

Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua 2007/2008

Módulo: abastecimiento y saneamiento urbano

eoí

ÓRGANOS DE CIERRE Y AISLAMIENTO – I

COMPUERTAS EN ALIVIADEROS Y CANALES

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



Índice

1. INTRODUCCIÓN	3
2. COMPUERTAS DE TABLERO VERTICAL	4
2.1. <i>COMPUERTAS DESLIZANTES</i>	4
2.2. <i>COMPUERTAS VAGÓN</i>	6
3. COMPUERTAS DE SEGMENTO O TAINTOR.	8
4. OTRAS COMPUERTAS	10
4.1. <i>COMPUERTAS STONEY</i>	10
4.2. <i>COMPUERTAS DE SECTOR</i>	11
4.3. <i>COMPUERTAS DE EJE VERTICAL</i>	12
5. COMPUERTAS AUTOMÁTICAS	13
5.1. <i>COMPUERTAS BASCULANTES O CLAPETAS</i>	13
5.2. <i>MÓDULOS</i>	14
6. RESUMEN DE EMPLEO.....	15
7. REGULACIÓN INICIAL DEL CANAL.....	15
8. COMPUERTAS EN LOS CANALES	17
8.1. <i>PARTICULARIDADES</i>	17
8.2. <i>MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN</i>	18

1. INTRODUCCIÓN

El agua retenida en un embalse puede ser utilizada para los fines previstos (riegos, producción de energía eléctrica, etc.) en cuyo caso se desviarán del mismo mediante unos órganos de desagüe para explotación denominados tomas. El agua sobrante se restituye al río mediante los aliviaderos o desagües. En ambos casos se precisan elementos para regular los caudales (con la excepción de los caudales vertidos por el aliviadero) dichos elementos son las válvulas y las compuertas. El tema se centrará en los elementos para cierre y regulación de estos caudales.

La diferencia entre válvulas y compuertas estriba en la situación de los elementos móviles de cierre. Si estos se encuentran a lámina libre (sin presión) son compuertas mientras que si dichos elementos soportan una presión superior a la atmosférica (y por lo tanto van situadas en un recinto cerrado), a estos elementos de cierre que tienen un cuerpo envolvente cerrado, en el interior del cual hay otro móvil, que por un movimiento de traslación o de giro permite variar el caudal del chorro de agua que sale, hasta anularlo en el cierre total, se les denomina válvulas. Tanto las válvulas como las compuertas deben tener un desagüe lo más regular posible en apertura total y en aperturas parciales.

Como punto de partida se recuerda que la misión del aliviadero es eliminar, sin perjuicios, los excedentes entre caudales aportados y caudales consumidos.

Por otra parte, ya se han comentado las ventajas de disponer de una serie de elementos de control, de cara al aumento del caudal regulado; no obstante, se plantea el peligro de que una apertura de compuertas accidental cree un peligro aguas abajo. Por ello la Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas estipula que el máximo caudal controlable (el que se evacua abriendo compuertas con el embalse en nivel máximo) no será mayor que la avenida cuyo período de recurrencia sea de 50 años.

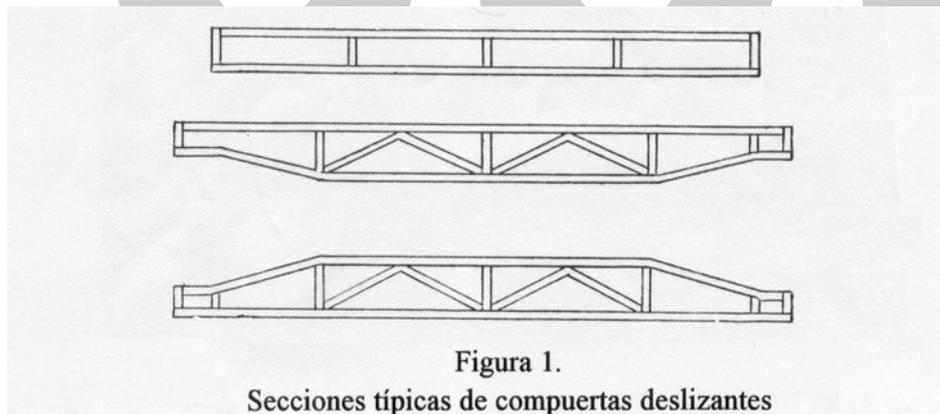
La elección de compuerta es dato de partida en el proyecto del aliviadero, ya que en función del tipo debe dimensionarse la forma y proporciones para que no se produzcan presiones negativas, con peligro de cavitaciones y deterioro del hormigón.

A continuación se analizarán los diferentes modelos de compuertas en aliviaderos, indicando las ventajas e inconvenientes de cada tipo así como sus dimensiones. En los últimos capítulos se señalarán las particularidades de las compuertas instaladas en canales.

2. COMPUERTAS DE TABLERO VERTICAL

2.1. COMPUERTAS DESLIZANTES

Constituyen el sistema más sencillo de compuertas de tablero y se emplean generalmente en pequeños vanos y con poca altura de agua, para lo que son muy recomendables debido a su sencillez, robusta construcción y fácil conservación. Son tableros planos, cuyos bordes deslizan por su propio peso entre unos carriles verticales que les sirven de guía en la elevación, y al mismo tiempo de impermeabilización lateral. (Figura 1).

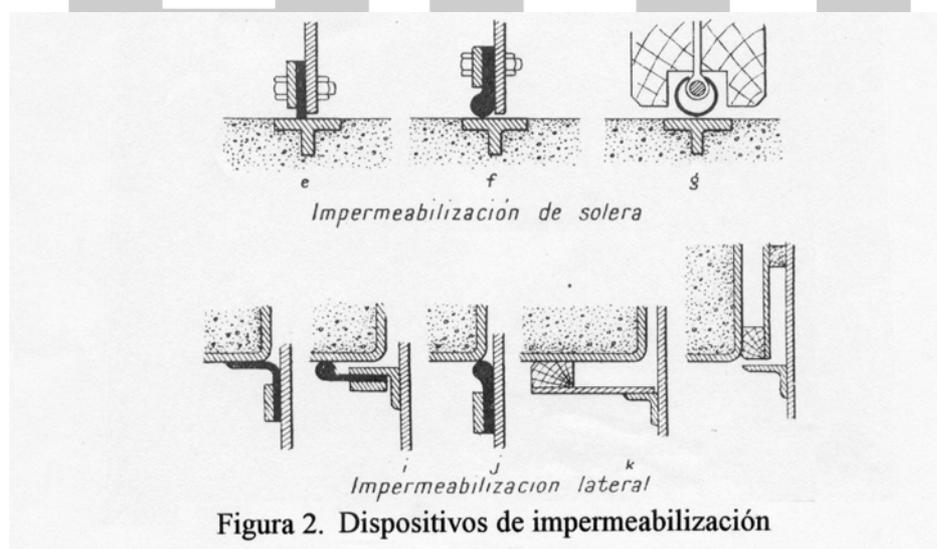


El cierre con este sistema es bueno y conveniente, su manejo en cambio presenta más problemas al estar limitado porque la resistencia al deslizamiento aumenta con la luz del vano a cubrir y con la altura del agua ya que el empuje horizontal del agua provoca compresiones contra los carriles que dificultan las maniobras.

La influencia de este rozamiento con respecto al peso propio del tablero es tan grande, que en la elección del mecanismo de elevación se deben descartar normalmente los cables y cadenas y prever únicamente elementos rígidos de transmisión (cremallera, vástago, husillo, etc.)

A pesar de que precisan un mecanismo muy potente, se emplea este tipo de compuerta en sitios en los que se quiere tener una garantía muy grande en el funcionamiento, ya que, al calcular el mecanismo se prevén fácilmente todas las resistencias que se puedan presentar, no existiendo por lo tanto prácticamente ninguna resistencia complementaria o inesperada.

La impermeabilización de la solera se consigue, sencillamente, situando en el borde inferior de la compuerta un tablón que se apoya sobre el umbral liso del vano. (Figura 2).



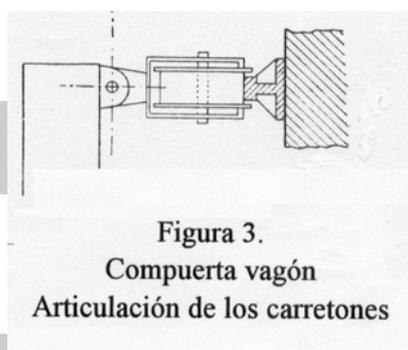
Modernamente, en éste y en casi todos los tipos de compuerta, es frecuente emplear para la impermeabilización lateral tiras de goma en forma de "nota de música", sujetas a la compuerta, que por su elasticidad y la presión del agua se aplican contra superficies metálicas perfectamente lisas fijadas a las pilas, consiguiéndose una estanqueidad perfecta.

Este tipo se emplea ante todo en pequeños vanos y poca altura de agua, como

en las compuertas en canales, principalmente para cierre de entradas de las turbinas, esclusas, etc., donde el aumento de coste del mecanismo no tiene gran importancia respecto al trastorno que se puede ocasionar por una falta de buen funcionamiento.

2.2. COMPUERTAS VAGÓN

Por las razones antes indicadas, se prefiere proyectar tableros con grandes ruedas fijas al tablero provistas de rodamientos. (Figura 3).



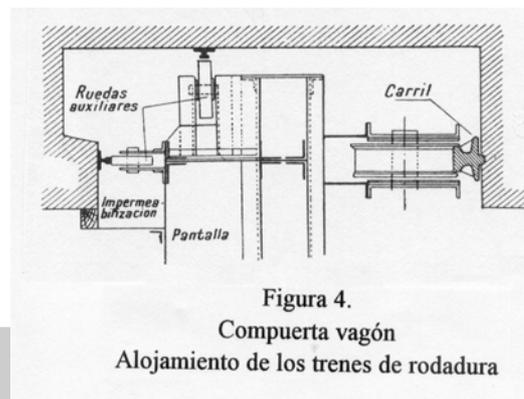
En los casos en que es necesario disponer más de dos ruedas en cada costado de la compuerta, como existiría indeterminación de esfuerzos si se fijasen sus ejes directamente a la compuerta, cada dos ruedas forman un carretón o bogie, en cuyo punto medio se aplica la carga transmitida por la viga de costado de la compuerta, así los esfuerzos están determinados estáticamente.

Debido a la flexión de las vigas principales, en las compuertas de gran luz la superficie de rodadura de la rueda quedaría inclinada respecto a la del carril, reduciéndose la superficie de contacto, para evitar lo cual se dispone una articulación o rótula entre el tablero y las ruedas. No hay que temer, por tanto, deformaciones horizontales de la compuerta por las sobrecargas correspondientes a las ruedas

Durante la elevación de las compuertas de tablero se puede producir:

1. Vibraciones que tiendan a proyectarla hacia agua arriba.
2. Recorridos desiguales que pudieran acodalarla.
3. Cuando está elevada, empuje del viento en sentido contrario al del agua.

Todo lo anterior obliga a disponer ruedas-guía agua arriba de la compuerta y lateralmente, que se apoyan sobre carriles empotrados en las ranuras de las pilas. (Figura 4).



Estas compuertas exigen ranuras de desplazamiento de dimensiones bastante amplias, lo que representa un inconveniente desde el punto de vista hidráulico. Para garantizar la alineación y verticalidad perfecta de los carriles-guía y de rodadura, evitando que sufran desplazamientos en el hormigonado, conviene que se efectúe primeramente el hormigonado grueso de las pilas, dejando huecos en los que posteriormente se fijarán y asentarán los carriles.

La impermeabilidad es peor que la de las compuertas deslizantes y empeora con el tiempo. Estas compuertas no son apropiadas para regulación, únicamente se emplean con bajas cargas de agua, debiendo añadirse aire en el lado de aguas abajo para disminuir los efectos de la depresión.

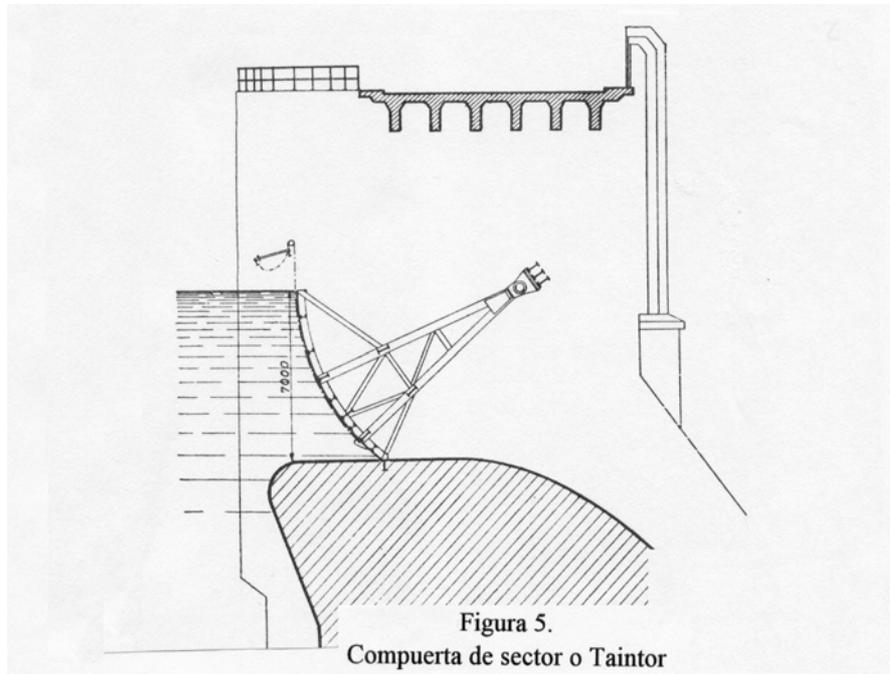
Las compuertas vagón pueden ser accionadas por cabrestantes mecánicos, y más frecuentemente, en las de grandes dimensiones, por mecanismos con cadena, con la ventaja de (si se une la cadena a la parte inferior del tablero) poder situar los mecanismos a la altura de la coronación de la presa evitándose pilas demasiado elevadas, lo que supone una ventaja económica y mejora notablemente, desde el punto de vista estético, el aspecto de la presa.

En compuertas de grandes dimensiones existe por ello tendencia al empleo de

compuertas de tipo vagón. Con compuertas de este tipo se pueden prever fácilmente cierres de vanos de unos 40 m. de luz y alturas hasta unos 20 m.

3. COMPUERTAS DE SEGMENTO O TAINTOR.

El deseo de que la elevación del tablero de compuerta fuese independiente de las resistencias de rodadura o deslizamiento, hizo pensar al Ingeniero TAINTOR en su sistema, haciendo los tableros giratorios alrededor de un eje fijo. (Figura 5).



Las compuertas consisten en una estructura metálica que, en conjunto, tiene la forma de un sector de cilindro recto, con generatrices horizontales, apoyando la generatriz inferior en el umbral mientras que la superior forma la coronación de la compuerta.

La superficie cilíndrica constituye el paramento en contacto con el agua, y consiste en un revestimiento de plancha metálica.

La característica de estas compuertas (y en ella estriba su diferencia con las de sector propiamente dichas) es que el eje de giro del sector queda por encima del



nivel de agua abajo; es decir, que el desagüe se verifica por debajo del eje, el cual nunca queda inundado.

La resultante de la presión hidráulica pasa por el eje de giro, produciendo un momento nulo, de esta forma, para la elevación de la compuerta teóricamente no se necesita ningún esfuerzo debido a esta causa, y solamente hay que vencer la resistencia de rozamiento de las impermeabilizaciones contra las pilas y las de los ejes con sus cojinetes de apoyo.

Se ha indicado que los ejes de las compuertas deben quedar por encima de la máxima lámina vertiente, otros parámetros de diseño son:

- La altura del eje sobre el umbral es superior a la mitad de la altura de la compuerta.
- El radio de la compuerta suele ser del orden de 1,25 veces la altura.

La principal ventaja de este tipo está en la eliminación durante la elevación de los esfuerzos debidos a la presión del agua, lo que permite la reducción del mecanismo de elevación que suele ser la parte más costosa de una compuerta. Además, el gran brazo de palanca con que actúa éste hace que los esfuerzos de rozamiento de los ejes sean mínimos.

Otra ventaja es que el perfil hidrodinámico resulta favorable por pasar todas las resultantes de los cambios de presión sobre el tablero por el eje de giro, no influyendo en el equilibrio existente y suprimiendo toda clase de vibración, que en otros tipos suele aparecer.

Tienen el inconveniente sobre las compuertas deslizantes de que exigen en planta un espacio bastante mayor; pero, en cambio, permite reducir la altura de las pilas necesarias en aquéllas, ofreciendo un aspecto general de la presa más moderno. No presenta ninguna dificultad constructiva la absorción de los esfuerzos en las rótulas de apoyo, aunque las dimensiones del vano sean muy grandes. Este tipo suele

tener generalmente ventajas económicas sobre los demás. Con este tipo de compuertas se han alcanzado luces de 26 m. y alturas de compuerta de 11 m.

Para reducir los esfuerzos de elevación de la compuerta, en algunos casos se han prolongado los brazos disponiendo un contrapeso (Figura 6) lo que permite reducir los mecanismos, con el inconveniente de quedar la compuerta más expuesta a no poderse maniobrar si hay que vencer algún esfuerzo adicional imprevisto.

Corrientemente las compuertas Taintor se levantan para desaguar (que el agua pasa entre la abertura que queda entre el umbral fijo y el borde inferior de la compuerta). Pero en algunos casos (Figura 7) las compuertas se bajan para el paso del agua, volcando ésta por encima de su borde superior, por el hueco que queda entre éste y el dintel de la abertura.

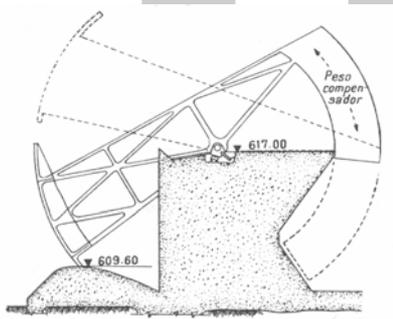


Figura 6.
Compuerta taintor con contrapeso

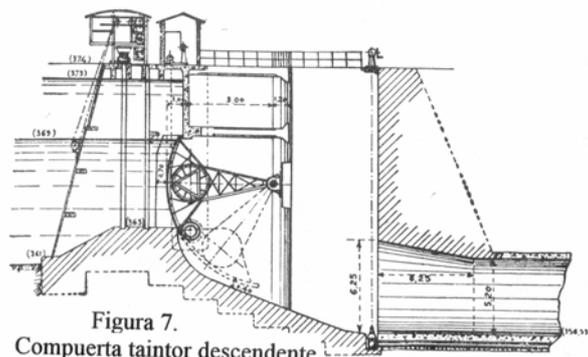


Figura 7.
Compuerta taintor descendente

4. OTRAS COMPUERTAS

4.1. COMPUERTAS STONEY

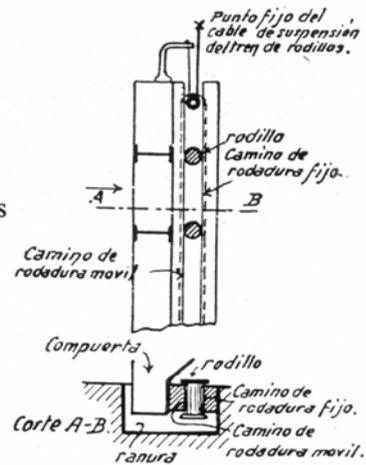
Para disminuir las resistencias al desplazamiento que resultan muy elevadas en grandes compuertas, STONEY ideó una disposición de carretes o trenes de rodillos especiales, que se denominan "carretes Stoney". Esencialmente consisten en tableros metálicos que se elevan por medio de cables o cadenas.

La diferencia con las compuertas vagón es que los mecanismos de rodadura que evitan la fricción entre tablero y carriles van en trenes de rodadura independien-

tes mientras que en las compuertas vagón estos mecanismos se sitúan con ejes unidos al tablero. Las compuertas Stoney han perdido importancia frente a las compuertas vagón

La compuerta (Figura 8) lleva en cada borde vertical un camino de rodadura que se apoya sobre el tren de rodillos, y éstos ruedan sobre otro camino de rodadura fijo en las ranuras del estribo. Como se puede deducir, el tren de rodillos se desplaza verticalmente la mitad del recorrido de la compuerta, desplazamiento que corresponde a la rodadura perfecta de la compuerta sobre el tren.

Figura 8.
Compuerta Stoney
Apoyo y suspensión del tren de rodillos



4.2. COMPUERTAS DE SECTOR

Están formadas por un cajón metálico o de hormigón armado en forma de sector circular o triángulo curvilíneo, articulado en el vértice opuesto al arco de círculo. Sobre este vértice puede girar abatiéndose y quedando alojada en una cámara practicada en la zona inferior, dando así paso al agua sobre ella. (Figura 9).

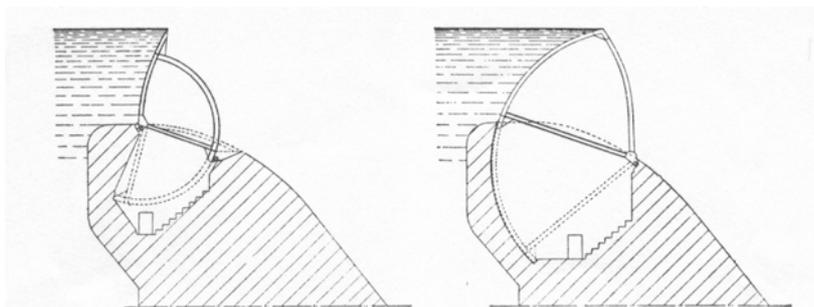


Figura 9. Compuertas de sector Tipo americano y europeo

El movimiento de estas compuertas puede ser mediante medios mecánicos o por flotación sobre la cámara inferior; así, al entrar agua en la misma sube la compuerta y dando salida a este agua baja la compuerta. Estas compuertas admiten grandes longitudes (hasta 54 m.) y cargas de agua hasta 8 m.

El eje de giro puede situarse en el lado de aguas abajo, disposición muy empleada en Europa o con el eje aguas arriba y el paramento superior curvo, sistema muy empleado en Estados Unidos. Actualmente, tanto en uno como en otro tipo, el accionamiento de la mayor parte de estas compuertas se automatiza sin dificultad.

El tipo americano tiene un mejor coeficiente de desagüe por lo que precisa menos espacio, además puede darse una curvatura tal que se adapte al perfil Creager por lo que encajan perfectamente sobre el vertedero. El principal inconveniente proviene de que la ménsula que soporta el eje debe ser fuertemente armada para que no se produzcan flexiones que dificulten el giro de la compuerta.

4.3 COMPUERTAS DE EJE VERTICAL

Este tipo de cierres (Figura 10) es muy frecuente en esclusas de canales de navegación, si bien su empleo no está generalizado en compuertas de aliviaderos. Su principal ventaja es permitir fácilmente la evacuación de hielos y otros cuerpos flotantes. Las dimensiones normales son de hasta 7 m. de luz y 4 de altura.

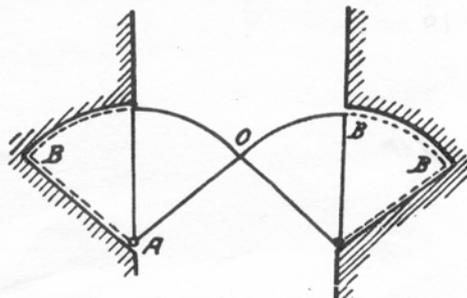


Figura 10.
Compuerta de eje vertical (planta)

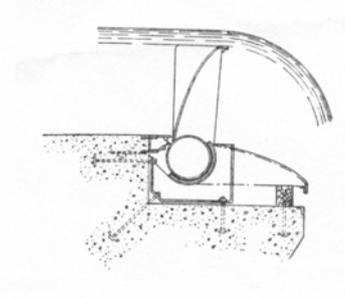


Figura 11.
Compuerta basculante

5. COMPUERTAS AUTOMÁTICAS

5.1. COMPUERTAS BASCULANTES O CLAPETAS

Las compuertas basculantes están formadas por un tablero articulado en su arista de agua arriba, que puede abatirse, dando paso al agua. (Figura 11). La principal aplicación de las compuertas basculantes es como alzas automáticas, cerrando vanos de no mucha altura limitados por pilas laterales.

El número de variedades que entran dentro de este tipo es enorme. Estas variedades se pueden agrupar en dos clases:

- Clapetas en las que la elevación se efectúa mecánicamente. Se pueden dividir en dos tipos: Clapetas sin contrapeso y clapetas con contrapeso. (Figura 12).
- Clapetas cuya elevación se efectúa por medio de la misma presión de agua. (Figura 13).

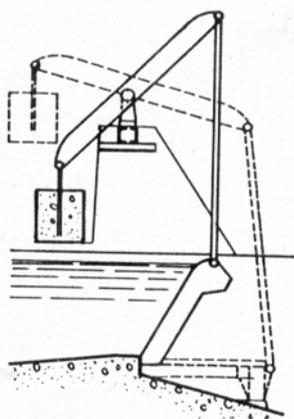


Figura 12.
Clapeta con contrapeso

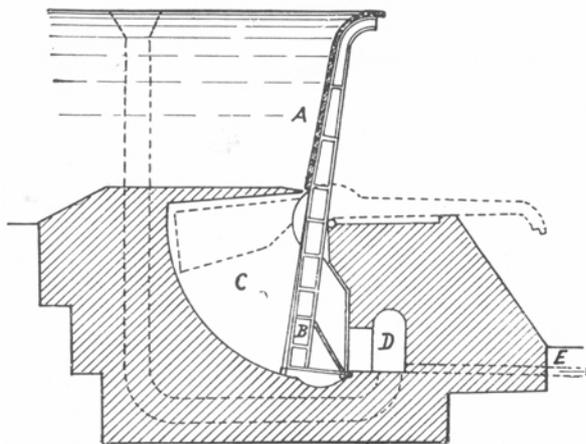


Figura 13.
Compuerta automática de accionamiento hidráulico

Las clapetas sin contrapeso están muy indicadas en aquellos casos de poca altura de agua y gran luz de vano. Las clapetas con contrapeso se instalan casi siempre con accionamiento automático. La exactitud del automatismo depende de varias causas, pero principalmente del conocimiento de la presión en las distintas posiciones de la clapeta. Como esta presión varía entre ciertos límites, según la forma y posición,

una vez conocida dicha presión en las distintas posiciones, se puede obtener la curva de momento de giro en las mismas, que es muy importante para dimensionar convenientemente la clapeta y su contrapeso.

La combinación de la forma de la compuerta, la variación del punto de apoyo del balancín y la posibilidad del cambio de la longitud del brazo de palanca de la parte de contrapeso permiten que en cada posición de la compuerta, como consecuencia del aumento de caudal vertiente, se equilibren los momentos de contrapeso, del peso del agua sobre la compuerta y del propio de ésta con respecto al eje de giro.

Las alzas automáticas son también usadas en aliviaderos de canales y cámaras de carga y en los azudes como aliviadero auxiliar para evacuar cuerpos flotantes y regular el caudal evacuado.

5.2. MÓDULOS

Los módulos (Figura 14) pueden garantizar la constancia del caudal bien en el canal principal o bien en la derivación.

- En el primer caso la utilidad se presenta cuando interesa que no descienda el nivel del agua en el canal por quedar entonces la lámina por debajo de los terrenos que a regar.
- En el segundo caso se puede realizar la salida del agua por una abertura regulada mediante compuerta que mantiene constante el nivel en un punto aguas abajo, pudiendo variarse dicho nivel mediante un contrapeso.

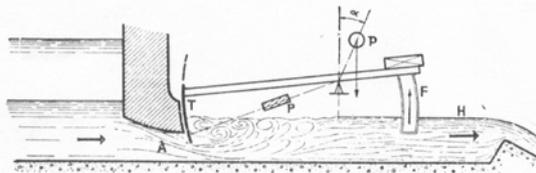


Figura 14.
Módulo de caudal constante



6. RESUMEN DE EMPLEO.

Las compuertas vagón están especialmente dispuestas para cerrar vanos de gran superficie. Económicamente, la solución de compuertas de este tipo no está en condiciones desfavorables con respecto a otras soluciones. Los mecanismos de elevación de gran potencia, que se precisan en algunos casos, pueden reducirse con el empleo de compuertas de doble tablero.

En las últimas construcciones se instalan básicamente compuertas vagón y de segmento y no son muy empleadas las compuertas automáticas y de sector.

En las presas de compuertas de tableros verticales era antes necesario que se proyectara un puente de servicio, bien para colocar sobre él el mecanismo o para unir mecánicamente las dos mitades del mismo, si éstas están colocadas sobre las pilas. Con la solución de eje eléctrico de unión entre los mecanismos con doble motor ya no es imprescindible dicho puente, y hay casos en que solamente se prevé acceso a las casetas independientemente.

Las compuertas de un solo tablero necesitan al comienzo de la maniobra grandes esfuerzos, por lo que hay que proyectar los mecanismos robustos y con motores de gran potencia, debido a la suma de resistencias que se oponen a la elevación.

7. REGULACIÓN INICIAL DEL CANAL

En el tema relativo a obras en canales se indicaba que el canal se inicia partiendo de una conducción en carga mediante los correspondientes elementos de regulación o directamente desde una presa de derivación.

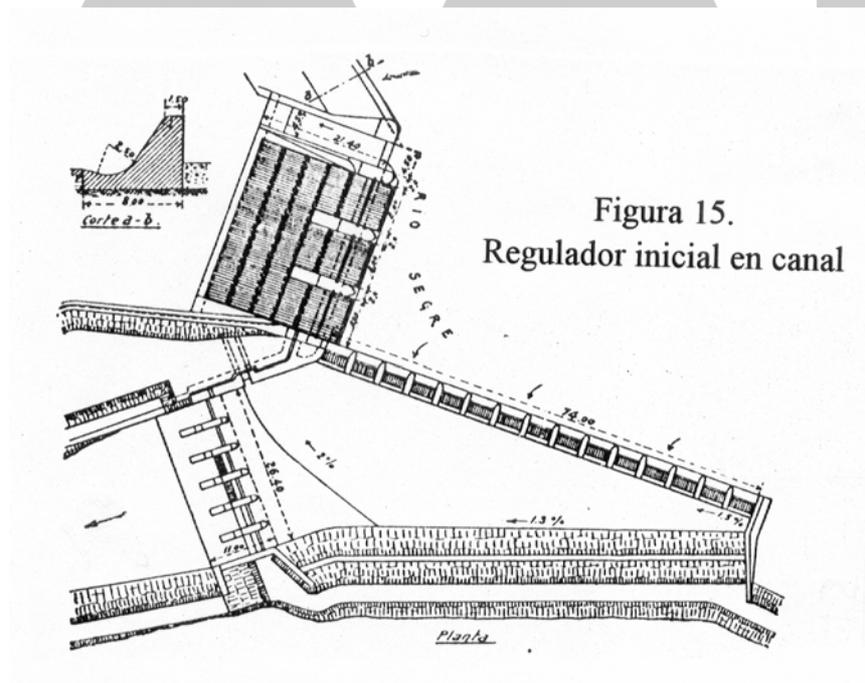
En el primer caso la regulación se efectúa mediante las válvulas de toma cuyos modelos y problemática se analizarán en otro capítulo. En el segundo caso nos encontramos con las siguientes características típicas para la regulación.

- Carga de agua poco elevada.

- Variación de carga importante.
- Fuerte influencia del caudal demandado en la carga de agua.

En la mayoría de estos casos, la regulación inicial del canal se efectúa mediante compuertas. Los tipos de compuertas son semejantes a los de un aliviadero en presa, si bien hay algunas características específicas como es el empleo de los reguladores.

El regulador (Figura 15) es una estructura de fábrica con compuertas elevables o abatibles, adecuadamente dispuesta para que las maniobras se efectúen con seguridad y rapidez.



Con esta construcción se le da al canal el caudal que precise; así, cuando hay riadas se disminuye la sección de paso del regulador con el fin de evitar sobreelevaciones de nivel o cuando se precisa alguna reparación, el regulador permite dejar en canal en seco.

Los reguladores se clasifican en dos tipos:

1. De admisión superior. En ellos el agua pasa al canal vertiendo sobre el borde superior de la compuerta.
2. De admisión inferior. En ellos, el agua entra entre el borde inferior de la compuerta y el umbral de apoyo.

Los reguladores de admisión superior, de operación más delicada, se emplean en puntos con muchas salidas en suspensión, permiten tomar el agua de las capas superiores que son más claras. Los reguladores se dimensionan para velocidad de entrada entre 0,8 y 1,2 m/s.

8. COMPUERTAS EN LOS CANALES

8.1. PARTICULARIDADES

La principal característica de las compuertas que sirven para regulación de agua en los canales es que están sometidas a escasa carga de agua.

En los canales, la compuerta a veces va acompañada de otra auxiliar, de menor tamaño, que se instala en la misma principal (Figura 16) o en un conducto inmediato de menor sección que el vano que cierra aquélla.

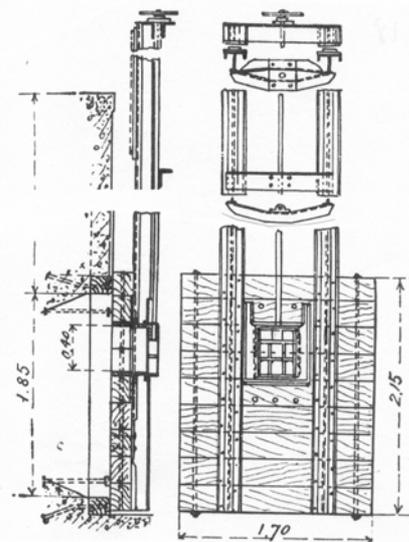


Figura 16 Compuerta auxiliar en la principal

Esta compuerta auxiliar puede tener dos fines:

- Establecer agua abajo de la principal la misma presión que agua arriba, y equilibradas así las presiones en las dos caras, elevar la compuerta principal con escaso esfuerzo de tracción. Como la auxiliar es muy pequeña, exige poco esfuerzo para abrirla.
- Llenar el canal con bajo caudal circulante, evitando así las turbulencias que en un salto grande se producirían al abrir completamente la compuerta principal con tal fin.

8.2. MATERIALES Y CONSTRUCCIÓN.

Compuertas de madera. Se emplean para luces inferiores a 5 m (Figura 17). Para luces superiores, los tableros se alabearían y no se conseguiría suficiente impermeabilidad. Los tablones que forman el tablero se colocan uno sobre otro, uniéndose a ranura y lengüeta, o con pletinas de hierro que entran en ranuras practicadas en los tablones contiguos. Los tablones se unen, además, con guarniciones de hierro, que solidarizan el conjunto. Las guarniciones de hierro sirven también como puentes de unión de los tableros con las disposiciones para la elevación de éstos. El espesor de los tableros es superior a 10 cm.

Para profundidades superiores a 3 m. se divide a veces el tablero en dos partes, que se mueven sobre el mismo plano vertical (tableros superpuestos) en este caso el superior puede considerarse como compuerta auxiliar. (Figura 18).

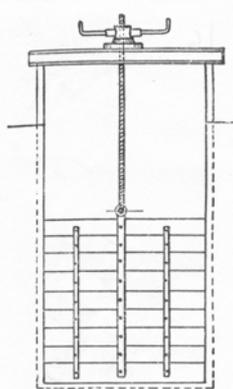


Figura 17. Compuerta de madera

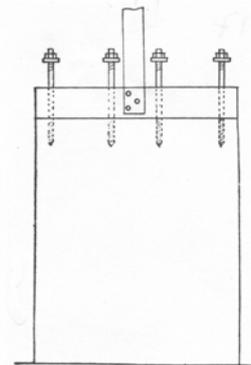


Figura 18. Tablero superior sirviendo de compuerta auxiliar

Para mejorar la impermeabilización del apoyo del tablero conviene crear un umbral más resistente y liso, empotrando un hierro en T o en U. La impermeabilización lateral se consigue con el simple apoyo de los bordes del tablero sobre pletinas de hierro empotradas en las ranuras o revistiendo los bordes del tablero con pletinas de hierro o hierro en ángulo.

Compuertas de hierro. Las compuertas pequeñas se hacen de acero fundido. No son recomendables las de hierro fundido, por su escasa resistencia a los choques, lo que puede ocasionar roturas y a veces problemas para extraer los fragmentos.

En esencia, estos tableros están formados por un entramado metálico, hecho con hierros perfilados, que transmite la presión que recibe a las ranuras de las pilas o estribos en que se alojan (Figura 19). En dicho entramado los nervios horizontales refieren su esfuerzo a dos nervios verticales colocados en los bordes. La impermeabilidad del tablero mismo se consigue recubriéndolo de chapa.

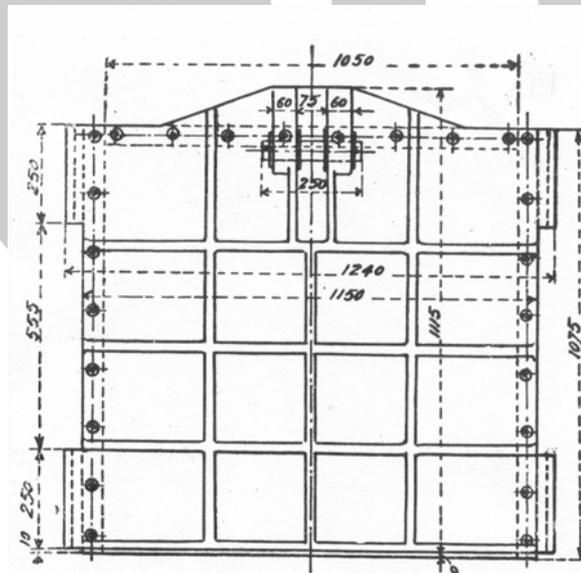


Figura 19.
Modelo de compuerta de fundición

La repartición de los nervios horizontales se suele hacer de modo que todos soporten igual presión, y así la distancia entre ellos va disminuyendo de arriba abajo.



Cuando, al sustituir compuertas de madera, las dimensiones de las compuertas dan secciones que no están dentro de las comerciales, se acude al hierro laminado.

eoi