
2. ESTRUCTURAS TRADICIONALES.

Las estructuras que se utilizan para manejar, controlar y distribuir correctamente el agua de riego, hasta los sitios de entrega a las parcelas, pueden clasificarse de la siguiente manera: Estructuras de Control –Represas– y estructuras Aforadoras. En los siguientes subcapítulos describiremos cada una de ellas.

2.1. Estructuras de Control (Represas).

Son estructuras que se proyectan y construyen con el fin, tanto de controlar los caudales, como de mantener los niveles de agua necesarios para facilitar su derivación a otros canales o bien, a las tomas que queden localizadas aguas arriba de la represa.

Se deberá tener presente al proyectar las represas, que éstas deberán llevar siempre unos cartones laterales con el fin de que en un momento dado puedan desalojar el gasto excedente que proviene del canal debido a una sobreelevación en éste; la altura de estos cartones deberá ser igual al tirante normal del canal. Los cartones serán de concreto con refuerzo por temperatura.

En cuanto al diseño hidráulico de la represa, se considera que su área hidráulica oscile entre el 90 % y el 110 % del área hidráulica del canal, con el fin de conservar la velocidad del canal.

Clasificación de las represas:

Las represas pueden funcionar permitiendo el paso del agua por la parte superior, como en el caso de las agujas, o bien por la parte inferior como son las compuertas radiales deslizantes.

2.1.1. Agujas.

Son por lo general piezas de madera de buena calidad y de espesor suficiente para soportar el empuje del agua.

El tamaño de estas agujas queda limitado por su peso, de manera que sean fácilmente manejables por dos personas y sus aplicaciones más frecuentes son las estructuras provisionales y como complemento a los sistemas de compuertas, sean radiales o deslizantes, para cuando se tenga que operar estando las compuertas principales en mantenimiento o reparación.

2.1.2. Compuertas Deslizantes.

En una forma general las compuertas deslizantes consisten en marcos rígidos compuestos por ángulos, a través de los cuales deslizan placas metálicas mediante un vástago o tornillo y un mecanismo elevador.

El empleo de este tipo de compuertas depende fundamentalmente del tirante de diseño, pudiendo decir que, de acuerdo con la experiencia obtenida, ha resultado económica su construcción hasta tirantes de 1.50 m

2.1.3. Compuertas Radiales.

Las compuertas radiales tienen como particularidad proporcionar un control más exacto y rápido del caudal, su diseño se basa en placas metálicas circulares apoyadas en armaduras cuyo centro de rotación se encuentra anclado sobre ménsulas empotradas en las pilas y en los muros.

El levantamiento de estas compuertas se realiza mediante malacates que pueden ser operados con mecanismos manuales o bien eléctricos, la elección de una u otra forma depende de varios factores entre ellos los económicos, sin embargo tomando como base el peso de las mismas, el empleo de mecanismos manuales queda limitado a una capacidad de carga de 3000 kg. incluyendo el peso propio más la componente vertical debido al empuje; siendo recomendables los mecanismos eléctricos de esta capacidad en adelante.

En cuanto a su empleo relacionado con el tirante de diseño de un canal, se ha visto la conveniencia de instalarlos en represas cuyo tirante sea mayor de 2.00 m quedando una zona de transición para tirantes comprendidos entre 1.50 m y 2.00 m en la cual la elección entre un sistema de compuertas deslizantes y uno de los radiales se basa principalmente en estudios económicos. No obstante, puede ser

que, la necesidad de uniformizar el sistema, la conveniencia de electrificarlo, o bien por tratarse de un canal principal, se decida por las compuertas radiales.

2.2. Estructuras Aforadoras.

La Comisión Nacional del Agua (C.N.A.), tiene desde 1966 el propósito de modificar el sistema de cobro del servicio de riego que se da a los usuarios, ya que el antiguo sistema, o sea, cobro por hectáreas regadas, da motivo a que los agricultores desperdicien gran parte del volumen de agua que se les proporciona a nivel parcelario, a pesar del asesoramiento técnico del Departamento de Ingeniería de Riego y Drenaje.

La modificación trae consigo la tarea de construir un gran número de estructuras aforadoras a nivel del usuario en cada Distrito de Riego, así como también la construcción de estructuras de aforo en los canales para la mejor operación de los mismos.

La idea principal de la C.N.A. está orientada a diseñar y a adoptar una estructura aforadora que instalada en la gran variedad de canales existentes en los Distritos de Riego funcione con buen grado de exactitud en la medición del gasto, y segundo, a diseñar un dispositivo que funcione como módulo que absorba las variaciones de los niveles de la superficie libre del agua en los canales, descargando un gasto más o menos constante, dentro de los límites aceptados por la Administración de los Distritos de Riego.

De acuerdo a su funcionamiento, las estructuras aforadoras pueden dividirse en tres grupos, a saber:

2.2.1. Estructuras que funcionan a régimen crítico.

2.2.2. Estructuras que funcionan por medio de un resalto.

2.2.3. Estructuras que funcionan como orificio.

2.2.1. Estructuras que funcionan a régimen crítico.

Dentro de este grupo de estructuras podemos mencionar toda la gama de vertedores, tanto de cresta ancha, como de cresta delgada. Consiste en una escotadura a través del canal de la cual se hace circular el agua.

Se describen a continuación las estructuras principales pertenecientes a este grupo:

2.2.1.1. Estructura aforadora tipo Guamuchil.

Consiste en un vertedor de cresta delgada construido en la sección transversal a la corriente, y a través del cual se hace circular el agua para su aforo. El gasto que pasa esta en función de la longitud de cresta del vertedor y de la carga "H" sobre la cresta medida en una escala colocada a una distancia tal que el abatimiento del nivel de agua no influya en la lectura. Su nombre se debe a su uso en el Distrito de Riego de la Comunidad de Guamuchil, Sinaloa.

El uso de este aforador permite medir gastos de 0 a 500 lts./seg. y las fórmulas utilizadas son las siguientes:

Cuando existen contracciones $Q = 1.84 (L - 0.2H) H^{3/2}$ (2.2.1.1.)

Cuando no existen contracciones $Q = 1.84 LH^{3/2}$ (2.2.1.2.)

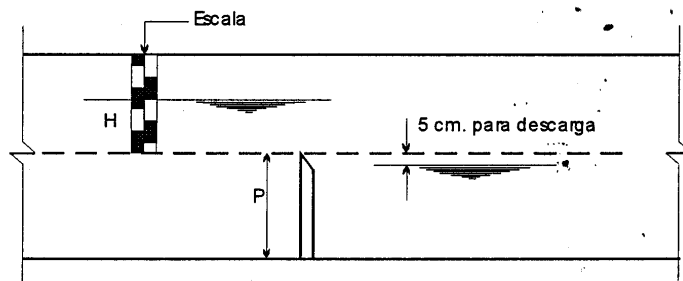
Donde :

Q = Gasto en lts./seg.

L = Longitud de la cresta en centímetros.

H = Carga sobre el vertedor en centímetros.

Figura No. 2.2.1.



Para el correcto funcionamiento del medidor deben cumplirse los siguientes requisitos:

1. La carga sobre la cresta del vertedor debe ser suficiente para el gasto requerido.
2. Debe procurarse que la velocidad de llegada del agua sea poco considerable, y que no se formen demasiadas turbulencias. Esto se resuelve colocando cierta distancia del vertedor una pantalla.
3. La regadera aguas abajo debe diseñarse de manera que el chorro no se ahogue.
4. El chorro debe tener suficiente ventilación.

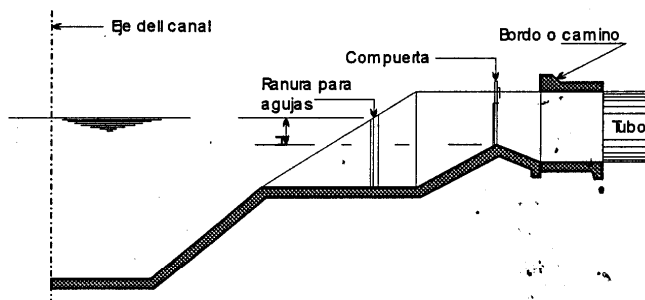
Como ventaja de este tipo de estructura se tiene su fácil calibración y operación. La desventaja que presenta estriba en el hecho de que azolva fácilmente y después de azolvada da mediciones incorrectas.

2.2.1.2. Estructura aforadora de Agujas.

La estructura aforadora de agujas y tablonas comúnmente construidos con madera, se utiliza generalmente para medir por superficie el agua, y también es usada como estructura auxiliar para el mantenimiento de otras estructuras. Debido a que es una estructura muy rudimentaria, la medición del agua es muy inexacta lo que ocasiona que esté en desuso como aforadora y solamente se utilice como estructura auxiliar.

2.2.1.3. Estructura aforadora tipo Celaya.

Figura No. 2.2.1.3



La aforadora tipo "Celaya" es un vertedor de Cresta ancha, el cual requiere para su correcto funcionamiento que el canal de conducción lleve el gasto normal, o sea, que esté siempre lleno. Este tipo de estructura puede considerarse dentro del grupo de las aforadoras combinadas, ya que pueden trabajar a cresta libre como vertedor, o bien, como orificio mediante la colocación de una compuerta deslizante sobre el vertedor.

Los gastos aforados pueden ser hasta de 300 lts./seg. teniendo poco rango de variabilidad en la medición y su uso se recomienda en aquellos casos en que el hecho de tener lleno el canal no constituya un serio inconveniente.

A fin de que no se produzca ahogamiento en el vertedor, la regadera aguas abajo debe tener el diseño adecuado. Este tipo de estructura requiere menos carga que la aforadora tipo "Guamuchil".

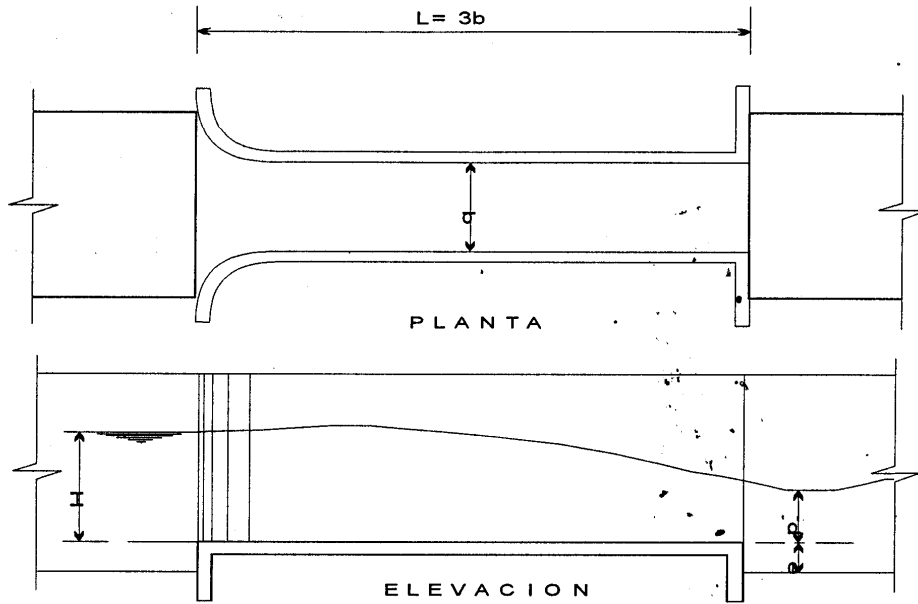
2.2.2. Estructuras aforadoras que funcionan por medio de un resalto.

Se forman por medio de una reducción de la corriente, aumentando la velocidad de la misma y presentándose el régimen crítico; al salir del agua de la sección reducida, la velocidad disminuye produciéndose un resalto hidráulico. Se describen dos tipos de aforadoras pertenecientes a este grupo:

2.2.2.1. Estructura aforadora tipo Venturi.

Esta estructura consiste en un estrechamiento practicado en la sección transversal de la corriente, capaz de provocar la formación del tirante crítico de la misma. El estrechamiento es de sección rectangular, formado por dos paredes laterales de longitud igual a tres veces el ancho del estrechamiento. Su parte inicial se forma con un segmento de círculo y las paredes terminan con un ensanchamiento brusco para empotrarse en los taludes de la regadera o canal.

Figura No. 2.2.2.1



Dependiendo de sus dimensiones la estructura afora gastos desde 5 lts./seg. hasta 200 lts./seg.

En los ensayos realizados con este tipo de estructuras se observó que permite grandes variaciones en el nivel del agua después del estrechamiento, sin que se altere la descarga ni la elevación del agua en el canal aguas arriba.

El límite del funcionamiento de la estructura hasta donde la descarga puede considerarse libre para diferentes gastos es la relación $d/H = 0.70$; el significado de las literales aparece en la figura 2.2.2.1.

El hecho de que este aforador permita un ahogamiento tan grande sin alterar el valor del gasto es de gran utilidad, principalmente en los Distritos de Riego muy planos, donde los canales tienen pendientes muy bajas y no admiten la instalación de estructuras que provoquen fuertes pérdidas de carga. Para canales o regaderas con pendiente muy pequeña, es probable que el porcentaje de ahogamiento sea mayor que 0.70, en cuyo caso la curva de gastos calculada se alterará. Para reducir el valor de d/H por debajo de 0.70, debe construirse el aforador sobre un escalón colocado en la plantilla con una longitud igual a la del aforador y cuya altura "e" sea igual a la diferencia ($d - 0.70 H$).

La estructura puede hacerse trabajar como regulador de gasto constante, sin importar las variaciones del nivel de agua en el canal aguas arriba, mediante la colocación de una pantalla móvil al final del estrechamiento. Por medio de esta pantalla se logra que el escurrimiento o superficie libre cambie a escurrimiento a través de un orificio en cuanto la superficie libre del agua toque el labio inferior de la pantalla. Se tiene entonces una ventaja adicional, ya que, por ser móvil la pantalla. Puede utilizarse como compuerta y obstruir completamente el paso del agua. La mejor posición de la pantalla se fijó a $0.50b$ del extremo aguas abajo del estrechamiento.

Las ventajas que presenta la estructura descrita son:

- a) Se dispone de un aforador de gran exactitud cuando funciona a superficie libre.
- b) Se tiene un módulo de gasto constante cuando trabaja como orificio.
- c) Es muy sencilla de construirse y calcularse.
- d) Soporta grandes ahogamientos que no alteran sus curvas de gastos. (El ahogamiento máximo como aforador es de $0.70H$, y como orificio de $0.50H$).
- e) No influye el ancho del canal en que está colocada siempre y cuando éste sea mayor de tres veces el estrechamiento del medidor.
- f) La rugosidad de las paredes de la estructura no afecta la descarga dentro del rango probado: $(0.00001 \text{ m} < \varepsilon < 0.002 \text{ m})$

Como desventaja se tienen:

- a) El rango de gastos es muy reducido.
- b) Si se represa el agua en la regadera, se ahoga con facilidad.

2.2.2.2. Medidor Parshall.

El problema de contar con un dispositivo de aforo cuya precisión fuese tan buena como la de un vertedor pero donde no se tuviera problema de azolves; fue resuelto por el Ingeniero **Ralph L. Parshall**. Parshall en Estados Unidos, quien ideó algunas

modificaciones para el medidor Venturi, mejorándolo y dando lugar a una estructura aforadora que lleva su nombre.

El medidor consta de tres partes fundamentales que son: la entrada, formada por dos paredes verticales simétricas y convergentes, y de una plantilla horizontal; la garganta que está formada por dos paredes verticales y paralelas, con la plantilla ligeramente inclinada hacia arriba. La arista formada por la unión de las plantillas de la entrada y de la garganta se llama "Cresta del Medidor", y a su longitud, o sea, la distancia entre las paredes de la garganta se llama "Tamaño del Medidor" (W).

La estructura tiene dos pozos amortiguadores para medir las cargas "Ha" y "Hb" antes y después de la cresta, colocados en los lados de la estructura y comunicados a ella por tubería que se conecta a puntos bien definidos de la entrada y la garganta. Si el medidor trabaja por sumersión, es necesario medir las dos cargas; si trabaja a descarga libre, basta medir únicamente la carga Ha para calcular el gasto.

A la relación Hb/Ha se le llama Grado de Sumersión y es la que determina si algún medidor trabaja con descarga libre o con sumersión. Es de recomendarse que un medidor trabaje con descarga libre, porque entonces para calcular el gasto, será suficiente conocer solamente el valor de Ha y sustituirlo en la expresión general.

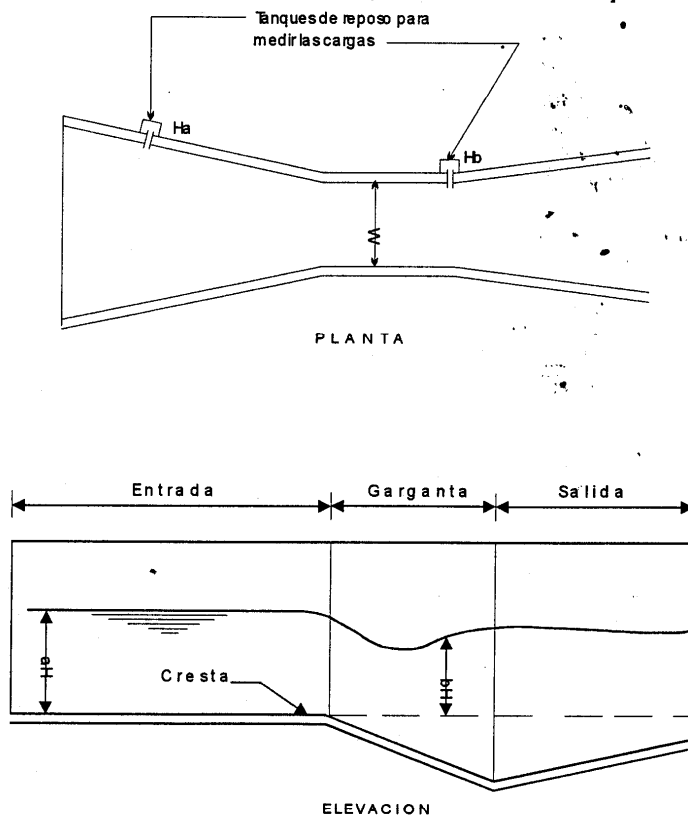
$$Q = m H^n \dots\dots\dots (2.2.2.2.)$$

En donde m y n varían con el tamaño del medidor.

Para un medidor con tamaño W entre 0.30 y 2.50 m, se produce una descarga libre sí $H_b/H_a < 0.70$.

Para un medidor con tamaño W entre 2.50 y 15.00 m, se produce una descarga libre sí $H_b/H_a < 0.80$

Figura No. 2.2.2.2



El diseño de un medidor Parshall consiste en comparar la relación de un par de valores; el tamaño de un medidor y la pérdida de carga ocasionada probando diversos tamaños, escogiendo el que presente mayores ventajas.

Los gastos aforados alcanzan valores hasta de $85 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y se tienen las siguientes ventajas en el uso de un medidor Parshall:

- 1) El diseño es simple y su construcción es relativamente barata, sobre todo si se construye en combinación con caídas.
- 2) La estructura trabaja bien, aún teniendo variación de gastos, y el error en la medición no pasa de 5% cuando el medidor trabaja ahogado, y de 3% cuando trabaja con descarga libre.
- 3) La velocidad de llegada no influye prácticamente en la determinación del gasto.
- 4) Se tiene pocas pérdidas en comparación con las que se originan en otras estructuras de aforo.
- 5) No se tiene problema de azolve, ya que el aumento de la velocidad mantiene a la estructura libre de obstrucciones.

2.2.3. Estructuras que funcionan como orificio.

En este tipo de estructuras el agua fluye a través de una sección de control, operada por medio de una compuerta que permita regular la carga "H" con que trabaja el orificio.

2.2.3.1. Estructura aforadora tipo Mayo.

Consiste en una sección de control, construida en la sección transversal de la regadera, donde se instala una compuerta deslizante para provocar que trabaje como orificio ahogado determinando el gasto que pasa de acuerdo con la carga existente, la cual se mide en las escalas colocadas, y de abertura de la compuerta.

La velocidad de llegada en la estructura debe ser despreciable a fin de cuantificar correctamente los gastos. La precisión en el aforo depende de la correcta determinación de las cargas, y solamente se logra lo anterior contando con una persona con suficiente experiencia como aforador. Otro inconveniente que presenta este tipo de estructura es que el usuario puede abrirla o cerrarla a su arbitrio, excepto cuando se coloca un candado.

En caso de trabajar como vertedor, requiere de una carga que muchas veces no se puede proporcionar; el ahogamiento debe evitarse y la ventilación del chorro debe ser buena para que la medición sea correcta.

2.2.3.2. Estructura aforadora de Carga Constante.

Consiste en una caja construida a la entrada de la bocatoma, en la cual se colocan dos compuertas: una controla el paso del agua del canal a la caja y se denomina "compuerta anterior", la otra llamada "compuerta posterior", controla el paso del agua de la caja a la tubería o conducto que la conduce al canal o a la regadera.

Este tipo de estructura permite medir gastos hasta de 2000 lts./seg. Con objeto de medir los niveles agua dentro y fuera de la caja se colocan dos escalas: una aguas arriba de la compuerta anterior y la otra aguas abajo de la misma, dentro de la caja.

La operación de la estructura consiste en lo siguiente: estando ambas compuertas cerradas, se abre la compuerta anterior una abertura tal que pueda proporcionar el gasto necesario; teniendo la compuerta anterior la abertura adecuada, se abre la compuerta posterior hasta que la diferencia de las lecturas en las escalas sea igual a la pérdida de la carga neta necesaria "h" para proporcionar el gasto necesario. Esta pérdida de carga debe mantenerse durante la operación de la estructura y es de 6 cm para gastos hasta de 500 lts./seg. y de 10 cm para gastos mayores.

Las ventajas que presenta la estructura aforadora de carga constante son las siguientes:

- 1) Se requiere poca carga para su operación.
- 2) Tiene poco rango de variabilidad de gastos.
- 3) Las pérdidas de carga en la estructura son pocas.

Como desventajas se pueden mencionar las siguientes:

- 1) La afectan las condiciones de entrada y salida así como las propias dimensiones de la caja.
- 2) La compuerta anterior debe tener un 80% de ahogamiento.
- 3) El régimen en el canal se debe mantener sin muchas fluctuaciones.

Estructuras que funcionan en forma combinada.

Dentro de este grupo podemos enclavar algunas de las aforadoras antes descritas (aforadora tipo "Celaya", "Venturi", "Mayo"). Las cuales son muy utilizadas en los Distritos de Riego del país.