

Programa Específico: Instalaciones hidráulicas y plantas potabilizadoras

TEMA 3. VIGILANCIA, CONTROL Y MANTENIMIENTO DE PRESAS, CANALES Y ACEQUIAS

1.- INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento imprescindible para la vida, por lo que es necesario su captación y almacenamiento para su utilización cuando y donde la necesitemos.

Podemos hacer una clasificación del agua desde el punto de vista del lugar donde la encontramos para su captación en:

- a) Subterráneas
- b) Superficiales

Las aguas superficiales a captar podemos obtenerlas directamente de la lluvia, de los ríos y arroyos, de lagos y embalses.

Las aguas una vez captadas es necesario almacenarlas mediante lagos naturales, embalses, depósitos, aljibes, etc.

Para su transporte hasta los puntos de consumo utilizamos tuberías, canales, acequias, etc.

Así, las dos infraestructuras artificiales que nos permiten el almacenamiento y transporte de agua, concretamente, son las presas (y sus correspondientes embalses) y los canales.

Las grandes obras hidráulicas permiten que en España usemos un 32% de recurso natural. Sin ellos sólo podríamos disponer del 8% del recurso hídrico natural.

2.- PRESAS

Las fases por las que pasa una presa a lo largo de su vida son:

- a) Fase de proyecto
- b) Fase de construcción
- c) Fase de explotación
- d) Fase de puesta fuera de servicio

La fase de explotación constituye la finalidad de la presa, por lo que las condiciones en que esta vaya a realizarse deben tenerse presente en todas las fases anteriores. El titular de la presa como responsable de su seguridad, de la del embalse y de los efectos que ambos puedan producir en el cauce, deberá disponer lo necesario para que las funciones del equipo encargado de la seguridad en la fase de explotación queden perfectamente definidas, previendo las acciones oportunas y determinando las prioridades de objetivos e intereses en el caso que pudiera presentarse una colisión entre las exigencias de la seguridad y las conveniencias de explotación.

Durante la fase de explotación, el titular adoptará las medidas pertinentes para detectar y corregir eventuales defectos anteriores o deterioros producidos por la edad, así como para incorporar las que fueran aconsejables debido a innovaciones tecnológicas, para lo cual deberá realizar una observación e interpretación constante del comportamiento de la presa.

La entrada en explotación del embalse, una vez finalizada la fase de puesta en carga de la presa, deberá ser aprobada expresamente por el organismo competente. Dicha aprobación podrá ser provisional, con vigencia temporal limitada, o

definitiva. Excepcionalmente, la explotación del embalse podrá comenzar sin haber finalizado la fase de puesta en carga. En este caso, el Director de explotación será también el Director de puesta en carga.

La seguridad de una presa en explotación se consigue con los siguientes elementos:

1. Normas de Explotación
2. Plan de Emergencia
3. Plan de Mantenimiento Preventivo (P.M.P.)
4. Sistema automático de Información Hidrológica

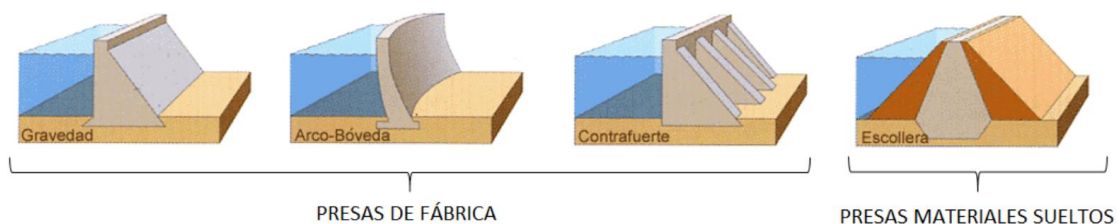
Hay un quinto elemento, que es la llamada clasificación de una presa en función del riesgo potencial.

El riesgo potencial es aquel que pueda derivarse de su posible rotura o de su funcionamiento incorrecto, todas las presas deberán clasificarse, de acuerdo con la Directriz de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de inundaciones”, en alguna de las siguientes categorías:

- a) “Categoría A”: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales, así como producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- b) “Categoría B”. Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o a afectar ha un reducido número de viviendas.
- c) “Categoría C”: Presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y solo incidentalmente pérdida de vidas humanas.

3.- ELEMENTOS A VIGILAR EN UNA PRESA

Las presas pueden ser de distintos tipos:



Los elementos a vigilar en una presa son los siguientes:

- Coronación
- Paramento de aguas arriba
- Paramento de aguas abajo
- Contacto presa - cimiento
- Aliviadero
- Galerías y cámaras
- Sensores de auscultación
- Equipos hidromecánicos
- Desagüe de fondo, tomas
- Vaso y entorno aguas abajo
- Elementos de Seguridad

Partes de cada elemento a inspeccionar

- Coronación:
 - Alineación general: barandillas, bordillos, farolas
 - Asientos diferenciales entre bloques
 - Estado general del hormigón: deterioro superficial
 - Estado muretes, parapetos, pretilas
 - Estado del firme, drenaje, etc.
 - Aparición de fisuras o grietas
 - Estado de juntas
 - Contacto con estribos
 - Estructuras de paso
 - Vegetación
- Paramento Aguas Arriba
 - Estado hormigón/Pérdida material
 - Estado juntas, fisuras y grietas
- Paramento Aguas Abajo
 - Idem anterior
 - Aparición humedad, filtraciones
 - Vegetación
- Contacto presa - cimiento
 - Aparición humedad, filtraciones
 - Signos de movimiento
- Aliviadero
 - Estado del hormigón: cavitación
 - Estado juntas, fisuras y grietas
 - Sobrevertido de cajeros
 - Cuenco: elementos disipadores, erosiones
 - Accionamiento electromecánico
- Galerías y cámaras
 - Aparición de fisuras o grietas
 - Aparición humedad, filtraciones
 - Surgencias en drenes
 - Estado del hormigón
 - Iluminación, ventilación
- Desagüe de fondo / Tomas
 - Aparición humedad, filtraciones
 - Estado del hormigón
 - Válvulas o compuertas: aireación, accionamiento
- Vaso y entorno aguas abajo
 - Depresiones, sumideros
 - Deslizamientos de ladera
 - Vegetación
- Elementos de Seguridad
 - Sala de Emergencia
 - Grupos electrógenos
 - Comunicaciones SAIH
 - Sirenas de Alerta
 - Geiser

4.- NORMAS DE EXPLOTACIÓN

Durante la explotación normal, que sigue al periodo controlado de llenado del embalse (conforma a un plan de llenado que es oficialmente aprobado), se continua el control de la seguridad de la presa.

Las normas de explotación deben contener el conjunto de actuaciones encaminadas al mantenimiento de las condiciones de seguridad de la presa y al control de los factores de riesgo.

Las normas de explotación contienen también las actuaciones que deben seguirse, una vez detectada una situación de riesgo, para la activación del Plan de Emergencia, si procede.

Por tanto, la seguridad de la presa, desde la perspectiva de la ocurrencia de una situación de emergencia, pasa por las siguientes fases:

a) Fase de explotación normal

Corresponde a todas las actuaciones de la organización encaminadas al mantenimiento de las condiciones de seguridad de la presa y al control de los factores de riesgo:

- Criterios y condiciones para la explotación segura
- Criterios de mantenimiento preventivo/correctivo
- Tipificación de situaciones de riesgo y sus umbrales
- Sistemas de vigilancia y control

b) Fase de transición de la explotación normal a la emergencia

Cuando se detecta una situación de riesgo, las Normas de Explotación deben prever el inicio, de forma automática, a través de la propia organización de la presa, de las actuaciones tendentes a la comprobación y valoración de la situación detectada y a la puesta en marcha, si procede, del correspondiente Plan de Emergencia.

Es una fase transitoria entre la explotación normal y la emergencia. En esta fase, lo importante es el flujo de comunicación que permita alertar a las personas implicadas en el control y la valoración del riesgo detectado, ante la posibilidad de declarar una situación de emergencia, una vez se haya contrastado o valorado la situación. Debe apoyarse básicamente en el personal de guardia responsable de la explotación de la presa:

- Protocolos de comunicación, información y estado de alerta
- Valoración técnica del riesgo
- Declaración de la emergencia

c) Fase de emergencia

Es la aplicación del Plan de Emergencia propiamente dicho. El Director del Plan asume sus funciones y declara el escenario de emergencia informando de ello a los organismos de la administración preestablecidos:

- Declaración de la emergencia
- Gestión de la emergencia
- Declaración del fin de la emergencia

De los resultados de los trabajos, estudios y procedimientos establecidos en los planes de emergencia, se puede manifestar la necesidad de revisar los diferentes aspectos de las normas de explotación y en cualquier caso, incluir los aspectos relacionados con la vigilancia y el control de los factores de riesgo y los protocolos de actuación, hasta la declaración de la emergencia en su caso.

En general, el Plan de Emergencia se activa desde un estado de explotación ordinaria, lo que conduce a que la detección de una situación de emergencia se deba producir por aplicación de los criterios contenidos en otros capítulos, distintos del correspondiente al Plan, de las Normas de Explotación, en los que, consecuentemente, se habrá reproducido todo lo relacionado con la declaración del Escenario 0 de

emergencia contenido en el Plan.

El Plan de Emergencia establece la organización de los recursos humanos y materiales necesarios para el control de los factores de riesgo que pueden comprometer la seguridad de la presa y para facilitar la puesta en disposición preventiva de los servicios y recursos que han de intervenir para la protección de la población en caso de rotura o avería grave de la presa, mediante los sistemas de información alerta y alarma establecidos en él, y así posibilitar que la población potencialmente afectada adopte las oportunas medidas de autoprotección.

En el curso de la explotación ordinaria se estará controlando la evolución de los niveles de embalse, se mantendrá una prevención permanente respecto a la presentación de terremotos, la aparición de fuegos, la existencia de signos de vandalismo o de caída de objetos de gran tamaño y la existencia de conflictos bélicos.

Definición de la emergencia y de sus escenarios

Se producirá una situación de emergencia en una presa cuando así haya sido declarado por el Responsable de Seguridad o el Director del Plan, cuya declaración se producirá por presentarse, a su juicio y en función de lo establecido en el presente Plan de Emergencia, las circunstancias que dan lugar a que la presa se encuentre en alguno de los escenarios de seguridad siguientes:

1) Escenario de control de la seguridad o "Escenario 0". Las condiciones existentes y las previsiones, aconsejan una intensificación de la vigilancia y el control de la presa, no requiriéndose la puesta en práctica de medidas de intervención para la reducción del riesgo.

2) Escenario de aplicación de medidas correctoras o "Escenario 1": Se han producido acontecimientos que, de no aplicarse medidas de corrección (técnicas, de explotación, desembalses, etc.), podrían ocasionar peligro de avería grave o de rotura de la presa, si bien la situación puede solventarse con seguridad mediante la aplicación de las medidas previstas y los medios disponibles.

3) Escenario excepcional o "Escenario 2": Existe peligro de rotura o avería grave de la presa y no puede asegurarse con certeza que pueda ser controlado mediante la aplicación de las medidas y medios disponibles.

4) Escenario límite o "Escenario 3": La probabilidad de rotura de la presa es elevada o este ya ha comenzado, resultando prácticamente inevitable el que se produzca la onda de avenida generada por dicha rotura.

Caudales característicos

A efectos de suministrar información hidrológica e hidráulica relativa a la magnitud y la gravedad de la inundación aguas abajo de la presa, se definen los siguientes caudales característicos:

- Q₁ Caudal que desborda el cauce natural
- Q₂ Caudal que empieza a producir daños, afectando a viviendas aisladas, a zona agrícola importante y a infraestructuras secundarias
- Q₃ Caudal que produce daños de gran importancia, afectando a núcleos urbanos (más de 5 viviendas) y a infraestructuras importantes.

5.- AUSCULTACIÓN

Cuando se construye una presa no basta haber considerado en su proyecto la serie de acciones que pueden actuar sobre ella, y tenido en cuenta unos coeficientes de seguridad adecuados.

Tanto durante la construcción, como especialmente en el primer llenado, y después a lo largo de la vida de la presa es necesario comprobar que las acciones actuantes y la capacidad resistente frente a ellas, corresponden a lo previsto en el proyecto, y por tanto no hay peligro de que pueda sobrevenir un accidente. En caso de suceder algo anómalo, debe poderse actuar para poner el debido remedio, o de lo contrario acudir a vaciar el embalse, con la mayor rapidez posible.

En otros términos, una razón para realizar la auscultación de las presas es la de controlar que está en buenas condiciones de seguridad; este control ha de ser particularmente cuidadoso e intenso:

- Durante la construcción
- En la fase del primer llenado

También, aunque con menor frecuencia, o con dispositivos más sencillos ha de abarcar también

- Toda la vida de la presa

5.1. Variables a medir

El sistema de auscultación debe permitir realizar un seguimiento sistemático de diversas variables de control. Estas variables pueden ser

- a) Control externo
- b) Control interno

5.1.1 Variables de control externo

Control meteorológico

- Temperatura ambiente
- Temperatura del agua del embalse
- Humedad relativa
- Velocidad y dirección del viento
- Presión atmosférica
- Precipitaciones en forma de lluvia y nieve
- Evaporación

Control hidráulico

- Nivel de embalse

Control dinámico (sismicidad inducida y ambiental)

- Velocidades

5.1.2 Variables de control interno

En presas de Gravedad, Arco gravedad y Bóvedas: Las magnitudes que se miden en este tipo de presas son:

Hidráulicas

- Filtraciones en el interior de la presa
- Filtraciones aguas debajo de la presa
- Subpresiones
-

Deformaciones en estructura y cimiento

- Desplazamientos absolutos horizontales y verticales
- Desplazamientos entre bloques
- Desplazamientos entre estructura y cimientos
- Movimientos y deformaciones en fallas y otros accidentes geológicos
- Deformaciones en el hormigón
-

Térmicas

- Temperaturas en el hormigón
-

Tensionales

- Tensiones en la estructura y esfuerzos transmitidos al cimiento

Volumétricas

- Cambios volumétricos del hormigón

Dinámicos (efectos sísmicos en estructura y cimientos)

- Aceleraciones
- Desplazamientos
-

En presas de materiales sueltos

Hidráulicas

- Filtraciones en el interior de la presa
- Filtraciones aguas debajo de la presa
- Presiones intersticiales en los diferentes materiales que constituyen la presa
- Subpresiones

Deformaciones en estructura y cimiento

- Desplazamientos absolutos horizontales y verticales
- Desplazamientos relativos y horizontales y verticales
- Deformaciones diferenciales entre núcleo y espaldones
- Deformaciones diferenciales en contacto núcleo- estribos en zona de fuerte pendiente
- Deformaciones verticales y horizontales
- Deformaciones de la cimentación
- Movimiento y deformaciones en fallas y otros accidentes geológicos
- Deformaciones de la pantalla impermeable
- Movimientos de las juntas entre pantalla de hormigón y plinto soporte

- Movimiento de las juntas del plinto

Cargas

Presiones totales en el núcleo

Presiones efectivas en núcleo

Empuje efectivo en zonas de contacto de núcleo con aliviadero o en zonas singulares

Tensiones en pantallas de hormigón

Tensiones en la pantalla y zonas de empotramiento

6.- PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO (PMP)

El mantenimiento preventivo, establece los requisitos y condiciones técnicas que deben cumplirse para mantener las condiciones de funcionalidad y seguridad de las instalaciones de los equipos óleo-electro-mecánicos de los órganos de desagüe de las presas .

Los criterios de mantenimiento preventivo, serán de aplicación a los equipos mecánicos de las siguientes instalaciones:

- El aliviadero regulado por compuertas.
- Los desagües de fondo
- Las tomas intermedias
- Las tomas de centrales hidroeléctricas

Dentro de estas instalaciones, se considerarán a efectos de mantenimiento los siguientes equipos y componentes:

- Las válvulas tipo compuerta, así como sus accionamientos, ya sean manuales, electromecánicos u oleo hidráulicos.
- Las compuertas tipo Vagón, las compuertas deslizantes, etc. con todos sus componentes: obturador, hierros fijos, rodillos, rodillos guía, transmisiones, enclavamientos mecánicos, etc.
- Los accionamientos electro-mecánicos de las compuertas tipo Vagón, deslizantes, etc. con todos sus componentes: chasis, motores eléctricos, finales de carrera, reductores en seco o baño de aceite, embragues, volantes manuales, acoplamientos, frenos, indicadores de apertura, etc.
- Los accionamientos óleo-hidráulicos de las compuertas tipo Vagón, deslizantes, etc. con todos sus componentes: soportes, cilindros, ejes, enclavamientos, circuitos, finales de carrera, indicadores de apertura, etc.
- Los accionamientos manuales con o sin reductor con todos sus elementos, en el caso de las compuertas deslizantes de pequeño tamaño.
- Los by-pass con sus cierres, ventosas, tuberías de aireación, etc.
- Los cuadros eléctricos de mando y protección de las válvulas y compuertas.
- Los grupos óleo hidráulicos y sus circuitos.
- Los motores de los accionamientos electromecánicos y de los grupos óleo hidráulicos.

Como otros equipos auxiliares a estas instalaciones se tienen en cuenta a efectos de mantenimiento los siguientes:

- Los grupos electrógenos de emergencia.
- Los polipastos y puentes grúa para desmontaje y mantenimiento de los equipos hidromecánicos, tanto los de accionamiento manual como los motorizados.

Organización del mantenimiento.

El mantenimiento de las instalaciones y equipos de las presas se compone de los siguientes elementos:

- Mantenimiento Preventivo.
- Acciones correctoras.
- Mantenimiento Correctivo.
- Inspecciones semestrales.
- Informes periódicos.

7.- LAMINACIÓN DE AVENIDAS

Avenidas y su laminación

El estudio de avenidas es particularmente útil para el dimensionamiento de desvíos y aliviaderos en presas, así como el proyecto de obras de defensa contra inundaciones, redes varias, etc.

Hay que evaluar tanto el caudal máximo instantáneo como el volumen de la aportación (este último valor tiene especial importancia cuando se prevé un efecto de laminación de embalses).

Los datos básicos que conviene disponer son:

- Series de caudales máximos diarios y máximos instantáneos.
- Series de máximas precipitaciones en 24 o 12 h de intervalos menores.
- Estudios de precipitaciones y caudales
- Datos físicos de cada una de las cuencas consideradas.
- Coeficiente de escorrentía, pendiente, tiempo de concentración, etc.

Tiempo de concentración y líneas de isócronas

Se llama tiempo de concentración de una cuenca al tiempo que tarda en proporcionar su aportación al caudal fluyente del río, el punto de la cuenca que lo hace con mayor retraso. El tiempo de concentración depende del camino que ha de recorrer el agua hasta reunirse y llegar al sitio donde se estudia la avenida, y de la velocidad a que puede recorrer ese camino.

Los tiempos de concentración se calculan mediante fórmulas empíricas. Las velocidades del agua que escurre se ha medido directamente en diversas cuencas españolas. Fijada la velocidad de escorrentía se puede dibujar el plano de isócronas de la cuenca. Las **isócronas** son las curvas cuyos puntos tienen igual tiempo de concentración.

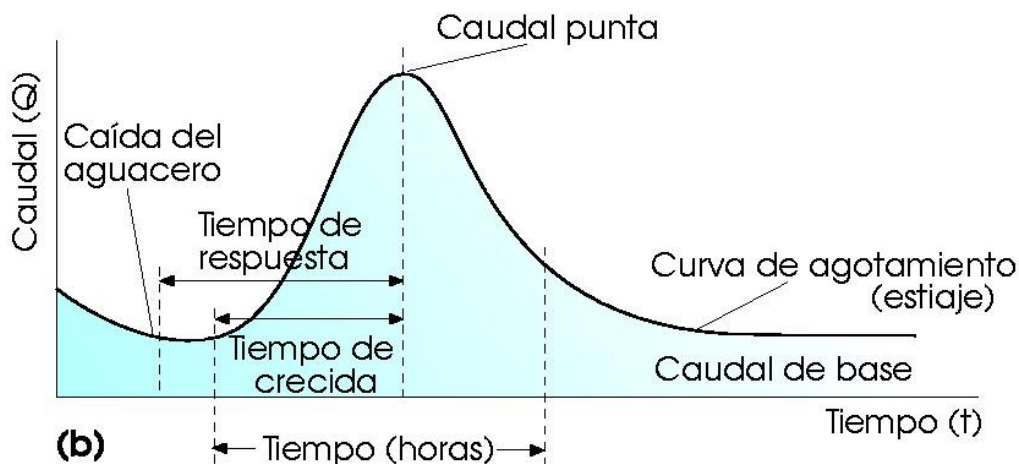
Coeficiente de escorrentía

Se llama coeficiente de escorrentía aquel que multiplicado por la precipitación total de la parte que corre por el terreno y contribuye a la aportación del río. El resto de la precipitación parte se infiltra y otra parte se evapora. Si la precipitación es muy pequeña, puede evaporarse o infiltrarse toda el agua caída resultando cero el coeficiente de escorrentía. La evaporación decrece y disminuye la infiltración por estar saturado el

terreno, pudiendo llegar el coeficiente de escorrentía a tomar un valor muy próximo a 1. Las curvas con puntos de igual escorrentía se denominan “isopletras

Hasta aquí se ha hablado de aportaciones procedentes de precipitación acuosa. Puede ocurrir que contribuya también a la formación de la avenida la fusión rápida de nieve acumulada en la cuenca.

Hidrograma de avenida



Es frecuente sobreestimar el caudal de crecidas debido a la fusión de nieve. Tanto la insolación como un viento templado dan lugar a una aportación menos considerable que de un fuerte aguacero.

Suponiendo que cae lluvia a la temperatura de 8° C sobre una zona cubierta de nieve, cada 10 mm. de precipitación de lluvia solo pueden fundir una cantidad de nieve equivalente a 1mm. de agua, luego el efecto sería como aumentar la precipitación el 10%.

La información sobre intensidad de precipitación, nivel de embalse y caudales entrantes será suministrada con carácter general y en tiempo real a partir de los datos captados por el **SAIH** (Sistema Automático de Información Hidrológica); en ausencia de esta información, se tomarán los datos directamente en el embalse y en las estaciones de aforos por el personal de explotación y de la guadería fluvial.

Situación de AVENIDA

- Caracterización: Se produce cuando se da alguna de las características siguientes:
 - Continúa la precipitación en cabecera y el nivel del embalse supera, o se prevé que supere, el de las curvas de maniobra (resguardo estacional).
 - El caudal supera los valores consignados y el nivel de embalse supera, o se prevé que supere, el de las curvas de maniobra (resguardo estacional).
 - El caudal de vertido se sitúa entre los caudales Q_1 que desborda el cauce natural, y Q_2 , que empieza a producir daños.
 - El caudal circulante por cualquier sección del cauce aguas abajo de la presa se sitúa entre los caudales Q_1 y Q_2 .

Como laminar una avenida

Tal como se ha dicho anteriormente, el conocimiento de las avenidas es importante para el dimensionamiento de los diferentes desagües de una presa. Los desagües pueden proyectarse de modo que puedan evacuar incluso el caudal máximo de crecida, pero es preferible que parte del agua quede en el embalse a costa de una sobreelevación transitoria del mismo, porque así disminuye el máximo caudal que continua por el río, y por tanto serán menores los daños que puedan producirse aguas abajo.

Esta reducción del caudal punta es lo que se llama “**laminación de la crecida**”. Para estudiar hasta que punto es realizable, es necesario conocer la forma de la onda de crecida y el volumen de agua que representa.

Es evidente que para cada punto del río, cuanto mayor sea el periodo que se considere, mayor será la avenida que puede producirse; por consiguiente no es correcto hablar del caudal máximo de avenidas, sino del caudal de avenida Q , correspondiente a un periodo de recurrencia o de retorno de T años. Podemos asociar a cada caudal de riada Q_r , un periodo de retorno de T años, definido por la condición de ser igual a $1/T$ la probabilidad de que en un año cualquiera, se presente una avenida igual o mayor que Q_r . Para determinar las avenidas que pueden presentarse en el río podemos utilizar:

- a) Datos de aforos en el río
- b) Datos de precipitaciones en la cuenca
- c) Datos de otras cuencas
- d) Formulas empíricas
- e) Datos de avenidas históricas.

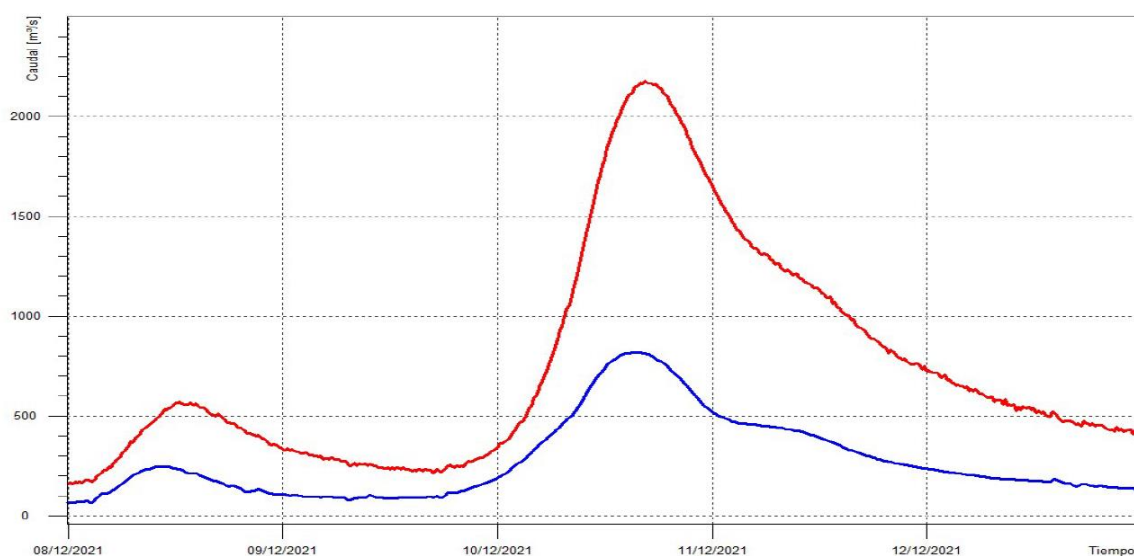


Fig. 71 Comparativa del caudal observado en el río Aragón en Sangüesa (azul) frente al caudal estimado que habría pasado por Sangüesa en régimen natural (sin tener en cuenta la laminación por la transmisión desde Itoiz hasta Sangüesa) (rojo).

Laminación real de la avenida del Aragón-Irati mediante los embalses de Yesa e Itoiz, en diciembre de 2021. El caudal punta se rebajó de 2.200 m³/s a 800 m³/s. La localidad de Sangüesa, donde se localiza la estación de aforos, se inunda con 900 m³/s.

8.- CANALES Y ACEQUIAS

El agua es en muchos países del mundo un elemento escaso, por lo que es indispensable su utilización racional.

Los canales y acequias permiten llevar el agua desde los embalses o ríos hasta los puntos de consumo. Para ello es necesario que las pérdidas a lo largo de su recorrido sean las mínimas posibles.

Los canales transportan el agua para diferentes usos como pueden ser abastecimiento de poblaciones, producción de energía eléctrica o riego entre otras.

El mayor consumo de agua es para el regadío. El porcentaje de pérdidas de agua por filtración en un canal bien revestido puede estimarse entre el 0,5 y el 1 % aunque puede variar dependiendo del tipo de revestimiento del canal y del estado en que se encuentre.

Otra forma de pérdida de agua en su transporte a lo largo del canal principal y su red acequias es la evaporación. Esta se puede estimar alrededor del 0,5 %.

Otra causa de pérdidas en los canales son los vertidos involuntarios por problemas de mala regulación en el manejo del canal.

Para evitar estas pérdidas se revisten los canales y acequias con diferentes materiales que impermeabilizan el canal en mayor o menor medida.

Hay un tipo de canales en los que el revestimiento está especialmente desaconsejado. Nos referimos a los canales de drenaje que tienen por finalidad no conducir agua desde un punto de alimentación a un centro de consumo (parcela de riego, central hidroeléctrica, abastecimiento a núcleo urbano, etc.), sino a los canales que tienen por finalidad recoger y conducir a un lugar de evacuación las aguas drenadas de terrenos regados o encharcados.

El revestimiento de un canal, tiene una triple finalidad, por una parte aumentar su capacidad, por otra impermeabilizar para evitar filtraciones, y por otra suprimir las posibles erosiones que produciría el agua debido a la velocidad excesiva.

Como cualquier infraestructura se trata de que su funcionamiento sea el correcto para atender las demandas para el que fue diseñado. Para ello es necesario evitar problemas como los indicados a continuación:

- 1) Corregir rápidamente las grandes filtraciones que pueden poner en peligro la estabilidad del canal, además de tener grandes pérdidas de agua.
- 2) Evitar desbordamientos del canal, bien por malas maniobras en su explotación o por aportaciones externas a lo largo de su recorrido, desde barrancos y regueros. Es necesario pasarlos por debajo del canal mediante tubos y obras de fábrica.
- 3) Es necesario anticiparnos a cualquier posible rotura del canal. Para ello debemos tener un correcto mantenimiento de todos los elementos electromecánicos y una vigilancia constante por parte del personal encargado de su explotación.

El funcionamiento adecuado de los canales requiere de la asunción de diversas prescripciones, de las que las más significativas son las siguientes:

- Debe evitarse pérdida de cota (expresada del modo: 0/0000, es decir, en diezmilésimas), con el fin de mantener la máxima altura posible de la lámina de agua.
- Debe disponerse un camino de servicio, lo que facilita de modo notable las labores de explotación.
- Debe estudiarse detalladamente el régimen de velocidades en la sección transversal. Se trata de un aspecto a contemplar en la fase de diseño de la obra.

- Debe definirse con especial cuidado la velocidad longitudinal (v). En la fase de diseño, asimismo, deberá contemplarse la velocidad longitudinal del fluido, siendo valores adecuados al respecto, los comprendidos entre 0,8 y 5 (m/s).
- Deben contemplarse las pérdidas de carga por cambios de sección, etc. Se trata de aspectos básicos a considerar en el diseño de conducciones de cualquier tipo.

Para determinar cuál es la sección óptima de estas conducciones, se emplea la fórmula de Manning, que relaciona velocidad, rugosidad, pendiente y radio hidráulico.

9.- TIPOLOGÍA DE CANALES

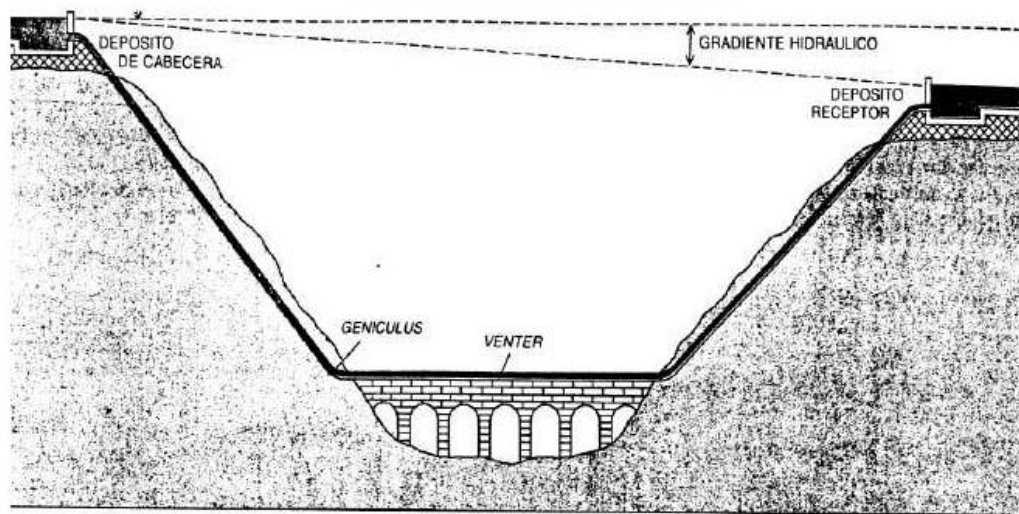
Entre las diferentes formas de clasificar los canales, cabe establecer criterios asociados a las diferentes tipologías existentes, siendo habitualmente reconocidas las siguientes clasificaciones:

- Según su régimen de funcionamiento.
- Según su sección transversal.
- Según su revestimiento.
 - a) El revestimiento más usado es el hormigón en masa ejecutado “in situ“. El espesor suele estar entre 10 y 15 cm. Presenta una muy buena impermeabilidad, siempre que no fisure por esfuerzos térmicos y por movimientos del terreno.
 - b) A veces se utiliza revestimientos de hormigón armado para evitar la fisuración.
 - c) También se utiliza el hormigón armado en placas prefabricadas que se colocan unas junto a otras.
 - d) Otro tipo de revestimiento es la mampostería (piedras gruesas rejuntadas con mortero de cemento).
 - e) En países con terrenos arcillosos se suelen usar ladrillos unidos con mortero para revestimientos de canales.
 - f) El hormigón bituminoso es otro de los revestimientos utilizados. Son similares a los firmes de carreteras y tienen como mayor ventaja sobre los revestimientos de hormigón en masa el que son más flexibles, lo que les permite soportar mejor las dilataciones y retracciones por cambios de temperatura y las flexiones debidas a asentamientos del terreno.
 - g) Existen membranas de diversos materiales plásticos o bituminosos que son todavía más flexibles, como son:
 - Policloruro de vinilo (PVC)
 - Polietileno de Alta Densidad (PEAD)
 - Butilo
 - a) Escolleras, son piedras de gran tamaño apoyadas unas en otras sin ningún conglomerante.
- Según su disposición con respecto al terreno.
- Según el uso para el que se destinen:
 - o Canales para riego
 - o Canales para aprovechamientos hidroeléctricos
 - o Canales para abastecimiento
 - o Canales de toma para industria
 - o Canales para navegación
 - o Canales de trasvases

10.- OBRAS SINGULARES EN CANALES

La gestión de los canales, requiere de la disposición de diferentes elementos especiales, pudiendo destacarse los siguientes:

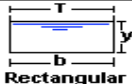
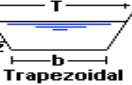
- Tomas; para la distribución de caudales.
- Transiciones; para la unión de tramos con diferente sección transversal
- Compuertas; para facilitar la gestión de paso y de toma de caudales.
- Acueductos, mediante los que se permite salvar descensos topográficos en el trazado.
- Sifones. Como en el caso de los acueductos, facilita salvar descensos topográficos en el trazado (cruzar barrancos de manera más económica que con acueductos, aunque con mayor pérdida de cota). A veces se combinan para salvar ríos, disminuyendo la longitud de acueducto necesaria.



- Túneles. Al contrario que en los casos anteriores, permiten salvar ascensos topográficos en el trazado.
- Aliviaderos; para facilitar el vertido de sobrantes.
- Desagües-Almenaras; para facilitar la salida del agua, en el caso de que se precise reducir los caudales de paso, derivándolos hacia barrancos o cursos de agua que cruza el canal. Muy necesarios para su seguridad en caso de fuertes lluvias o de roturas de tramos aguas abajo.
- Rápidas y saltos. Se trata de dispositivos que permiten perder altura en tramos cortos, adaptándose a la topografía del terreno.
- Aforadores. Son dispositivos que facilitan la medida de los caudales circulantes.
- Partidores. Se trata de elementos que permiten dividir caudales, con el fin de distribuirlos en direcciones diferentes.
- Rejillas y otros, mediante los que se evita evitar la entrada de sólidos no deseados, etc.

11.- SECCIONES TIPOS DE CANALES

Existen diversas secciones tipo de canales como se indica a continuación:

Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta-\text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1-\frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T+\frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Las secciones mejores, desde el punto de vista hidráulico, son la trapezoidal y la semicircular. La rectangular se usa en acueductos, en zonas rocosas o de grandes trincheras. Y la parabólica en acequias prefabricadas.

12.- TIPOS DE COMPUERTAS EN CANALES

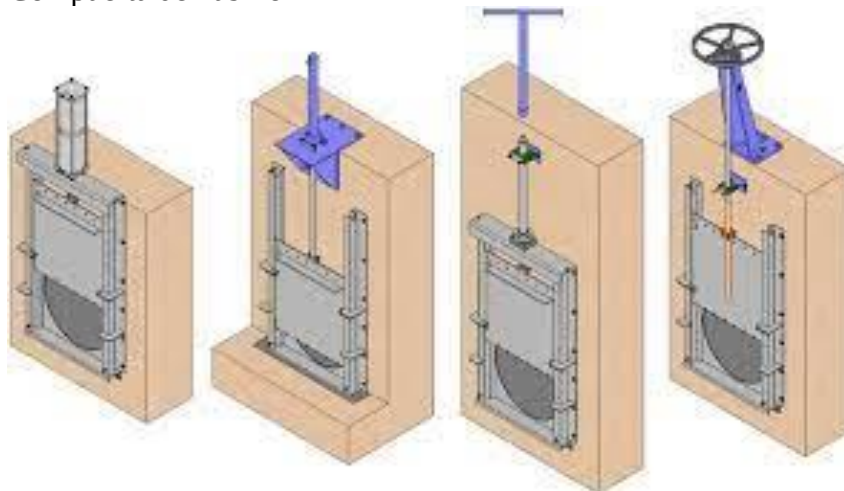
Las compuertas sirven para cortar o regular caudales de agua, y van situadas en zonas donde es necesaria esta operación, tales como tomas, derivaciones, transiciones, desagües o almenaras.

Los materiales más utilizados actualmente son de chapa con refuerzos de perfiles laminados y tratamientos anticorrosivos o de acero inoxidable o especiales de otros tipos, más resistentes a la corrosión.

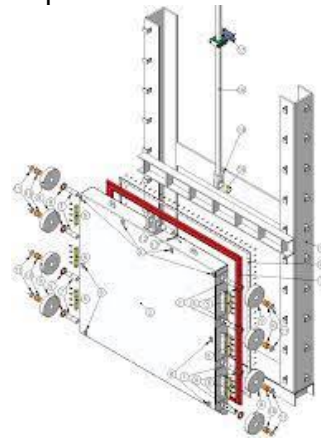
La impermeabilización se consigue con bandas de goma, bronce, PVC, teflón, elastómeros de otros tipos.

Los tipos de compuertas más comunes en canales son:

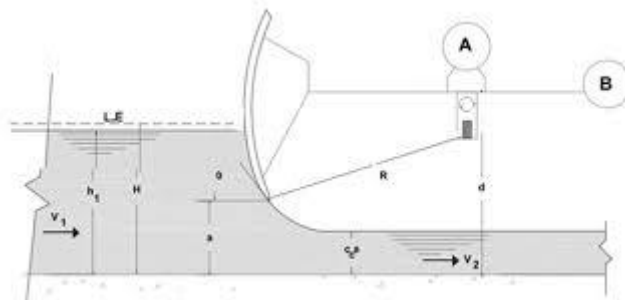
- Compuerta de husillo



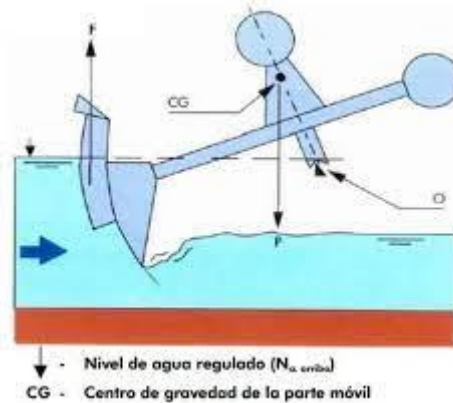
- b) Compuerta vagón sobre ruedas o rodillos
- c) Compuerta vagón con contrapeso



- d) Compuerta Taintor



- e) Compuerta de nivel constante aguas arriba



- f) Compuerta de nivel constante aguas abajo
- g) Compuerta de nivel de módulos de máscara (combinadas con las de nivel constante, dan un módulo o caudal de agua fijo, constante)

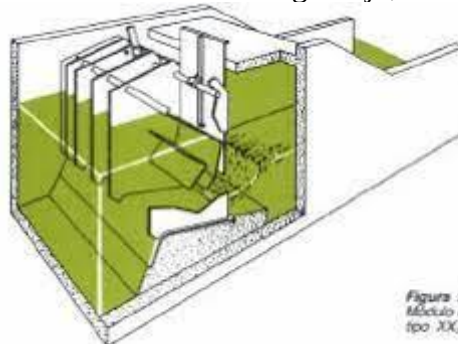


Figura 2
Módulo de 2 máscaras
tipo XX, 150

- h) Compuerta mural tipo clapeta

13.- CONTROL DE CAUDALES EN CANALES

Las mediciones de los caudales circulantes se hacen midiendo la velocidad del agua y la sección del canal o acequia.

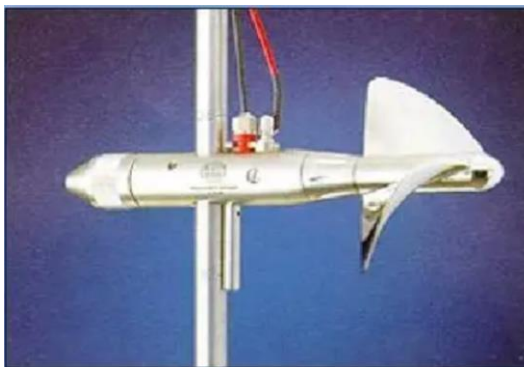
$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = S \text{ (m}^2\text{)} * V \text{ (m/s)} \quad (1)$$

Existen diferentes métodos para medir caudales, entre los que cabe destacar:

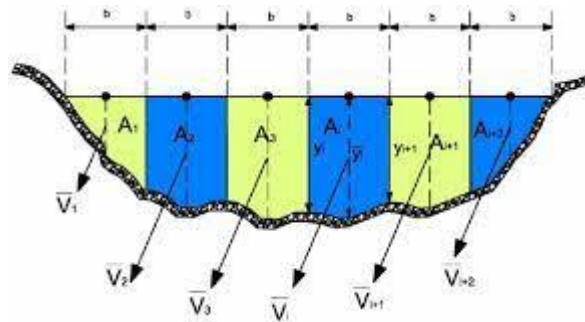
- a) Molinetes
- b) Parshall
- c) Tiempo de tránsito
- d) Efecto Doppler

a) Molinetes.

Son instrumentos para medir la velocidad del agua mediante la proporcionalidad de la velocidad del agua y la velocidad angular del rotor del molinete. Para ello se divide en secciones más pequeñas la sección considerada y se mide con el molinete la velocidad media de cada subsección, calculamos el caudal en cada sección según la fórmula ⁽¹⁾ y sumamos los caudales obtenidos para cada sección obteniendo así el caudal circulante.



El molinete mide la velocidad del agua en el punto en que se coloca



El molinete se sumerge en distintos puntos de la sección transversal y se promedia la velocidad del agua en esa sección

b) Parshall.

El método consiste en crear un estrechamiento de la sección y un levantamiento del fondo del canal. Mediante una fórmula matemática:

$$Q = C \times (Ha)^n$$

Q = caudal

Ha = calado en un punto determinado del canal

C y n = coeficientes dependientes de las dimensiones del canal

El nivel se puede medir mediante una escala o con ultrasonidos.



c) Tiempo de tránsito.

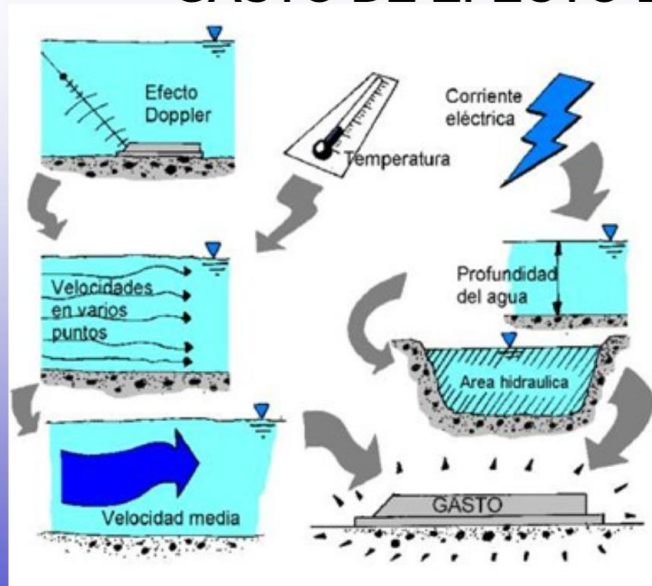
Los caudalímetros de tiempo de tránsito miden el tiempo requerido para que una señal ultrasónica se transmita desde un sensor situado aguas arriba, atraviese una sección diagonalmente y sea recibida por un segundo sensor situado aguas abajo y viceversa. Conocida la velocidad y la sección obtenemos el caudal circulante.

d) Efecto Doppler.

La tecnología de medición de caudal Doppler se basa en el principio de que las ondas de sonido volverán al transmisor a una frecuencia alterada si los reflectores en el líquido están en movimiento.

El principio de funcionamiento del caudalímetro Doppler, se basa en una relación lineal entre este cambio de frecuencia y la velocidad del fluido.

PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DEL MEDIDOR DE GASTO DE EFECTO DOPPLER



El funcionamiento del medidor de efecto doppler es un proceso bastante complicado. El medidor calcula el gasto en función de dos variables principales: el área hidráulica y la velocidad media. Sin embargo, cada una de esas variables tampoco se miden directamente; más bien, se miden otras variables físicas. El proceso completo se observa en la figura. En este esquema las flechas representan fórmulas que se aplican para obtener cada variable subsecuente.