tubos. Si se teme que la agresividad del terreno o la acción de corrientes continuas de origen externo puedan originar corrosiones, se estudiará el procedimiento para evitarlas (ánodos de sacrificio, fuerza electromotriz externa, etc.)

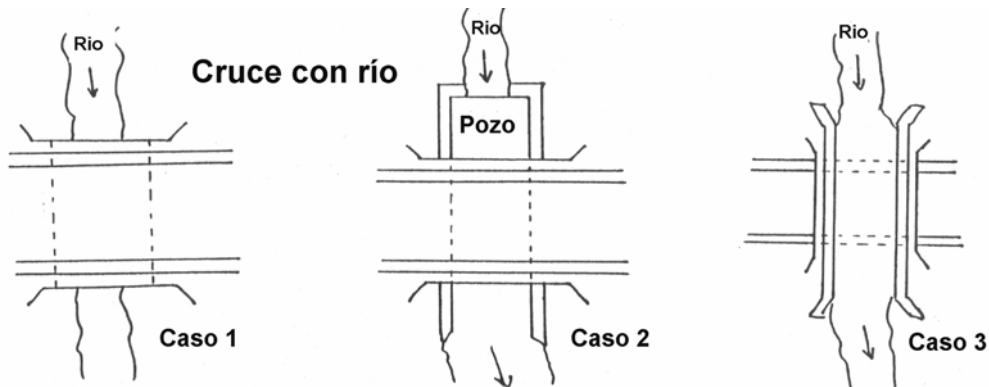
Como obras específicas de los sifones se tienen las siguientes:

- Las cámaras de carga servirán de transición entre la sección normal del canal y las tuberías y viceversa, se procurará que las formas de las superficies de transición sean suaves para reducir las pérdidas de carga. En la cámara de entrada se dispondrá una reja gruesa y un aliviadero siendo conveniente disponer una almenara. La de salida tendrá capacidad o sistemas para reducir la energía de salida y tranquilizar las aguas.
- En la parte inferior del sifón y en cada uno de los puntos bajos se dispondrá una válvula de desagüe para el vaciado de la tubería y la extracción de los sedimentos; desde cada válvula, se encauzarán las aguas evacuadas hasta el cauce natural más próximo. Si el sifón tiene tramos intermedios a mayor nivel que los contiguos se dispondrán ventosas que permitan la entrada y salida de aire durante el vaciado y llenado de la tubería.
- Para inspeccionar la tubería se dispondrá uno o varios accesos para entrada de personal (según la longitud) cerrados normalmente con tapas estancas.



Drenajes transversales

En el cruce del canal con arroyos o pequeñas corrientes ocurren tres casos:



- Caso 1 - Que la solera del canal discorra a mayor altura que el nivel máximo de la corriente, empleándose en este caso tajeadas o pontones bajo el canal para dar paso al agua.
En la construcción de estos pontones, se estimará el caudal máximo previsible con objeto de prever suficiente capacidad de desagüe. Se estudiará cada solución en función del caudal y de la altura sobre el fondo. En el tramo de terraplén se protegerá su pie contra la erosión por la corriente. Podrá cruzarse un arroyo con terraplén continuo cuando resulte seguro y económico respecto a otras soluciones.
- Caso 2 - Que el arroyo alcance el canal en altura intermedia entre el nivel máximo y la solera, en este caso se puede dar desagüe al agua por debajo del canal. El desagüe será visitable recomendándose ancho mínimo de un metro. Los caudales se recogerán en un amplio pozo que desaguará por tajeadas situada bajo el canal. Conviene revestir la solera de los pasos de agua y darle suficiente pendiente para que las piedras y fango que pudiera arrastrar el agua no queden depositadas. Debe rechazarse la solución de dar paso a los caudales bajo el canal en sifón, pues con el paso del tiempo pueden rellenarse con tierra y piedras.
- Caso 3 - Que el canal circule en trinchera, en cuyo caso se estudiará el paso de la corriente sobre el canal con las adecuadas precauciones.



El caudal del arroyo se encauzará hacia un paso sobre el canal con altura de cajeros suficiente para evitar su desbordamiento y con fuerte pendiente para mantener la velocidad y evitar que la sección de paso quede obstruida por acumulación de piedras o fango. Debe también estudiarse en este caso la posibilidad de captar para el canal el agua del arroyo si éste tiene caudales regulares, disponiendo rejillas a través de las cuales el agua accede al canal. A continuación se colocará un aliviadero para desaguar caudales excesivos.

11. OBRAS EN DESNIVELES

En el perfil longitudinal de los canales puede ser conveniente disponer de alteraciones bruscas en los casos siguientes:

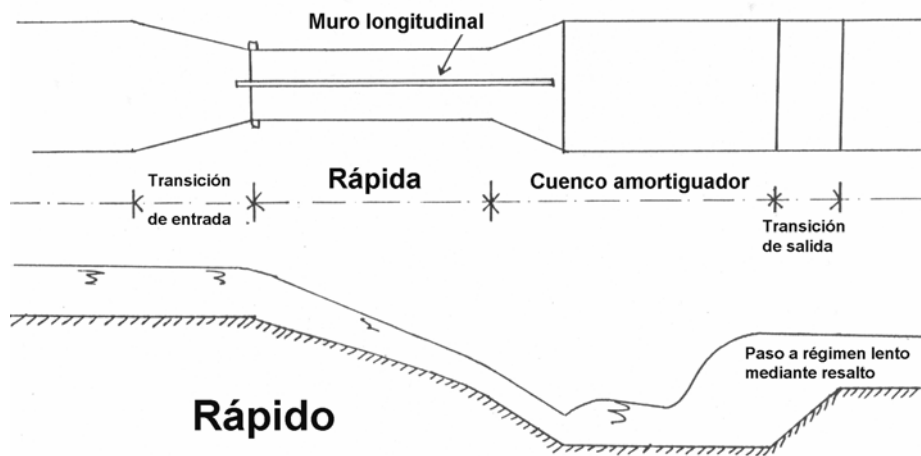
- Si la pendiente del terreno es superior a la del canal y no se puede dar mayor pendiente para limitar la velocidad del agua.
- Para adaptarse a las condiciones del terreno con objeto de alejarse de terrenos peligrosos bajando la cota del canal.
- En canales con tomas frecuentes, donde se limita la pendiente para asegurar el calado, siendo preciso concentrar los desniveles.

Los desniveles se clasifican en: rápidos (si el paso se realiza por medio de un canal inclinado con fuerte pendiente) y saltos (si la caída se verifica libremente a un estanque de amortiguación).

Rápidos

Los rápidos están formados por cuatro partes:

1. Transición de entrada
2. Rápida o canal en régimen rápido
3. Cuenco amortiguador
4. Transición de salida



En la transición de entrada se dará a la solera una curvatura suave entre la pendiente del canal y la de la rápida de forma que no se produzcan depresiones o despegues. Los cajeros irán estrechándose procurando que la transición no dé lugar a la aparición de ondas ni se produzca un remanso del agua en el tramo anterior.

Se calcularán los calados en diferentes secciones con el fin de disponer de altura de resguardo suficiente en los cajeros (0,40 m como mínimo).

Durante el recorrido de la rápida se recomienda evitar los cambios de dirección. Es conveniente dividir la sección del canal en dos semisecciones con un muro longitudinal divisorio, con esta disposición se incrementa el rozamiento disminuyéndose la velocidad y además se permite que el agua pase por una semisección mientras en la otra se realizan operaciones de mantenimiento (más frecuentes que en el resto del canal debido al desgaste que se produce en estos tramos) sin que sea preciso poner fuera de servicio el canal. Para ello se situarán compuertas en el inicio de cada semisección.

Al final de la rápida se dispondrá un cuenco amortiguador para disipar la energía cinética del agua. El cuenco tendrá la profundidad suficiente para asegurar la formación del resalto y longitud de cinco veces el calado para evitar turbulencias en la salida. Al finalizar el cuenco se dispondrá la transición de salida para el paso a la sección normal del canal.



Salto

Los saltos o caídas verticales se forman disponiendo al final del tramo superior del canal un vertedero desde donde cae la lámina libremente a un estanque o colchón de agua inferior que amortigua su energía y de donde parte el tramo siguiente del canal. Las dimensiones del cuenco amortiguador se determinarán partiendo de experiencias conocidas o mediante ensayo en modelo. La solera tendrá suficiente espesor para soportar sin erosión los efectos dinámicos y será conveniente reforzarla con la armadura adecuada.

No es conveniente emplear caídas verticales para caudales importantes o grandes desniveles. Si el desnivel o caudal es importante puede ser de interés su aprovechamiento hidroeléctrico, para ello se efectuarán los correspondientes estudios económicos, en base a los cuales se decidirá la conveniencia de instalar turbinas.

12. ELEMENTOS DE CONTROL: AFOROS

Es necesario conocer con precisión el caudal de agua que circula por los tramos del canal, para ello deberá disponerse de un sistema de aforo próximo a la toma que permita poder adaptar a la demanda los caudales entregados al canal. Cada cierto periodo deben realizarse aforos directos pues al variar la rugosidad varía el caudal. Se mide con bastante precisión el caudal que circula por el canal en función de la altura alcanzada por las aguas en el tramo inicial de los rápidos.

Para obtener una adecuada precisión, si es admisible perder un pequeño desnivel, pueden disponerse aforadores de resalto en los que se produce el régimen rápido en un corto tramo del canal. En estos aforadores se obtiene el caudal en función del nivel de agua medido en una sección donde se situará una escala o una toma de presión para registro de niveles por medio de un linnígrafo.

Las escalas se situarán en zonas protegidas en las que el agua no esté sometida a oscilaciones rápidas de nivel ni oleaje. Los linnígrafos accionados por flotador



se situarán en pozos comunicados con el canal, siendo recomendable su instalación en las regiones donde exista peligro de heladas en la superficie del canal.

13. MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN

Las obras se deterioran por lo se precisan acciones para su mantenimiento en buen uso. Los conceptos de mantenimiento y conservación se refieren a operaciones normales que deben hacerse de modo periódico para mantener la obra en buen estado y prever anticipadamente su deterioro. Son operaciones imprescindibles, aunque exista tendencia a no emplear en ellas los recursos necesarios. Igualmente imprescindible es la supervisión constante por el personal de explotación para detectar el inicio de cualquier anomalía.

En el caso particular de los canales, los aspectos que se citan a continuación merecen una atención especial por su frecuencia o importancia.

Control de la vegetación

En los alrededores del canal se produce una proliferación de la vegetación debido a la abundancia de agua, sedimentos en el fondo donde se sujetan las raíces y, normalmente, buenas temperaturas. Esta vegetación debe eliminarse periódicamente.

Lo tradicional era limpiar a mano en momentos de secado del canal, otra forma era quemándola después de un periodo de secado. También se ha probado segar con cuchillas desde retroexcavadoras y arrancarla mediante cadenas, tiradas por tractores, que arrastran por el fondo. En el caso de vegetación flotante, la solución es situar rejillas o redes que interceptan su paso. Éstas deben limpiarse frecuentemente.

En el caso de canales revestidos, estas operaciones son más fáciles, pero no debe olvidarse que la vegetación supone una de las mayores causas de averías. Por ello se debe realizar una revisión anual que incluya las reparaciones pertinentes.

Por todo lo anterior se ha intentado probar diferentes productos químicos para



limitar el crecimiento, que puedan añadirse al agua y que no afecten al resto de cultivos, animales o personas. No se ha encontrado ninguno que cumpla correctamente estas premisas, si bien el sulfato de cobre parece eficaz contra las algas.

Detección de filtraciones

Las filtraciones son origen de graves problemas (subpresión en el recubrimiento, arrastre de materiales que afecta a la estabilidad, etc.) por lo que su detección y eliminación es una labor de la máxima importancia. Si existen drenajes hay que comprobar sus salidas, incluso realizando aforos periódicos. También debe buscarse la existencia de charcos o humedades así como el crecimiento de plantas.

Las reparaciones deben hacerse de modo inmediato. Si no se puede cortar el canal, las láminas de plástico pueden ser útiles para reparaciones provisionales mientras dura la campaña de riegos. Una vez seco el canal, las juntas deben comprobarse atentamente, pues sus materiales envejecen perdiendo elasticidad y generando filtraciones.

Limpieza de sedimentos

Los sólidos arrastrados se sedimentan normalmente en los mismos puntos. Un punto típico es la parte inferior de los tubos de los sifones produciendo una pérdida de carga que puede afectar al normal funcionamiento. Este problema también es grave en los cauces pequeños sin revestir, que pueden llegar a atascarse.

La solución es instalar desarenadores en la toma o aprovechar las balsas de regulación, en todo caso se precisa una limpieza periódica.

Conservación de materiales metálicos

Los materiales metálicos (compuertas, aliviaderos, rejillas, tuberías de los sifones, etc.) se encuentran alternativamente bajo el agua o en el aire con ambiente húmedo, lo que es desfavorable para el mantenimiento. Por ello, es preciso que, antes de pintarlos por primera vez, se haga un buen decapado para eliminar las escorias,



pues estas pueden dar origen a posteriores despegues de la pintura y procesos de oxidación.

La primera vez que se pinten, deben darse dos capas previas de pintura antioxidante (el famoso minio) y posteriormente otras dos capas de buena pintura (vinílica o a base de alquitrán). El mejor sistema, y el más caro, consiste en un zincado completo de las piezas; en fábrica se hace por inmersión en zinc fundido o por procedimientos electrolíticos, aunque también puede hacerse pintando con pistola. Posteriormente se pinta con pintura epoxídica.

Durante la vida útil hay que revisar y pintar de nuevo periódicamente, con pinturas semejantes a las empleadas en el primer pintado.

En el caso particular de equipos delicados, (sensores, automatismos, etc.) es preciso protegerlos en construcciones robustas para evitar el robo o la rotura. Ante los actos vandálicos debe colocarse alguna protección con efecto disuasorio y que señale claramente que se trata de propiedad privada a la que no se puede acceder.

14. SEGURIDAD EN LOS CANALES

Los canales son peligrosos, tanto en caso de caída como de baño. La salida por los taludes es difícil y el riesgo aumenta con la velocidad del agua. Por todo ello, la primera protección debe ser la concienciación pública de que el canal es peligroso y no un elemento de diversión. Para esto se precisa la colocación de suficientes carteles de aviso y de prohibición de baño.

En primer lugar debe facilitarse la salida de la persona por sus propias fuerzas, pues sus avisos de socorro es difícil que puedan ser oídos. Para ello se debe disponer escalas metálicas de pates (de 40 cm de anchura y 12 mm de diámetro como mínimo) separados un máximo de 40 cm. Otra opción es disponer, para los canales sin revestir, de estructura que permita la salida. La separación entre estos elementos puede ser de 200 m y deben situarse en ambas márgenes de modo alternativo y, ade-



más, siempre antes de un punto peligroso.

En Estados Unidos se sitúan cuerdas que atraviesan el canal, de las que cuelgan bandas de cuero a las que agarrarse para salir.

Las zonas especialmente peligrosas (rápidos, túneles, sifones) deben cerrarse o vallarse para impedir el acceso pues en ellos, dada la velocidad del agua, las posibilidades de salir sin problemas son mínimas. Especialmente peligrosos son los sifones pues la persona arrastrada, no puede respirar y se golpea contra las paredes. En algún caso se ha detectado que había alguien atrapado por el desbordamiento del canal.

En el caso de los sifones conviene ubicar rejas metálicas en la entrada pues, además de su utilidad para impedir el paso de objetos que pudieran atascar las tuberías, son un elemento de salvamento importante, sobre todo si están dispuestos, para facilitar la salida de las personas.

Otro aspecto a considerar son las medidas de protección sanitaria, como impedir el vertido de basuras en el entorno. En el caso de canales de abastecimiento es obligatorio el recubrimiento del canal para evitar vertidos. Para ello puede incluso ser precisa una vigilancia por personal de seguridad.