

ESTRUCTURAS HIDRAULICAS

INTRODUCCIÓN

En el recorrido de un canal, pueden presentarse diversos accidentes y obstáculos como son: Depresiones del terreno, Quebradas secas, Fallas, Cursos del agua, necesidad de cruzar vías de comunicación (carreteras, vías férreas u otro canal).

La solución mediante estructuras hidráulicas es: Acueductos, Sifón, Diques.

En el caso del cruce de un canal con una vía de comunicación dependerá de la importancia de la vía de comunicación como del tamaño del canal, para elegir si es preferible pasar el canal encima de la vía o por debajo de ella, en el primer caso la solución será un acueducto, en el segundo caso se optara por un sifón invertido o un conducto cubierto.

Igualmente en el caso de depresiones naturales será necesario analizar las diferentes alternativas enunciadas y decidir por la estructura más conveniente.

Si la depresión fuera ancha y profunda y no se angostase hacia aguas arriba, podría no ser factible un acueducto, pero si un sifón invertido. En algunos será necesario analizar alternativas de conducto cubierto alcantarilla o sifón.

Los canales que se diseñan en tramos de pendiente fuerte resultan con velocidades de flujo muy altas que superan muchas veces las máximas admisibles para los materiales que se utilizan frecuentemente en su construcción.

Para controlar las velocidades en tramos de alta pendiente se pueden utilizar combinaciones de rampas y escalones, siguiendo las variaciones del terreno.

Uno de los aspectos que generalmente merece especial atención en el diseño de obras hidráulicas de montaña es la disipación de la energía cinética que adquiere un chorro líquido por el incremento de la velocidad de flujo. Esta situación se presenta en vertederos de excedencias, estructuras de caída, desfuegos de fondo, salidas de alcantarillas, etc.

OBRAS DE ARTE

Las obras de arte llamadas también estructuras secundarias, constituyen el complemento para el buen funcionamiento de un proyecto hidráulico.

Este tipo de estructuras se diseñan teniendo en cuenta las siguientes consideraciones.

- Según la función que desempeñan
- Según su ubicación
- De acorde a la seguridad contemplada en el proyecto a realizar
- El riesgo como factor preponderante ante una probable falla y el impacto que ello cause.

CLASIFICACIÓN:

Se clasifican según la función que van a desempeñar en el proyecto:

Estructuras para cruzar depresiones

- Acueductos
- Sifones

Estructuras para salvar desniveles

- Caídas
- Rápidas

Estructuras para control de gasto

- Vertederos
- Medidores Parshall

Estructuras para distribución de gasto

- Tomas laterales
- Partidores

Estructuras de seguridad

- Puente Canal o Canoas
- Alcantarillas

1. ESTRUCTURAS DE CRUCE

Son las obras mediante las cuales es posible cruzar un canal con cualquier obstáculo (una vía de ferrocarril, un camino, un río, un dren, una depresión o sobre elevación natural o artificial del terreno) que se encuentra a su paso.

Para salvar el obstáculo, se debe recurrir a una estructura de cruce que puede ser:

- Acueducto
- Alcantarilla
- Sifón
- Túnel

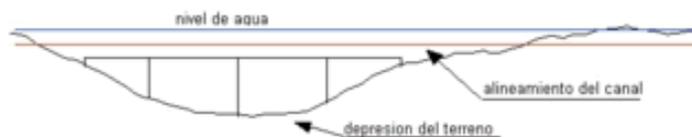
La decisión que se debe tomar sobre cual de las estructuras es mejor en un caso determinado depende de consideraciones de tipo económico y de seguridad.

ACUEDUCTOS

GENERALIDADES

1. Concepto

El acueducto es un conducto, que fluye como canal encima de un puente diseñado, para resistir la carga de agua y su propio peso para atravesar una vía de transporte o para cruzar una depresión o curso de agua no muy profundo. Es una construcción para la conducción de agua a fin de salvar un desnivel.



El alineamiento del canal no se modifica y se conservan los diseños de la sección transversal y de la pendiente.

2. Finalidad de un Acueducto

La finalidad de un acueducto es pasar agua de un canal de riego por encima de otro canal de riego, un dren o una depresión en el terreno. Por lo general se usa construcciones de concreto armado para este fin. En el caso de cruce con vías de transporte se usara acueductos cuando la rasante de la vía permita una altura libre para le paso de los vehículos de transporte. En caso de cruce de quebradas el puente debe tener suficiente altura para dejar pasar el acueducto las máximas avenidas en el cauce que cruza. Igualmente si el puente tiene varios pilares, producirá remansamientos y socavaciones que conviene tenerlas en cuenta.

3. Ventajas y Desventajas de un Acueducto

La principal ventaja de un acueducto es que al cruzar el canal o dren, no obstaculiza el flujo libre del agua a través de ellos. La desventaja es que su construcción interrumpe durante un periodo considerable al riego, lo que hace necesario desvíos correspondientes. Además el acueducto es una solución cara ya que se diseña como puente y los apoyos de este deben calcularse teniendo en cuenta todas las cargas y asegurar que soporten todos los esfuerzos de la superestructura. En el caso que se optara por un acueducto con varios conductos circulares, en los extremos será necesario proyectar tanques o cámaras para mejorar su funcionamiento. Deberá verificarse si no hay otra solución más barata como por ejemplo una alcantarilla en el canal o dren por cruzarse, cuando el caudal de este último lo permite.

CRITERIOS HIDRÁULICOS

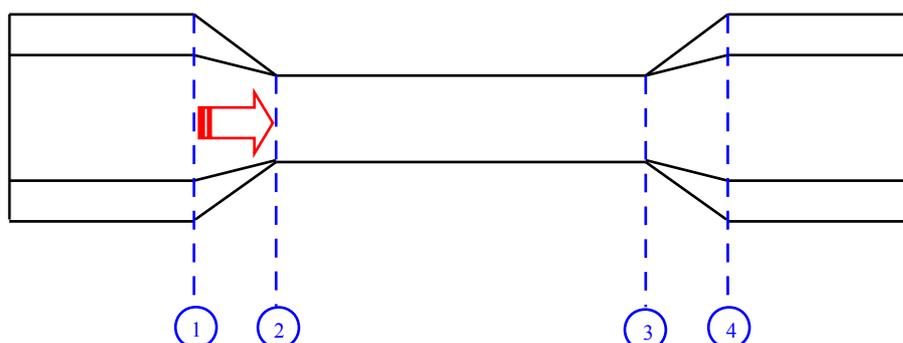
El diseño hidráulico de un acueducto se hace antes del diseño estructural. Para el diseño hidráulico de esta estructura es suficiente cambiar la sección de canal por un canal de sección rectangular y para disminuir su sección aumentar la pendiente hidráulica. Con este objeto después de diseñar la sección más conveniente del acueducto se determina las transiciones de entrada y salida para empalmar la sección del canal con la sección del acueducto y respectivamente a la salida.

La información mínima para el diseño hidráulico consiste de:

- Las características hidráulicas del canal de riego.
- Las elevaciones del fondo del canal de riego, tanto aguas arriba como aguas debajo de la estructura.

En cuanto a la ubicación del acueducto debe asegurarse que el flujo de agua hacia la estructura sea lo más uniforme posible, orientar y alinear el acueducto de tal forma que no sea obstáculo ni para el canal que pasa por el ni para el canal que cruza.

Un acueducto se diseña para las condiciones del flujo subcrítico (aunque también se puede diseñar para flujo supercrítico), por lo que el acueducto representa una singularidad en el perfil longitudinal del canal, que crea efectos hacia aguas arriba.



Esquema de la vista en planta de un puente canal

Por lo anterior en la sección 4 de la figura, se tienen las condiciones reales, siendo su tirante real de flujo el correspondiente al Y_n del canal, por lo que esta sección representa una sección de control.

La ubicación de una sección de control, resulta importante para definir el sentido de los cálculos hidráulicos, en este caso, desde la sección 4 aguas abajo, hacia la sección 1 aguas arriba. Cabe recalcar que para el caso de un diseño en flujo supercrítico, el acueducto sería una singularidad que crea efectos hacia aguas abajo, por lo que la sección de control estará en la sección 1, y los cálculos se efectuarían desde 1 hacia aguas abajo, hacia la sección 4.

En el diseño hidráulico del acueducto se puede distinguir las siguientes componentes:

- La transición aguas arriba y abajo del acueducto.
- El tramo elevado.

1. La Transición

La transición aguas arriba y abajo del acueducto debe producir en cambio gradual de la velocidad del agua en el canal mismo, hacia el tramo elevado, cambiando también la sección trapezoidal del canal rectangular si está fuera el caso. En cuanto más alta sea la velocidad del agua en el canal, más importante sería disponer de una buena transición.

La longitud de la transición se puede calcular, aplicando el criterio presentado en el libro "Hidráulica de Canales Abiertos" de VEN TECHOW, que da el ángulo máximo para la línea que conecta el muro lateral de la estructura con el talud del canal, fijándolo en 12.5° :

$$L = [(B_s / 2) + z h - (B / 2)] / \text{tang. } 12^\circ 30' \quad (1)$$

Donde:

- L = Longitud de la transición (m)
- B = Ancho del acueducto (m)
- B_s = Ancho del fondo del canal (m)
- Z = Talud del canal
- H = Altura total del canal (m)

Para un canal de sección rectangular se puede determinar la longitud de la transición con la ecuación:

$$L = (B_s / B) / \text{tang. } 12^\circ 30' \quad (2)$$

Donde:

- L = Longitud de la transición (m)
- B = Ancho del acueducto (m)

$$B_s = \text{Ancho del fondo del canal (m)}$$

1.1. La Entrada

Por lo general las velocidades del agua son más altas en el acueducto que en el canal, resultando en una aceleración del flujo en la transición de entrada y una disminución del pelo de agua en una altura suficiente para producir el incremento de la velocidad necesario y para superar las pérdidas de cargas por fricción y transición. Cuando se desprecia la pérdida de agua por fricción, que generalmente es mínima, se puede calcular esta disminución (Δy) del pelo de agua con la ecuación:

$$\Delta y = (\Delta h_v + C_I \Delta h_v) = (1 + C_I) \Delta h_v \quad (3)$$

Donde:

- Δy = Disminución del pelo de agua (m)
- Δh_v = Diferencia en la carga de velocidad (m)
- C_I = Coeficiente de pérdida en la entrada (Ver cuadro 1)
- $\Delta h_v = (V_2^2 - v_1^2) / 2g$
- V_1 = Velocidad del agua en el canal aguas arriba (m/s)
- V_2 = Velocidad del agua en el acueducto (m/s)

La elevación A1 en el inicio de la transición de entrada, coincide con la elevación del fondo del canal en esta progresiva. La elevación B1 la final de la transición de entrada, o el inicio del acueducto, se determina según la expresión:

$$\text{Cota B} = \text{Cota A} + Y_1 - (Y_2 + \Delta y) \quad (4)$$

Donde:

- y_1 = Tirante de agua en el canal aguas arriba (m)
- Y_2 = Tirante de agua en el acueducto (m)
- Δy = Disminución del pelo de agua (m)

1.2. La Salida

Para estructuras de salida, la velocidad se reduce, por lo menos en parte, a los efectos de elevar la superficie del agua. Esta elevación en la superficie del agua, conocida como la recuperación de la altura de velocidad está normalmente acompañada por una pérdida de conversión, conocida como la pérdida de salida. El incremento (Δy) de la superficie del agua para estructuras de salida se puede expresar como:

$$\Delta y = \Delta h_v + C_o \Delta h_v = (1 + C_o) \Delta h_v \quad (5)$$

Donde:

- Δy = Incremento del pelo de agua (m)

- Δh_v = Diferencia de la carga de velocidad (m)
 C_o = Coeficiente de pérdida de la salida (ver cuadro 1)
 Δh_y = $(V^2_2 - V^2_3) / 2g$
 V_2 = Velocidad del agua en el acueducto (m/seg.)
 V_3 = Velocidad del agua en el canal aguas abajo (m/seg.)

La velocidad C , en el inicio de la transición de salida, coincide con la elevación del fondo final del acueducto. La elevación D , al final de la transición de salida, o el inicio del canal aguas abajo del acueducto, se determina según:

$$\text{Cota } D = \text{Cota } C - [Y_3 - (Y_2 + \Delta y)] \quad (6)$$

Donde:

- Y_3 = Tirante de agua en el canal aguas abajo (m)
 Y_2 = Tirante de agua en el acueducto (m)
 Δy = Incremento de la superficie del agua (m)

Los coeficientes recomendados de C_I y C_o para usar en los cálculos se dan en el siguiente cuadro 1:

Cuadro 1: Coeficiente C_I y C_o Recomendados

TIPO DE TRANSICIÓN	C_I	C_o
Curvado	0.10	0.20
Cuadrante cilíndrico	0.15	0.25
Simplificado en línea recta	0.20	0.20
Línea recta	0.30	0.50
Entremos cuadrados	0.30	0.75

1.3. Borde Libre

El borde libre para la transición en la parte adyacente al canal, debe ser igual al bordo del revestimiento del canal en el caso de un canal en el caso de un canal revestido, en el caso de un canal en tierra el borde libre de la transición será.

- 0.15 m, para tirantes de agua hasta 0.40 m
- 0.25 m, para tirantes de agua desde 0.40 m hasta 0.60 m
- 0.30 m, para tirantes de agua desde 0.60 m, hasta a1.50 mts

El borde libre de la transacción en la parte adyacente al acueducto, debe ser igual al borde libre del acueducto mismo.

2. El Tramo Elevado

Los acueductos se construyen generalmente de concreto armado. Desde el punto de vista constructivo, la sección más apropiada en concreto armado es una sección rectangular.

La sección hidráulica más eficiente es aquella cuya relación entre el ancho (b) y el tirante (y) esa entre 1.0 y 3.0. Para cualquier relación b / y en este rango, los valores del área mojado, velocidad y perímetro mojado son casi idénticos, cuando la pendiente del fondo del acueducto varia entre 0.0001 y 0.100 y para caudales pequeños hasta 2.85 m³ / seg.

La sección más económica del acueducto tendrá una velocidad de agua más alta que la velocidad de agua en un canal en tierra y consecuentemente la pendiente del acueducto será también mayor que la pendiente del canal.

Estudio realizadas muestran que, con una relación b/y igual a 1, 2 ó 3, la pendiente del acueducto no debe ser mayor de 0.002 para evitar un flujo supercrítico. Usando un valor para el factor de rugosidad (n), reducido en un 20%, se recomienda verificar si el flujo no se acerca mucho al flujo supercrítico, para evitar un flujo inestable en el acueducto.

El valor común del factor rugosidad para un acueducto de concreto armado es n = 0.014. La pendiente del acueducto se determina con:

$$S_r = (\text{Cota B} - \text{Cota C}) / L \quad (7)$$

Donde:

S _r	=	Pendiente de la rasante del acueducto
Cota B	=	Elevación en el inicio del acueducto (m.s.n.m.)
Cota C	=	Elevación al final del acueducto (m.s.n.m.)
L	=	Longitud del acueducto entre los puntos B y C (m)

La pendiente calculada con la formula (7) debería ser menor de 0.002; caso contrario habrá que modificar el diseño.

El cálculo hidráulico se hace con la conocida fórmula de MANNING:

$$Q = (A R^{2/3} S_r^{1/2}) / n \quad (8)$$

Donde:

Q	=	Caudal (m ³ /seg.)
A	=	Área mojada, by (m ²)
R	=	Radio hidráulico (m)
S _r	=	La pendiente de la rasante del acueducto
n	=	Factor de rugosidad de MANNING

3. **Protección del fondo del canal y los taludes contra la erosión.**

Cuando una estructura que conduce agua desemboca en un canal en tierra, se necesita siempre una protección en los primeros metros del canal para evitar que ocurra erosión:

Para el diseño de la protección se tiene que saber lo siguiente:

- * La velocidad del agua en la estructura
- * La velocidad del agua en el canal
- * La granulometría del material del canal
- * El ángulo de talud del canal

En el diseño de la protección se puede distinguir dos fases:

1. Determinar la longitud necesaria de la protección;
2. Determinar las características de la construcción, o sea el peso y el tamaño del material requerido para la protección.

CRITERIOS ESTRUCTURALES

Condiciones del suelo

Para diseñar una estructura de acueducto se tiene que conocer las condiciones del suelo sobre lo cual se construirá la estructura. Se tiene que hacer como mínimo una perforación en el sitio de construcción de cada obra de arte y hasta una profundidad de por lo menos de dos metros por debajo del nivel de cimentación de la estructura. También se debe anotar el nivel del mapa freático encontrado al momento de la perforación.

En base a los datos de perforación se puede calcular o estimar la capacidad de carga del terreno, y calcular la presión lateral en las paredes.

Los datos necesarios que se tiene determinar o estimar en base de las perforaciones son:

- La textura
- El peso específico del material seco.
- El peso específico del material bajo agua
- El ángulo de fricción interna.
- La capacidad portante del suelo.

Características Estructurales.

Las características de los materiales que se usarán en la construcción: concreto, armadura, madera, etc.

- Concreto (para concreto armado)
- Concreto ciclópeo
- Armaduras
- Densidad del concreto.

Además se tiene que mencionar el tipo de cemento y el recubrimiento necesario que depende de las condiciones que debe resistir el concreto.

Diseño Estructural

El diseño estructural del acueducto comprende en tres elementos que forman la estructura, como son:

- La caja que conduce el agua o el acueducto.
- Las columnas.
- Las zapatas.

Para cada uno de estos elementos debería verificarse cual sería el caso crítico.

Para iniciar el cálculo de cada elemento, se debe estimar un valor para su espesor. Como valor inicial para la losa y las vigas de la caja de acueducto se recomienda tomar un espesor $d = 0.15m$, básicamente por razones constructivas.

La caja del Acueducto

La caja consiste de una losa soportada por dos vigas laterales, formando así una canaleta de sección rectangular para transportar el agua. Las vigas están soportadas en ambos extremos por las columnas. El caso crítico para el diseño es cuando la caja esta llena de agua hasta la parte superior de las vigas laterales, es decir sin considerar el borde libre.

El calculo de la caja se hace en dos etapas, considerando primero las cargas en la sección transversal y luego las cargas que actúan sobre las vigas en el sentido longitudinal.

Las cargas de sección transversal.

- La presión lateral del agua sobre las vigas.
- El peso del agua sobre la losa.
- El peso propio de la losa.

La Columnas

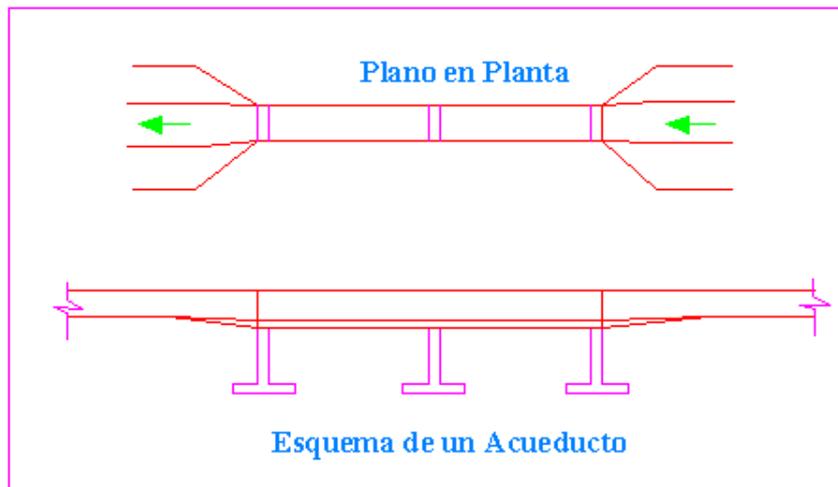
La columna transmite las cargas de caja hacia la zapata, y cuenta con una viga en la parte superior, la cual forma el soporte para la caja.

Las cargas que actúan sobre la columna son:

- Las reacciones de las vigas de la caja.
- El peso propio.

La Zapata

La zapata debe transmitir todas las cargas de la estructura hacia el terreno, sin aceptar asentamientos inaceptables. El área portante de la zapata debe ser suficiente para garantizar dicha transmisión y consecuentemente la presión de la zapata debe ser menor que la capacidad que la carga del terreno, considerando un factor de seguridad mayor de tres metros



EJEMPLO DE CÁLCULO HIDRÁULICO

1. CONDICIONES HIDRÁULICAS DEL CANAL:

El canal antes y después del Acueducto tiene las siguientes características:

$$Q = 3 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$n = 0.014$$

$$Z = 2$$

$$S = 0.002$$

$$f_c = 1.20 \text{ m}$$

Según Manning:

$$Q = (A R^{2/3} S^{1/2}) / n$$

$$(1/m)^{8/3} (m+z)^{5/3} / (m+z\sqrt{1+Z^2})^{2/3} = Q n / S^{1/2} f^{5/8}$$

$$f = m \times a$$

$$m = 1.785$$

$$a_c = 0.67$$

$$\rightarrow V_c = 1.75 \text{ m/s}$$

Por el borde libre:

$$f_b = 0.6 + 0.003 + V^3 \sqrt{a} = 0.62 \text{ m.}$$

Cota de fondo del canal al inicio de la transición aguas arriba igual aguas arriba del conducto es de **120.50 m.s.n.m.** (COTA A)

2. CALCULO HIDRAULICO DEL CANAL:

$$Q = 3 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$n = 0.014$$

$$Z = 0$$

$$S = 0.002$$

Analizamos el acueducto para una eficiencia hidráulica:

$$m = 2 (\sqrt{1+Z^2} - Z) \rightarrow m = 2$$

$$f = m \times a$$

$$\text{Según Manning: } Q = (A R^{2/3} S^{1/2}) / n$$

$$a = 0.90 \text{ m}$$

$$f a = 1.79 \text{ m} \approx 1.80 \text{ m.}$$

$$V_a = 1.87 \text{ m/s.}$$

$$f_b a = 0.6 + 0.0037 + \sqrt{3} \sqrt{a} = 0.622 \text{ m.} \rightarrow f_b a = 0.63 \text{ m.}$$

Longitud del Acueducto, según plano: $L = 30 \text{ m.}$

Las Transiciones:

$$L = (f_c / 2 + Z_c a_c - f_A / 2) \text{ tang. } 12.25^\circ$$

$$L = (1.20 / 2 + 2 \times 0.67 - 1.89 / 2) \text{ tang. } 12.25^\circ$$

$$L = 4.79 \rightarrow L = 4.75 \text{ m.}$$

A) En la Entrada:

Disminución del pelo de agua en la tracción. Si se trata de línea recta según el cuadro N° de coeficiente: $C_x = 0.30$

$$\Delta h_V = (V^2_A - V^2_1) / 2g$$

$$\Delta h_V = (1.87^2 - 1.75^2) / 2g = 0.022 \text{ m}$$

$$\Delta y = (1 + C_x) \Delta h_V$$

$$\Delta y = (1 + 0.30) 0.022 = 0.03 \text{ m}$$

$$\text{Cota B} = \text{Cota A} + (a_c - (a_A + a_y))$$

$$\text{Cota B} = 120.5 + (0.67 - (0.90 + 0.03)) = 120.24 \text{ m}$$

B) En la Salida:

El aumento del pelo de agua en la transición, si se trata de una línea recta según el cuadro N° el coeficiente $C_o = 0.50$.

$$\Delta h_V = (V^2_A - V^2_1) / 2g$$

$$\Delta h_V = (1.87^2 - 1.75^2) / 2g = 0.022 \text{ m}$$

$$\Delta y = (1 - C_o) \Delta h_V$$

$$\Delta y = (1 - 0.50) 0.022 = 0.01 \text{ m}$$

$$\text{Cota C} = 120.24 + (30 \times 0.002) = 120.18 \text{ m}$$

$$\text{Cota D} = \text{Cota C} + (a_A - (a_A + a_y) - a_c)$$

$$\text{Cota D} = 120.18 + (0.90 - (0.01 + 0.67)) = 120.42 \text{ m}$$

La pérdida de la carga hidráulica

Desde el inicio de la transición de entrada y al final de la transición de la salida:

$$\Delta = 120.50 - 120.432 = 0.08 \text{ m}$$

Esta pérdida de carga hidráulica de 0.08 es considerada normal para este tipo de estructuras y por lo tanto aceptada.

El valor de $m = f / a = 1.79 / 0.90 = 2.00$, esta dentro de los valores recomendados (1 \rightarrow 3)

Se verifica el acueducto con el valor n reducido en un 20 %;

$$Q = 3 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$n = 0.012$$

$$Z = 0$$

$$S = 0.002$$

$$f_c = 1.80 \text{ m}$$

$$m = 2.385$$

$$a_A = 0.76 \text{ m}$$

$$V_a = 2.21 \text{ m/s}$$

En este caso, El Número de Froude es:

$$F = V / \sqrt{g aA} = 2.20 / \sqrt{9.81 \times 0.76} = 0.81$$

Este valor es satisfactorio ya que $0.81 < 1.00$ y por consecuencia esta en un régimen sub crítico.

SIFONES

GENERALIDADES

1. Concepto

Es una estructura utilizada para atravesar depresiones o vías de comunicación cuando el nivel de la superficie libre de agua del canal es mayor que la rasante del cruce y no hay espacio para lograr el paso de vehículos o del agua.

Los sifones se diferencian de acueductos en que la sección del sifón se apoya directamente en las laderas de la depresión, siguen el perfil del terreno y sólo aprovechan la carga de agua para el movimiento del flujo.

Generalmente hay cambio de sección con respecto a los canales, por lo cual es necesario proyectar transiciones aguas arriba y abajo. Tanto en el ingreso y a la salida se instalan rejillas para evitar el ingreso de troncos, malezas y otros.

Las secciones más recomendadas son:

- **Sección Rectangular;** con una relación $H/B = 1.25$ y con una sección mínima de $H=1.0$ m y $B=0.80$ m.
- **Sección Circular;** con un diámetro mínimo de 30"; pueden en algunos casos proyectarse baterías de conductos circulares.



Hay necesidad de construir un tanque 1 que opera como tanque de carga para alimentarlo. El sifón es una tubería a presión que reemplaza el canal y descarga sumergido en un tanque 2. A partir de este tanque continúa la conducción en canal.

Entre los tanques 1 y 2 se desarrolla la línea piezométrica; esta permite determinar las presiones a lo largo del sifón. La presión máxima admisible depende de la presión de trabajo de la tubería.

2. Aplicaciones

- Como estructuras de conducción.
- Como estructuras de protección, en este caso se emplean para dar pase a las aguas de lluvia o excesos de agua de un canal por debajo de otro canal.

3. Sifones invertidos

Los sifones invertidos son conductos cerrados que trabajan a presión, se utilizan para conducir el agua en el cruce de un canal con una depresión topográfica en la que está ubicado un camino, una vía de ferrocarril, un dren o incluso otro canal.

Partes de un Sifón

Los sifones invertidos, constan de las siguientes partes:

1. Desarenador
2. Desagüe de excedencias
3. Compuerta de emergencia y rejilla de entrada
4. Transición de entrada
5. Conducto o barril
6. Registro para limpieza y válvulas de purga
7. Transición de salida

No siempre son necesarias todas las partes indicadas pudiendo suprimirse algunas de ellas.

1. **Desarenador;** Consiste en una o varias compuertas deslizantes colocadas en una de las partes laterales, que descargan a un canal con pendiente superior a la del propio canal. Sirven a la vez para desalojar el agua del sifón cuando por reparaciones en este sean cerradas las compuertas o agujas de emergencia, se recomienda hacerlos de las dimensiones convenientes para que pase el caudal por desalojar y unirlos al canal colector de la obra de excedencias. Conviene localizarlo antes de la transición de entrada.
2. **Desagüe de excedencias;** Es una estructura que evita que el nivel del agua suba más de lo tolerable en el canal de llegada, evacuando el caudal que no pueda pasar por el sifón. Generalmente consiste en un vertedor lateral construido en una de las paredes del canal. Para el caudal normal la cresta del vertedor estará a nivel de la superficie libre del agua.
3. **Compuerta de emergencia y rejilla de entrada;** Por facilidad de construcción se localizan a la entrada del conducto, o sea al finalizar la transición de entrada. La compuerta de emergencia consiste en una o varias compuertas deslizantes o agujas de madera que corren sobre ranuras hechas en las paredes laterales o en viguetas de hierro y que en un momento determinado pueden cerrar la entrada al conducto para poder hacer limpieza o reparaciones al mismo tiempo. La rejilla de entrada se acostumbra hacerla con varillas de 3/8" de diámetro o varillas cuadradas de 0.95 x 0.95 (3/8" x 3/8") colocados a cada 10 cm. Y soldadas a un marco de 2.54 x 1.27 (1" x 1/2"). Su

objeto es el impedir o disminuir la entrada al conducto de basuras y objetos extraños que impidan el funcionamiento correcto del conducto.

4. **Transición de entrada y salida;** Como en la mayoría de los casos, la sección del canal es diferente a la adoptada en el conducto, es necesario construir una transición de entrada y otra de salida para pasar gradualmente de la primera a la segunda. Para el cálculo de la longitud de las transiciones que son simétricas se sigue el criterio de Julián Hinds:

$$L = \frac{T_1 - T_2}{2 \operatorname{Tg} 22.5^\circ}$$

En el diseño de una transición generalmente es aconsejable tener la abertura de la parte superior del sifón un poco más debajo de la superficie normal del agua. Esta práctica hace mínima la posible reducción de la capacidad del sifón causada por la introducción del aire. La profundidad de sumergencia de la abertura superior del sifón se recomienda que esté comprendida entre un mínimo de 1.1 hv y un máximo de 1.5 hv. (hv = carga de velocidad).

5. **Conducto;** Forma la parte más importante y necesaria de los sifones. Se recomienda profundizar el conducto, dejando un colchón mínimo de 1 m en las laderas y de 1.5 m en el cruce del cauce para evitar probables fracturas que pudieran presentarse debido a cargas excesivas como el paso de camionetas o tractores.

Sección Transversal; por cuestiones de construcción, pueden ser:

1. Cuadradas
2. Rectangulares $H/B = 1.5$
3. Circulares

Velocidades en el conducto; las velocidades de diseño en sifones grandes es de 2 – 3 m/s, mientras que en sifones pequeños es de 1.6 m/s.

Un sifón se considera largo, cuando su longitud es mayor que 500 veces el diámetro.

Funcionamiento; el sifón siempre funciona a presión, por lo tanto, debe estar ahogado a la entrada y a la salida.

Ahogamiento $\geq 10\%$ puede tenerse ahogamiento $< 50\%$

$$\text{Ahogamiento} = \frac{H - h}{h} \times 100$$

El sifón funciona por diferencia de cargas, esta diferencia de cargas debe absorber todas las pérdidas en el sifón. La diferencia de carga ΔZ debe ser \leq perdidas totales.

- 6. Registro para limpieza y válvula de purga;** Se coloca en la parte más baja de los conductos, permite evacuar el agua que se quede almacenada en el conducto cuando se para el sifón, para su limpieza o reparación, y consistirá en válvulas de compuerta deslizante, de las dimensiones que se estime conveniente de acuerdo con el caudal a desalojar. Se pueden usar para desalojar lodos. Algunas veces estas válvulas no se pueden colocar en la parte más baja del sifón por tratarse del fondo del cauce del río por salvar, habiendo necesidad cuando se presente el caso, de alguna bomba que succione el agua restante. Estas válvulas se protegen por medio de un registro de tabique o concreto que llega hasta la parte superior del terreno. Deben abrirse gradualmente para evitar aumentos de velocidades fuertes en las tuberías.

NORMAS PARA EL DISEÑO

- Cuando el canal por conducir es grande y supera un conducto de 6.00 m de diámetro se diseña una batería de sifones.
- Para cargas pequeñas entre 0 y 5 m, se prefiere las secciones cuadradas y rectangulares, sin embargo cuando los momentos negativos no pueden absorberse en las esquinas interiores del sifón se prefiere secciones circulares.
- Las normas mexicanas para diseño de sifones indican:
 - a) **Cruce de Carreteras:** El relleno de tierra que debe cubrir el sifón deberá tener un espesor mínimo de 1.0 m y su longitud ser mayor que el ancho del derecho de vía más un metro a cada lado.
 - b) **Cruce de vías férreas:** El espesor mínimo de relleno sobre sifón debe ser como mínimo 0.90 m y sobrepasar el ancho de la línea más el drenaje.
 - c) **Cruce con canal o dren:** El relleno medido desde la rasante del canal a la parte superior del sifón debe ser por lo menos de 1.50 m y tener una longitud igual al ancho del canal, más sus bermas y bordes.
 - d) **Cruce de ríos y arroyos:** El espesor del relleno en la zona del cauce no debe ser menor de la profundidad de socavación y en las laderas no menor de 1.0 m; cuidando que las transiciones del canal a sifón queden en excavación.

CRITERIOS DE DISEÑO

- a) En el cruce de un canal con una quebrada, el sifón se proyecta para conducir el menor gasto y lo suficientemente profundo para no ser socavado, en ciertas ocasiones debido a sus dimensiones un sifón constituye un peligro, principalmente

- cuando está cerca de centros poblados, siendo necesario el uso de rejillas pero con la desventaja de que puedan obturarse las aberturas y causar remansos.
- b) Las dimensiones del tubo se determinan satisfaciendo los requerimientos de cobertura, pendiente en el suelo, ángulos de doblados y sumergencia de la entrada y salida.
 - c) En sifones que cruzan caminos principales o debajo de drenes, se requiere un mínimo de 0.90 m de cobertura; cuando cruzan caminos parcelarios o canales de riego sin revestir, es suficiente 0.60 m y si cruza un canal revestido se considera suficiente 0.30 m de cobertura.
 - d) En sifones relativamente largos, se proyectan estructuras de alivio para permitir un drenaje del tubo para su inspección y mantenimiento.
 - e) Con la finalidad de evitar la cavitación a veces se ubica ventanas de aireación en lugares donde el aire podría acumularse.
 - f) Cuando el sifón cruza debajo de una quebrada, es necesario conocer el gasto máximo de la creciente.
 - g) Con la finalidad de evitar desbordes aguas arriba del sifón debido a la ocurrencia fortuita de caudales mayores al de diseño, se recomienda aumentar en un 50% ó 0.30 m como máximo al borde libre del canal en una longitud mínima de 15 m a partir de la estructura.
 - h) La pendiente de los tubos doblados, no debe ser mayor a 2:1 y la pendiente mínima del tubo horizontal debe ser 5°/oo. Se recomienda transición de concreto a la entrada y salida cuando el sifón cruce caminos principales en los sifones con Φ mayor de 36" y para velocidades en el tubo mayores a 1 m/seg.
 - i) Con la finalidad de determinar el diámetro del tubo en sifones relativamente cortos con transiciones de tierra, tanto en entrada como salida, se puede usar una velocidad de 1 m/seg. En sifones con transiciones de concreto igualmente cortos se puede usar 1.5 m/seg y para sifones largos con transiciones de concreto con o sin control de entrada entre 3 a 2.5m/seg.
 - j) A fin de evitar remansos aguas arriba, las pérdidas totales computadas incrementan en 10%.
 - k) En el diseño de transición de entrada se recomienda que la parte superior de la abertura del sifón, esté ligeramente debajo de la superficie normal del agua, esta profundidad de sumergencia es conocida como sello de agua y en el diseño se toma $1.5 H_v$ (carga de velocidad del sifón) ó 1.1 como mínimo o también 3".
 - l) En la salida, el valor de la sumergencia no debe exceder al valor $H_{te}/6$.
 - m) En sifones largos bajo ciertas condiciones la entrada puede no sellarse ya sea que el sifón opere a flujo parcial o flujo lleno, con un coeficiente de fricción menor que el asumido en diseño, por esta razón se recomienda usar $n = 0.008$ cuando se calculan pérdidas por energía.

- n) Con respecto a las pérdidas de cargas totales, se recomienda la condición que sean iguales o menores a 0.30 m.

CÁLCULO HIDRÁULICO DEL SIFÓN

Con el plano a curvas de nivel y el perfil del terreno en el sitio de la obra, se traza el sifón y se procede a diseñar la forma y dimensiones de la sección del conducto más económica y conveniente, esto se obtiene después de hacer varios tanteos, tomando en cuenta las pérdidas de carga que han de presentarse.

Las dimensiones de la sección transversal del conducto dependen del caudal que deba pasar y de la velocidad que se pueda dar. En sifones grandes se considera una velocidad conveniente de agua en el conducto de 2 a 3 m/s que evita el depósito de azolves en el fondo del conducto y que no es tan grande que pueda producir la erosión del material de los conductos. Cuando por las condiciones del problema, no sea posible dar el desnivel que por éstas limitaciones resulten, se puede reducir las pérdidas, disminuyendo prudentemente la velocidad del agua, teniendo en cuenta que con esto se aumenta el peligro de asolvamiento del sifón, por lo que habrá necesidad de mejorar las facilidades para limpiar el interior del barril.

El sifón funciona por diferencia de cargas, ésta diferencia de cargas debe absorber todas las pérdidas en el sifón. La diferencia de cargas ΔZ debe ser mayor o igual que las pérdidas totales.

Pérdidas en el Sifón

1. Pérdidas de carga por transición de entrada y salida

$$h_{le} = 0.1 \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} \qquad h_{le} = 0.2 \frac{(V_3^2 - V_4^2)}{2g}$$

Donde:

V_1 = velocidad en sección 1 de la transición, de entrada.

V_2 = velocidad en sección 2 de la transición, de entrada.

V_3 = velocidad en sección 3 de transición de salida.

V_4 = velocidad en sección 4 de transición de salida.

En el flujo subcrítico, la sección (4) de la figura 1, tiene el tirante real igual al tirante normal.

Para encontrar las pérdidas por transición de salida es conveniente aplicar el teorema de Bernoulli entre los puntos (3) y (4). Para calcular las pérdidas por transición de entrada se aplica el mismo teorema pero entre los puntos (1) y (2).

El tubo a la entrada y salida, conviene que quede ahogado de un 10 % a un 50 % de h_v para evitar la entrada de aire que pueda producir un funcionamiento defectuoso.

2. Pérdidas por Rejillas

Cuando la estructura consta de bastidores de barrotes y rejillas para el paso del agua, las pérdidas originadas se calculan con la ecuación:

$$h_2 = K \frac{V_n^2}{2g}$$

Donde:

$$K = 1.45 - 0.45 \left(\frac{A_n}{A_g} \right) - \left(\frac{A_n}{A_g} \right)^2$$

K = Coeficiente de pérdidas en la rejilla

A_n = Área neta de paso entre rejillas

A_g = Área bruta de la estructura y su soporte, que quede dentro del área hidráulica

V_n = Velocidad a través del área neta de la rejilla dentro del área hidráulica

3. Pérdidas de Carga por entrada al Conducto

$$h_e = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

V = velocidad del agua en el barril

K_e = coeficiente que depende de la forma de entrada

Valores de K_e

Compuerta en pared delgada – contracción suprimida en los lados y en el fondo	1.00
Para entrada con arista en ángulo recto	0.5
Para entrada con arista ligeramente redondeada	0.23
Para entrada con arista completamente redondeada $R/D = 0.15$	0.10
Para entrada abocinada circular	0.004

4. Pérdidas por Fricción en el Conducto

Una fórmula muy empleada para determinar las pérdidas por fricción es la de Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad h_f = S L = \left(\frac{v n}{R^{2/3}} \right)^2 L$$

Donde:

n = coeficiente de rugosidad

S = perdidas por fricción

V = velocidad del agua en el conducto

R = radio hidráulico

L = longitud total del conducto

Cuando se trata de un conducto circular, el radio hidráulico es: $R = d/4$

Luego:

$$v = \frac{0.3969}{n} d^{3/2} S^{1/2} \qquad hf = SL = \left(\frac{v n}{0.3969 d^{2/3}} \right)^2 L$$

5. Pérdidas de carga por cambio de dirección o codos

Una fórmula muy empleada es:

$$h_s = Kc \sqrt{\frac{\Delta}{90^\circ}} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

Δ = ángulo de deflexión

Kc = coeficiente para codos comunes = 0.25

6. Pérdidas por Válvulas de Limpieza

Las pérdidas de carga que se originan en los sifones por el hecho de insertar lateralmente una tubería en la que se coloca una válvula para desagüe y limpieza se deben considerar como pérdidas por bifurcación de tuberías.

Esta pérdida existe aún cuando una de las partes esté cerrada por la válvula, ya que se forman turbulencias dentro de la tubería, pero en vista de que se considera muy pequeña y no se ha podido evaluar se olvida.

7. Pérdidas por ampliación (pérdidas por salida)

Algunas veces por exigencias topográficas no es posible localizar una transición a la salida del sifón para el cambio de sección, haciéndolo en una caja, de la cual saldrá el agua al canal. La pérdida de carga será motivada por ampliación brusca en la sección y se aplica la formula de Borda:

$$h_1 = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g}$$

Donde:

v_1 = velocidad en el sifón

v_2 = velocidad aproximada en la caja

Según Archer:

$$h_s = 0.997 \frac{(v_1 - v_2)^{1.919}}{2g} = 0.0508 (v_1 - v_2)^{1.919}$$

Forma práctica:

$$h_s = 2 h_e$$

TÚNEL

GENERALIDADES

1. Concepto

Cuando en el trazado de un canal se encuentra una protuberancia en el terreno, se presenta la posibilidad de dar un rodeo para evitarla, o atravesarla con un túnel.

Antes de construir el túnel es necesario realizar los diseños geotécnicos, estructurales, hidráulicos y ambientales necesarios para garantizar su estabilidad y su funcionalidad.

2. Finalidad

Un túnel que se emplea como canal funciona como un conducto cerrado, parcialmente lleno. La sección del canal puede ser revestida o excavada y puede conservar la forma geométrica del canal original, o adaptarse a la sección transversal del túnel.

CRITERIOS DE DISEÑO

Acortar el recorrido del agua, con la consiguiente disminución de la pérdida de carga y que dan pocos gastos de conservación; pero su inconveniente fundamental es el costo, no obstante el precio de los túneles de abastecimiento es considerablemente más bajo que otros tipos de túnel (carretera, ferrocarril, etc.), debido a su escasa sección, ya que las dificultades de construcción de los túneles aumentan muy fuertemente con el aumento de tamaño. A su vez por esta misma razón la ejecución suele hacerse a toda sección, por lo que, en general, no será necesario recurrir a galerías de avance, ni a métodos especiales.

Las secciones transversales más empleadas son la herradura para canales rodados y la circular para conducciones a presión, estas secciones deberán tener unas dimensiones mínimas que permitan el trabajo relativamente cómodo en su interior. Sin embargo es conveniente proyectar los túneles de forma que puedan admitir ampliaciones (caudales sensiblemente mayores a los de proyecto), puesto que así se facilitan los incrementos futuros del abastecimiento.

Los túneles de abastecimiento deberán estar revestidos para evitar filtraciones y pérdidas, pero en el caso de ser un canal completamente cubierto o contener una o varias tuberías forzadas en su interior, el túnel podrá dejarse sin revestir.

ALCANTARILLAS

GENERALIDADES

1. Concepto

Son estructuras de cruce, que sirven para conducir agua de un canal o un dren por debajo de un camino u otro canal. Generalmente, la alcantarilla reduce el cauce de la corriente, ocasionando un represamiento del agua a su entrada y un aumento de su velocidad dentro del conducto y a la salida.

2. Finalidad

El diseño hidráulico radica en proveer una estructura con capacidad de descargar, económicamente una cierta cantidad de agua dentro de los límites establecidos de elevación del nivel de las aguas y de velocidad. Cuando la altura y la descarga han sido determinadas, la finalidad del diseño es proporcionar la alcantarilla más económica, la cual será la que con menor sección transversal satisfaga los requerimientos de diseño.

CRITERIOS DE DISEÑO

El escurrimiento a través de una alcantarilla generalmente queda regulado por los siguientes factores:

- Pendiente del lecho de la corriente aguas arriba y aguas abajo del lugar.
- Pendiente del fondo de la alcantarilla.
- Altura de ahogamiento permitido a la entrada.
- Tipo de entrada.
- Rugosidad de las paredes de la alcantarilla.
- Altura del remanso de la salida.

Todos los factores se combinan para determinar las características del flujo a través de la alcantarilla.

El estudio de los tipos de flujo a través de las alcantarillas ha permitido establecer las relaciones existentes entre la altura de agua a la entrada del conducto, el caudal y las dimensiones de la alcantarilla.

Para el diseño de una alcantarilla se deberá fijar:

- El caudal de diseño.
- La altura de agua permisible a la entrada.
- La altura de agua a la salida.
- La pendiente con que se colocará el conducto.
- Su longitud.
- El tipo de entrada.
- Longitud y tipo de transiciones.

- La velocidad del flujo permisible a la salida.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

1. Son diseñadas para una presión hidrostática interna mínima, es decir, el gradiente hidráulico está un poco por encima de la parte superior del tubo y a veces dentro del tubo mismo.
2. La elección del diámetro de la alcantarilla, se hace en función del caudal de tal forma que no sobrepase la velocidad admisible, se puede usar la tabla:

Transición de Tierra $V_{\text{máx}} = 1.06 \text{ m/s}$	Transición de concreto $V_{\text{máx}} = 1.52 \text{ m/s}$	Tuberías		
Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)	Diámetro (pulg.)	Diámetro (pulg.)	Área (m²)
0 - 0.076	0 - 0.110	12	30.48	0.073
0.077 - 0.112	0.111 - 0.173	15	38.10	0.114
0.123 - 0.176	0.174 - 0.249	18	45.72	0.164
0.177 - 0.238	0.250 - 0.340	21	53.34	0.223
0.239 - 0.311	0.341 - 0.445	24	60.96	0.292
0.312 - 0.393	0.446 - 0.564	27	68.58	0.369
0.394 - 0.487	0.565 - 0.694	30	76.20	0.456
0.488 - 0.589	0.695 - 0.841	33	83.82	0.552
0.590 - 0.699	0.842 - 1.000	36	91.44	0.656
0.700 - 0.821	1.001 - 1.175	39	99.06	0.771
0.822 - 0.954	1.176 - 1.362	42	106.68	0.894
0.955 - 1.096	1.363 - 1.563	45	114.30	1.026
1.097 - 1.246	1.564 - 1.778	48	121.92	1.167
1.247 - 1.407	1.779 - 2.008	51	129.54	1.318
1.408 - 1.578	2.009 - 2.251	54	137.16	1.478
1.579 - 1.756	2.252 - 2.509	57	144.78	1.646
1.757 - 1.946	2.510 - 2.781	60	152.40	1.824
1.947 - 2.146		63	160.02	2.011
2.147 - 2.356		66	167.64	2.207
2.357 - 2.574		69	175.26	2.412
2.575 - 2.803		72	182.88	2.626

Con la tabla se puede definir el diámetro para:

Una velocidad máxima admisible de 1.06 m/seg (3.5 pies/seg), para una alcantarilla con transición en tierra tanto en la entrada como para la salida.

Una velocidad máxima admisible de 1.5 m/seg (5 pies/seg), para una alcantarilla con transición de concreto, tanto en la entrada como para la salida.

3. La máxima elevación del nivel de agua en la entrada de la alcantarilla es igual al diámetro de la tubería mas 1.5 la carga de velocidad en la alcantarilla; es decir:

$$D + 1.5 hv$$

$$\text{Donde: } hv = \frac{v^2}{2g}$$

4. La pendiente mínima de la alcantarilla es de 0.005 ($S_o = 5^{\circ}/100$).
5. Cobertura de tierra mínima entre la corana del camino y el tubo:
En carreteras principales y ferrocarriles coberturas mínimas de 0.90 m (3 pies).
En carreteras de fincas (parcelas) coberturas mínimas de 0.60m (2 pies)
6. Talud a la orilla del camino: 1.5:1
7. Las transiciones reducen las pérdidas de carga y previenen la erosión disminuyendo los cambios de velocidad. Las transiciones pueden hacerse de concreto, tierra y suelo - cemento.
Las transiciones de concreto son necesarias en los siguientes casos:
En los cruces de ferrocarriles y carreteras principales.
En las alcantarillas con diámetro mayor de 36 pulg. (91.44 cm).
En las alcantarillas con velocidades mayores de 1.06 m/seg (3.5 pies/seg). La pendiente máxima de la transición admite un talud de 4:1.
8. Collares que incrementan la longitud del movimiento del agua a través del exterior del tubo.
9. Las pérdidas asumidas son de 1.5 veces la carga de velocidad en la tubería más las pérdidas por fricción.
10. Para el cálculo de las pérdidas en las alcantarillas funcionando llenas, se puede usar la siguiente fórmula, en el sistema ingles:

$$H_T = \left[\frac{2.5204 (1 + K_e)}{D^4} + \frac{466.18 n^2 L}{D^{16/3}} \right] \left(\frac{Q}{10} \right)^2$$

Donde:

H_T = Carga (pies) K_e = Coeficiente de pérdidas a la entrada
 D = Diámetro de la tubería (pies) N = Coeficiente de rugosidad
 L = Longitud de la alcantarilla (pies) Q = Caudal (pies³/seg)

Se han determinado por medio de experimentos, para diferentes condiciones de entrada, valores de K_e , los cuales varían en la forma que se indica:

TIPO DE ENTRADA	VARIACIÓN	PROMEDIO
Para entradas con aristas rectangulares instaladas al ras en los muros de cabeza verticales	0.43 - 0.70	0.50
Para entradas con aristas redondeadas instaladas al ras en muros de cabeza verticales $r/D \geq 0.15$	0.08 -0.27	0.10

Para tubo de concreto de espiga o de campana instalado al ras en el muro de cabeza vertical	0.10 – 0.33	0.15
Para tubos de concreto salientes con extremos de espiga o de campana	0.20
Para tubos de acero o de metal ondulado	0.50 -0.90	0.85

2. ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD

Son obras que se construyen complementariamente a un sistema de conducción por canales; que permiten dar seguridad a las estructuras ante la ocurrencia de caudales extremos, activación de quebradas, inundaciones, entre otras.

Entre las principales estructuras de seguridad tenemos:

- Aliviadero
- Defensas o diques
- Badenes
- Alcantarillas

DIQUES

GENERALIDADES

1. Concepto

Son obras geotécnicas lineales, de material suelto a modo de pequeñas presas que defienden contra inundación y definen un cauce de avenidas. Emplea material del lugar y realiza básicamente movimientos de tierra, pero ocupa mucho espacio porque se construye con taludes suaves (1:3 – 1:4, V:H) y por tanto la base del dique es muy ancha.

2. Finalidad

Su finalidad es contener agua en movimiento unas horas o días. Es preferible construirlos con material homogéneo.

CRITERIOS DE DISEÑO

- Seguridad contra desbordamientos: dejar una sobre-elevación o borde libre (altura adicional de seguridad). Esta altura debe cubrir los errores en las estimaciones de nivel de agua, asentamientos, agrietamiento por secado, deformaciones por sismo, alteraciones en la corona del dique por el tráfico, influencias erosivas de viento y lluvia, etc.
- Seguridad contra filtración y tubificación: para diques con alturas entre 3 y 5 m, con suelos de baja o media permeabilidad en la cimentación, suelos finos y arenosos,

compactados en el cuerpo del dique, deben protegerse contra la filtración y tubificación construyendo una zanja y una pantalla impermeable al pie del dique arriba, sin necesidad de filtro en la parte inferior del talud aguas abajo.

- Seguridad contra erosión de taludes y corona: las superficies externas deben asegurarse contra la erosión debido a las velocidades máximas al flujo. La corona del dique debe protegerse contra la erosión causada por el tránsito de vehículos, viento, lluvia y otros, mediante una capa de afirmado.
- Seguridad por falta de impermeabilidad: se asegura con un tablestacado o con un revestimiento de material impermeable, el revestimiento puede ser inerte o de hierbas, pero no de vegetación mayor por el peligro que suponen las raíces.
- Seguridad contra deslizamiento: la estabilidad de los taludes se verifica para diferentes estados; de acuerdo a la experiencia de diseño y comportamiento de estructuras similares en la zona del proyecto, se dan unos factores de seguridad mínimos para cada estado:

FS = 1.30 para el nivel normal de agua en el río

FS = 1.15 para el nivel máximo de agua en el río

FS = 1.15 para el descenso rápido del nivel de agua en el río

FS = 1.05 para el sismo y nivel normal de agua en el río



PROYECTO ESPECIAL "TAMBO CCARACOCHA"
Dique Baraja (Dpto. Ica- Huancavelica)

CRITERIOS TÉCNICOS

- Durante la construcción se debe usar al máximo los recursos locales en cuanto a tecnología disponible, materiales, mano de obra, etc.
- Aprovechar las mejores experiencias hasta ahora adquiridas dentro de la problemática, verificadas en la práctica en estructuras similares y debe tener procedimientos simples de construcción, que permitan usar maquinaria y facilidades locales.

- No se aceptan soluciones técnicas que requieran cambios importantes de la infraestructura existente en ambos márgenes, dado que los costos de estos cambios sobrepasan los beneficios correspondientes.
- Se recomienda limitar el número de tipos distintos de protección que se aplicarán.
- Debe garantizar un comportamiento adecuado y deberá estar provisto bajo condiciones que ocurran durante el período de avenidas extremas.
- Los niveles máximos del sistema de protección (coronación de diques, muros, etc.), son limitados por la infraestructura existente y no se deben aumentar de manera significativa, sin eliminar el acceso de la ciudad hacia el río.
- La solución aplicada del sistema de protección no debe tratarse como definitiva y sin posibilidades de mejoramiento y ajuste. Es importante que las instituciones locales organicen el control, observación y análisis del comportamiento real del sistema de protección, para definir ajustes eventuales. En este sentido, el sistema de protección debe ser flexible, permitiendo ajustes eventuales en el futuro.
- La estabilidad de las protecciones flexibles debe verificarse para las condiciones en que se manifiesta la erosión del fondo del río, la socavación del suelo por debajo de la protección y la sedimentación después de la época de avenidas.
- Las principales características de las protecciones flexibles se determinan de acuerdo a las recomendaciones de los proveedores basadas en las condiciones y requerimientos hidráulicos (máxima velocidad y profundidad de agua, pendiente de fondo, coeficiente de rugosidad, etc.) y en base al criterio de que la tensión de arrastre es menor o igual a la tensión permitida en el fondo y tensión crítica en la orilla.
- La longitud de la carpeta horizontal flexible se define en base a la profundidad promedio de erosión, de acuerdo a los resultados del modelo físico o matemático: $L = 2 \times Pe$, donde L es la longitud de la protección flexible y Pe es la profundidad de la erosión.
- Lo primordial para aceptar una solución técnica de las obras de protección es la elección de las alternativas que, según el concepto de protección flexible, cumplan con su propósito, brindando el mayor grado de seguridad, tanto a la protección misma como a la zona urbana.

CRITERIOS ECONÓMICOS

- Se recomienda que la solución técnica tenga el menor costo, pero el criterio económico no debe ser primordial sobre los parámetros de seguridad, incorporación adecuada en el cuerpo urbano y operación óptima del sistema de protección.
- Para bajar costos, el nuevo sistema de protección debe incorporar, en lo posible, las estructuras existentes, pero sólo las que garanticen una operación totalmente segura del sistema de protección.

- La comparación de las alternativas, puede realizarse en base a los costos por metro lineal y; la comparación de costos y selección de la alternativa óptima se puede realizar con los costos directos, porque el principal objetivo es definir el rango y ventaja económica de cada alternativa y no el costo total.

3. ESTRUCTURAS DE CONTROL DEL FLUJO

ESTRUCTURAS DE DISTRIBUCIÓN DEL CAUDAL

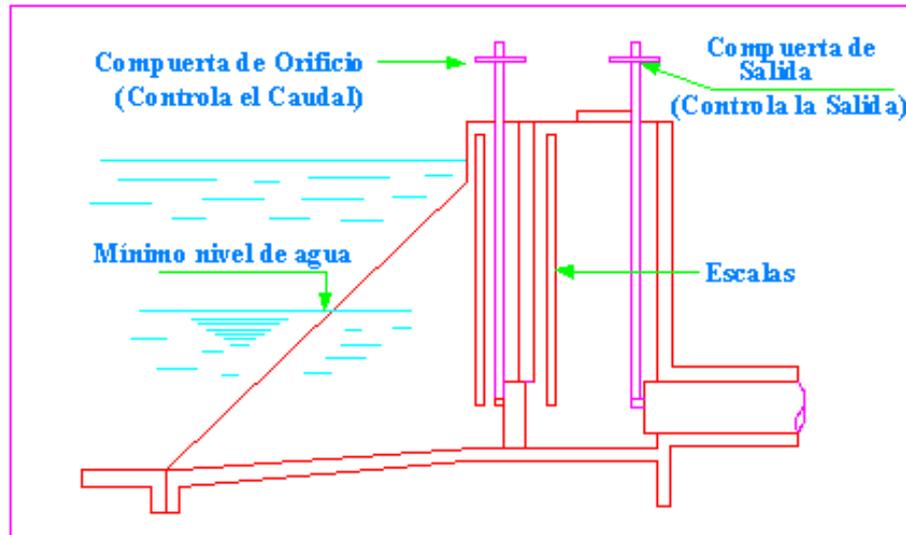
Son estructuras de control hidráulico. Su función es la de presentar un obstáculo al libre flujo del agua, con el consiguiente represamiento aguas arriba de la estructura, y el aumento de la velocidad aguas abajo. Entre las principales estructuras tenemos:

- Tomas Laterales
- Compuertas
- Partidores
- Caño Compuerta

TOMAS LATERALES

Las tomas laterales son estructuras hidráulicas que permiten derivar o captar determinado caudal desde un canal madre. Una toma lateral consiste en una ventana de ingreso y un conducto corto que descarga al aire libre o hacia una posa disipadora.

Estas obras pueden servir también para medir la cantidad de agua que circula por ellas. Para obtener una medición exacta del caudal a derivar, éstas tomas se diseñan dobles, es decir, se utilizan dos baterías de compuerta; la primera denominada compuerta de orificio y la segunda compuerta de torna y entre ellas un espacio que actúa como cámara de regulación.



Toma con doble Compuerta

CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS

- Las tomas laterales en una red de riego, en especial son colocados en los canales secundarios o terciarios.
- Las tomas se instalan normales al canal alimentador, lo que facilita la construcción de la estructura.
- Generalmente se utilizan compuertas cuadradas las que se acoplan a una tubería. Las dimensiones de las compuertas, son iguales al diámetro de la tubería y ésta tendrá una longitud variable dependiendo del caso específico.
- cuando la toma tenga que atravesar una carretera o cualquier otra estructura, se puede fijar una longitud de 5 m para permitir un sobre ancho de la berma del canal en el sitio de toma por razones de operación.

TOMA LATERAL MEDIANTE ESPIGONES

Una toma típica de agua mediante espigones. Se desvía el agua del río o riachuelo hacia el canal de aducción, colocando un espigón, que consiste de sentados de

pedras, en el río. De acuerdo a las condiciones locales, esta obra de toma puede ser construida con o sin barraje.

La bocatoma sin barraje conviene para la captación de caudales más pequeños.

En períodos de estiaje o de niveles medios de agua, en los cuales el río lleva ninguno o pocos sedimentos, el canal de aducción no es afectado por la introducción de arrastres de sólidos.

En épocas de crecidas sin embargo, cuando el río lleva grandes cantidades de acarreo, el espigón es destruido, de manera que los sedimentos quedan en el río, ya que solamente caudales pequeños, en relación a los caudales del río, son descargados del canal de aducción.

Luego al descenso de las crecidas, al final de la época de lluvias, hay que restablecer el espigón para garantizar la descarga de agua hacia el canal de aducción en la subsiguiente época de estiaje.

Esta manera de dimensionamiento de tomas laterales mediante espigones no hace posible averiguar las condiciones hidráulicas exactas de las descargas que entran al canal de agua motriz, puesto que el caudal afluente hacia el canal, guiado por un espigón, depende mucho de las condiciones del flujo en el río (en especial del nivel del agua en el río).

Mediante la aplicación de las curvas características del río y del canal (las relaciones entre niveles y caudales, sólo se puede estimar las descargas aproximativas que entran al canal de agua motriz. Estas descargas de agua motriz se las puede averiguar en dependencia de los niveles de agua tanto del río como del canal que coincide en la zona de la toma, por lo cual es posible deducir el caudal aproximativo correspondiente en el canal de agua motriz.

VERTEDERO TIPO "TIROL" (TOMA EN EL LECHO)

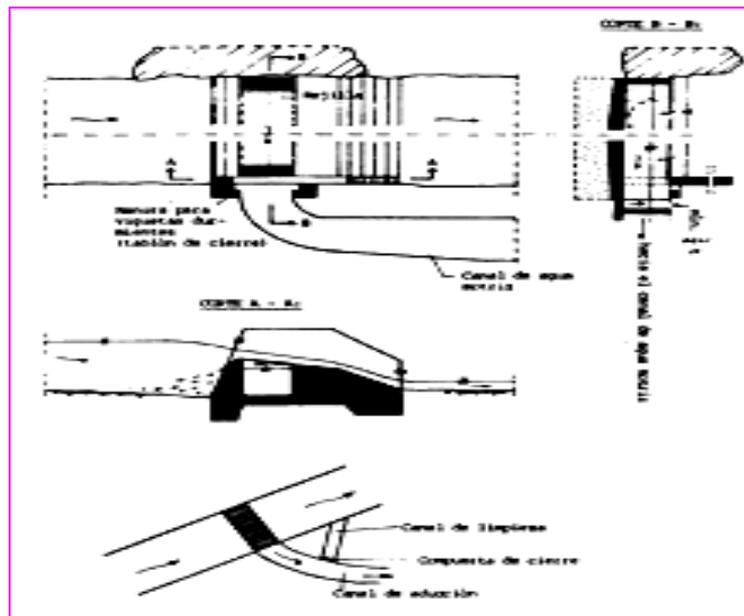
La bocatoma situada en el lecho capta el agua motriz desde el fondo del río. Para tal efecto se dispone de un colector fijado en dirección del flujo, siendo cubierto con una

rejilla. Las barras de la rejilla se tienden en dirección de la corriente, y las mismas impiden el ingreso de sedimentos más gruesos al colector, los cuales son evacuados y transportados hacia aguas abajo. Granos con tamaños menores que el espaciamiento de las barras de la rejilla son llevados con el agua derivada por el colector y deben ser separados posteriormente. La estructura ubicada en el lecho puede ser construida al nivel del fondo del río o erigida del mismo en forma de un vertedero.

Consideraciones para el diseño de la toma lateral en el lecho hay que tomar lo siguiente:

- Construcción maciza del cuerpo de concreto, ya que la obra está sujeta a grandes fuerzas de abrasión.
- Angulo de inclinación de la rejilla recomendado entre 5° y 35°.
- Fijación firme de las barras de rejilla.
- Borde suficientemente libre entre nivel de agua en el colector y la cota superior de la rejilla (como mínimo 0.25 t, con t = profundidad máxima del agua en el canal colector).
- Pendiente suficiente del colector para la evacuación de los sedimentos introducidos por la rejilla.
El tamaño de estos sedimentos está limitado por el espaciamiento entre las barras.
- Al dimensionar la toma en el lecho hay que considerar que todo el caudal afluente del río es tomado hasta llegar al límite de la capacidad de la rejilla. En caso de que la cantidad máx. Posible de agua captada sea mayor que la descarga en épocas de estiaje, el río en el tramo aguas abajo queda seco.
- Si el caudal afluente sobrepasa el límite de la capacidad de la rejilla, (por Ej. durante épocas de crecidas), las descargas no derivadas son evacuadas por encima de la rejilla hacia aguas abajo. Por estas razones, la delimitación de la

cantidad máxima de agua motriz es más exacta mediante una bocatoma en el lecho del río que mediante un vertedero lateral con barrajes firmes (pero hay que tomar los dispositivos apropiados para la separación de cantidades mayores de sólidos ingresantes al canal colector).



Vertedero tipo "TIROL" /toma en el lecho del río

CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TOMA LATERAL

La toma de agua mediante espigón siempre es recomendable para los ríos de las Cordilleras peruanas, que llevan grandes cantidades de sedimentos y parcialmente tienen fuertes pendientes, tanto más cuanto no afectan considerablemente ni el río ni el régimen fluvial.

Los criterios para la selección de la toma en el lecho se los pueden tomar del siguiente

Criterios de selección	Toma en el lecho (vertedero tipo "TIROL")
Captación de agua para la generación	Bien posible en conexión con un

de energía hidroeléctrica	desarenador
Caudal de captación	La rejilla en el fondo siempre capta del río cada caudal afluyente hasta llegar al límite de la capacidad de la rejilla
Pendiente del río:	
- muy fuerte ($I > 10\%$) hasta fuerte ($10\% > I > 1\%$):	Muy favorable; esta obra ha probado su eficacia debido a su operación sin mantenimiento, en caso de que sea bien construida.
- pendiente media ($1\% > I > 0.01\%$):	Desfavorable; sedimentos finos entran en el colector, lo que puede causar fuerte sedimentación delante del canal de agua motriz o en el mismo; la disposición de las facilidades de lavado es más difícil.
- pendiente suave ($0.01\% > I > 0.001\%$)	Desfavorable.
Curso del río:	
- recto:	Muy favorable debido a un paso de agua uniforme por la rejilla
- sinuoso	Desfavorable, debido a un paso de agua no uniforme por la rejilla
- bifurcado	Desfavorable
Caudal sólido del río:	
-concentración del material sólido en suspensión:	
- alta concentración	Menos apropiada
- baja concentración	Muy favorable
-transporte sólido de fondo:	
- fuerte	Bien apropiada en caso de sedimentos gruesos; la evacuación de

	sedimentos finos por facilidades de lavado es difícil y costosa
- pequeño	Bien apropiada

Procedimiento para el diseño

En el diseño de una toma tubular comprende lo siguiente:

- Diámetro de la tubería
- Longitud de la tubería.
- Velocidad en el conducto.
- Dimensiones de la caja de entrada.
- Sumergencia a la entrada y salida.
- Dimensiones de la transición *Longitud y talud de salida)
- Determinar las cotas de fondo.

El U.S. Bureau of Reclamation, recomienda que para iniciar los cálculos se adoptará la velocidad en el conducto (V) = 1.07 m/seg.

- **Adoptar la velocidad en el conducto V = 1.07 m/seg.**
- **Cálculo del área de la tubería :**

Por continuidad: $Q = A \cdot V \rightarrow A = \frac{Q}{V}$

Donde:

Q = Caudal a derivar por la toma (m³/seg.)

A = área de la tubería (m²)

V = Velocidad en el conducto (m/seg.)

- **Cálculo del diámetro de la tubería :**

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

- **Verificar el área de la tubería :**

$$A = \pi D^2/4 \text{ (m}^2\text{)}.$$

- **Verificar la velocidad en el conducto :**

$$V = Q / A \text{ (m/seg.)}$$

- **Cálculo de la pérdida de carga Hidráulica total en la tubería:**
- **Pérdida en la entrada del tubo (he) :**

$$He = Ke \times hv \quad ; \quad hv = \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

he = Pérdida en la entrada del tubo (m)

hv = Carga de velocidad en la tubería (m)

V = Velocidad en la tubería (m/seg.)

Ke = Coeficiente que depende de la forma de la entrada en la tubería.

Cuadro N° 01: coeficiente en la entrada de la tubería.

Forma de entrada	Ke
- Compuerta en pared delgada – contracción suprimida en los lados y en el fondo.	1.00
- Entrada con arista en ángulo recto	0.50
- Entrada con arista en ángulo redondeado	0.23
- Entrada con arista completamente redondeada	0.10
- Entrada abocinada circular	0.004
- Tubo entrante.	0.78

- **Pérdida en la salida del tubo (hs):**

$$h_s = k_e \times h_v$$

(Tomando las mismas consideraciones que en la pérdida en la entrada del tubo).

- **Pérdida por fricción en los tubos (hf):**

$$h_f = s_f \times L; \quad s_f = \left[\frac{n(v)}{R^{2/3}} \right]^2 ; R \frac{A}{P} = \pi \times D$$

Donde:

Sf = Pendiente de fricción del tubo (m/m)

L = Longitud total de la tubería (m)

A = Área hidráulica de la tubería (m²)

R = Radio Hidráulico de la tubería (m)

P = Perímetro mojado de la tubería (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

- **Pérdida de carga hidráulica total (htotal):**

$$h_{total} = h_e + h_s + h_f$$

- **Cálculo de Sumergencia en la entrada y salida :**

Sumergencia en la parte superior del tubo:

$$S_{me} = 1.78 \times h_v + 0.08$$

Sumergencia en la salida (se considera 4" siempre y cuando se trabaje en pulgadas).

$$S_{ms} = 4'' = 0.10\text{m.}$$

▪ **Cálculo de los lados de la caja de entrada:**

a) Ancho de la caja (B):

$$B = D + 0.305$$

D = Diámetro de la tubería en m.

b) Carga en la caja (h):

$Q = 1.84 \times b \times h^{3/2}$, despejando se tiene:

$$h = \left(\frac{Q}{1.84 \times B} \right)^{2/3} \text{ (m)}$$

▪ **Cálculo de cotas :**

a) Cotas de entrada de tubería :

Nivel mínimo Pelo de Agua canal principal = cota de rasante de canal + altura mínima de agua.

Sumergencia de entrada.

Cota parte superior del tubo (Entrada) = Nivel. M.P.A – Sme.

Diámetro del tubo.

Cota Pelo de agua en el tubo de entrada = cota de la parte superior del tubo – ϕ tubo.

b) Cotas en la salida de la tubería:

- Cota de suministro = N.M.P.A - htotal

- Sumergencia de salida.

- Cota parte superior del tubo de salida (Cst)

- Diámetro del tubo.

- Cota pelo de agua en el tubo de salida = Cst - ϕ tubo

- Cotas de caja de entrada.

- Se considera la cota en la entrada de la tubería incrementándole a ésta la carga en la caja.
- Cota en la salida del tubo = cota de entrada en el tubo – hf

PARTIDORES

Son estructuras que permiten distribuir el gasto en una canalización generalmente en 02 módulos. Los partidores pueden ser permanentes ó móviles. En el último caso los partidores se construyen de elementos metálicos móviles y en los primeros pueden ser de concreto ó albañilería. (Presenta un flujo subcrítico), se diseñan los partidores como rectangulares.

Criterios de diseño

- Flujo en el canal subcrítico.
- Flujo permanente.
- Calcular b_1 y b_2 .
- Ancho de cada canal es proporcional al caudal.

$$Q = (b_1 y_1) V_1 + (b_2 y_2) V_2$$

Aplicación:

$$\text{Si } Q_1 = 30\% \rightarrow Q_1 = (b_1 y_1) V_1$$

$$Q_2 = 70\% \rightarrow Q_2 = (b_2 y_2) V_2$$

CAÑO COMPUERTA

GENERALIDADES

1. Concepto

Son estructuras de cruce, que sirven para conducir agua de un canal o un dren por debajo de un camino u otro canal. Generalmente, la alcantarilla reduce el cauce de la corriente, ocasionando un represamiento del agua a su entrada y un aumento de su velocidad dentro del conducto y a la salida.

El control (caudal máximo) es una función del diámetro y de la cantidad de caños compuertas y de la diferencia de presión de agua existente dentro y fuera del tubo.

2. Finalidad

Permite el paso del agua en un solo sentido, por ejemplo permite la salida de un escurrimiento pero no su entrada. Esta estructura está generalmente localizada a la salida de un circuito interno de drenaje, es decir en el punto más bajo de un sector protegido por las obras modulares. Tiene un doble propósito:



Caño Compuerta [A]: En el tiempo que dure la creciente máxima por la obra de evacuación o conducción, el caño compuerta permanecerá cerrado. La presión de agua dentro de la estructura es mayor que en la sección de evacuación o conducción. Desde el

Caño Compuerta [A]: En el tiempo que dure la creciente máxima por la obra de evacuación o conducción, el caño compuerta permanecerá cerrado. Esto implica que los volúmenes de agua que circulan por la evacuación o la conducción no podrán ingresar al área interna sistematizada cuyo dren es el caño compuerta. Los excesos producidos en ese sector interno serán no tendrán salida instantánea. Los volúmenes de aguas internos no se suman al caudal de circulación, produciendo un verdadero efecto de retención en el momento del pico de crecida y beneficiando la evacuación aguas abajo. En esta situación, el caño compuerta cumple una función "solidaria", reteniendo escurrimientos donde son generados.

Caño Compuerta [B]: El nivel del agua en la obra de evacuación o conducción es menor que el caño compuerta, por lo que la tapa se abre automáticamente dejando pasar un caudal regulado, que irá evacuando el sector protegido lentamente, sin incrementar en exceso los volúmenes de evacuación. En este aspecto también se produce un efecto de amortiguación y control de escurrimientos del agua del manejo interno en una forma eficaz, de acuerdo con la filosofía de diseño.

ESTRUCTURAS DE MEDICIÓN DEL CAUDAL

Entre las principales estructuras tenemos:

- Vertederos
- Limnímetros
- Medidores Parshall

LIMNÍMETROS

GENERALIDADES

1. Concepto

Un limnímetro es simplemente una escala tal como una mira de topógrafo, graduada en centímetro. Se puede utilizar la mira del topógrafo; pero, por lo general se pinta una escala en una de las paredes del río que debe ser de [cemento](#). Basta con leer en la escala o mira, el nivel que alcanza el agua para saber el caudal de agua que pasa en este momento, pero previamente se tiene que calibrar la escala o mira.

La calibración consiste en aforar el río varias veces durante el año, en épocas de estiaje y épocas de avenidas, por el método de correntómetro y anotar la altura que alcanzó el agua, medida con el limnímetro.

2. Finalidad

El limnógrafo tiene la finalidad de medir o registrar los niveles de agua en forma continua en un [papel](#) especialmente diseñado, que gira alrededor de un tambor movido por un mecanismo de relojería.

CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS

La calibración consiste en aforar el río varias veces durante el año, en épocas de estiaje y épocas de avenidas, por el método de correntómetro y anotar la altura que alcanzó el agua, medida con el limnímetro.

Se hace varios aforos con correntómetro para cada determinada altura del agua. Con los datos de altura del agua (y) y del caudal (q) correspondiente obtenido, se construye la llamada curva de calibración en un eje de coordenadas cartesianas.

El limnímetro siempre debe colocarse, en el mismo sitio cada vez que se hace las lecturas y su extremidad inferior siempre debe estar sumergida en el agua.

Los Limnímetros pueden ser de metal o de [madera](#). Una escala graduada pintada en una pared de [cemento](#) al costado de unas de las riveras del río, también puede servir de limnímetro. Por lo general, aforos de agua se hace tres veces en el día, a las 6 am, 12 am, y 6 pm para obtener el caudal medio diario.

VERTEDEROS

GENERALIDADES

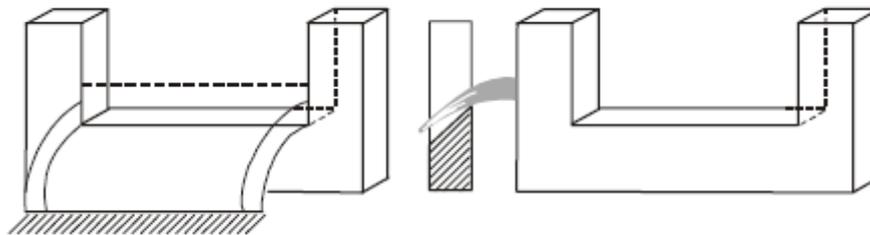
1. Concepto

Los vertederos son simples aberturas sobre las que se desliza un líquido. Pueden ser entendidos como orificios cuya arista superior está sobre el nivel de la superficie libre del líquido. Se suelen usar para medir caudales en conductores libres (canales, ríos). Pueden ser triangulares o rectangulares.



* **Vertedero rectangular de pared delgada**

Es el vertedero cuya sección de caudal es un rectángulo de paredes delgadas, de metal o de madera, y la cresta es achaflanada es decir, cortada en declive a fin de obtener una arista delgada.

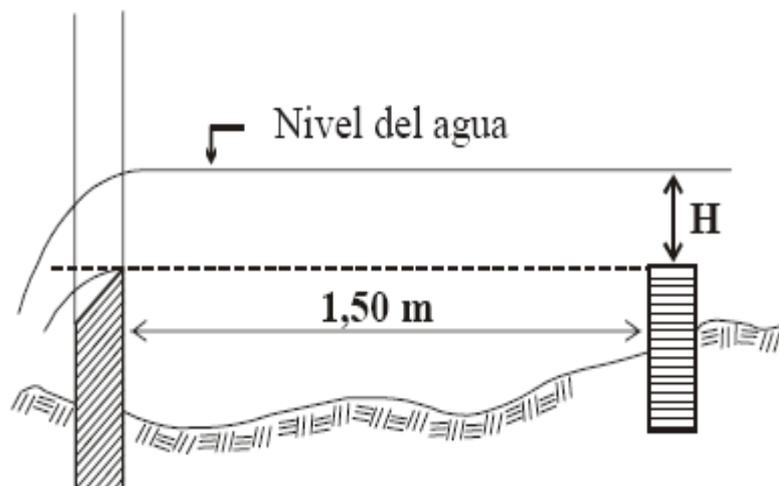


2. Localización del vertedero en un curso de agua

En un trecho rectilíneo del curso de agua, libre de turbulencias, preferiblemente sobre una saliente natural, se coloca el vertedero de tal manera que:

- La cresta quede perfectamente colocada en nivel;
- Esté en posición normal respecto a la corriente de agua;
- Esté firmemente colocada, con ayuda de estacas de madera o piedra;
- El agua no corra por el fondo o por los lados; es decir, que toda el agua discurra dentro de la abertura rectangular;
- El agua caiga libremente sin represamiento en el vertedero.

A 1,50 m se clava una estaca de madera nivelada con la cresta del vertedero.



- Se espera que el flujo del agua se normalice y se mide sobre la estaca la altura H .

La siguiente tabla muestra el caudal del curso de agua para las diversas alturas de H cuando el ancho de la cresta es 1,00 m. Si L fuera mayor o menor que

1,00 m, se corrige el caudal mediante la multiplicación del caudal de la tabla para H por el valor real de L.

VERTEDEROS RECTANGULARES

En una pared delgada, sin contracciones. Caudal por metro lineal de solera.

ALTURA H (CM)	Q (L/SEG)	ALTURA H (CM)	Q (L/SEG)
3	9,57	25	230,0
4	14,72	30	302,3
5	20,61	35	381,1
6	27,05	40	465,5
7	34,04	45	555,5
8	41,58	50	650,6
9	49,68	55	750,5
10	58,14	60	855,2
11	67,12	65	964,2
12	76,53	70	1.077,7
13	86,24	75	1.195,1
14	96,34	80	1.316,5
15	106,90	85	1.442,0
20	164,50	90	1.571,0

Los vertederos pueden utilizarse en combinación con un aparato denominado *limnógrafo* (el aparato registra la variación del nivel aguas arriba del vertedero). Consta esencialmente de una boya, cuyo eje está unido, a través de un cable, a un tambor cilíndrico que registra las variaciones de nivel con una pluma de tinta sobre un papel registrador. Este papel está colocado sobre un cilindro que da una rotación completa cada 24 horas. Desde el inicio se hace coincidir el punto cero con la altura de la cresta. Con las variaciones de nivel, la boya hará que la pluma registre ese nivel en el papel.

*** Vertedero triangular (ángulo recto) de paredes delgadas**

El registro y medida de la altura del líquido es el indicado para un vertedero rectangular. Los vertederos triangulares permiten tener medidas más precisas de las alturas correspondientes a caudales reducidos. Por lo general, se trabajan en metal. En la práctica, únicamente se emplean los que tienen forma de isósceles y lo

El siguiente
alturas de H.

ALTURA H (CM)	Q (L/SEG)	ALTURA H (CM)	Q (L/SEG)
3	0,14	17	16,7
4	0,42	18	19,2
5	0,80	19	22,0
6	1,24	20	25,0
7	1,81	21	28,3
8	2,52	22	31,8
9	3,39	23	35,5
10	4,44	24	39,5
11	5,62	25	43,7
12	6,98	30	69,0
13	8,54	35	101,5
14	10,25	40	141,7
15	12,19	45	190,1
16	14,33	50	247,5

gua para las diversas

DISEÑO DE UN VERTEDERO LATERAL:**Sub-Lateral N° 1 del Canal Carlos Leigh**
(Proyecto Especial Chinecas)

Canal	Caudal (m ³ /s)	Canal Entrada				Canal Salida			
		b (m)	z	H (m)	y (m)	b (m)	z	H (m)	y (m)
Sub-Lateral N° 1	0.16	0.50	0	0.65	0.25	0.90	0	0.40	0.13

Niveles:

Cota de fondo de Canal de Entrada = 168.35 m.s.n.m.

Cota de fondo de Canal de Salida = 167.80 m.s.n.m.

- 1. Cálculo del Caudal a derivar:** Siendo $Q = 0.16 \text{ m}^3/\text{s}$, entonces el ancho de caída resulta:

$$b = (18.78 \sqrt{Q}) / (10.11 + \sqrt{Q}) = (18.78 \sqrt{0.16}) / (10.11 + \sqrt{0.16})$$

$$b = 0.71 \text{ m} \approx 0.75 \text{ m}$$

$$b = 0.75 \text{ m}$$

Optaremos por aumentar el ancho de Caída debido a que el ancho del Canal de Salida es mayor que esta. Entonces asumiremos:

$$\mathbf{b = 0.90 \text{ m}}$$

Por lo tanto solo se considero para este diseño, solo una sola transición que será en la entrada.

- 2. Diseño de la Transición de Entrada:** Tenemos $T_1 = 0.90 \text{ m}$, $T_2 = 0.50 \text{ m}$, $\infty = 12.5^\circ$ (Recomendado para evitar turbulencias), entonces la transición en la entrada será:

$$L = (T_1 - T_2) / (2 \times \text{tg } \infty) = (0.90 - 0.50) / (2 \times \text{tg } 12.5^\circ)$$

$$\mathbf{L = 0.90 \text{ m}}$$

- 3. Dimensiones de la Caída Vertical sin Obstáculos:**

3.1 Tirante Crítico:

$$y_c = \sqrt[3]{(Q^2/(b^2 \times g))} = \sqrt[3]{(0.16^2/(0.90^2 \times 9.81))}$$

$$\mathbf{y_c = 0.15 \text{ m}}$$

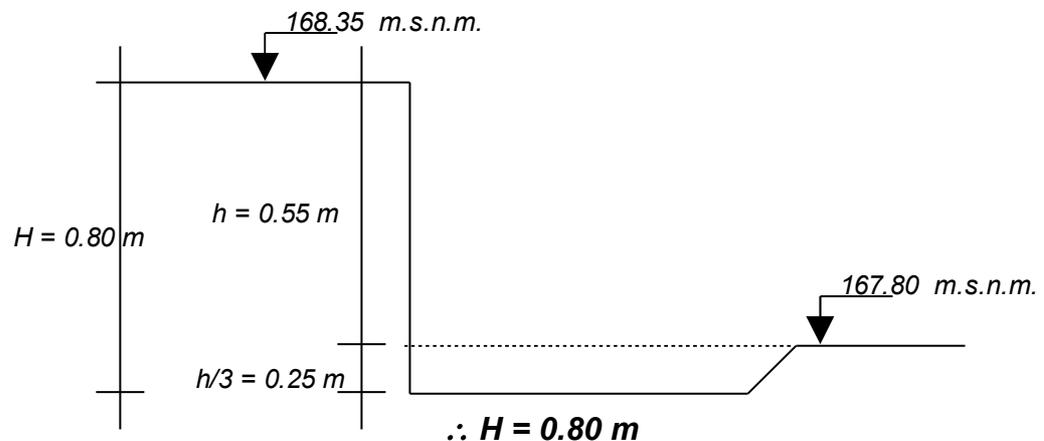
3.2 Altura de Caída: Hallamos los desniveles entre canales:

$h = \text{Cota fondo Canal de Entrada} - \text{Cota fondo Canal de Salida}$

$$h = (168.35 - 167.80) \text{ m.s.n.m.}$$

$$\mathbf{h = 0.55 \text{ m}}$$

Por lo tanto se considera 1 caída vertical ($D = 1$), y teniendo en cuenta que nuestro caudal es pequeño; podemos hallar la altura de caída por consideraciones prácticas de diseño.

3.3 Longitud de la Caída: Como $H = 0.80 \text{ m}$, tenemos:

$$L_d = 4.30 \times H \times D^{0.25}$$

Siendo:

$$D = Q^2/(b^2 \times H^3 \times g) = 0.16^2/(0.90^2 \times 0.80^3 \times 9.81)$$

$$D = 0.00629 \text{ (1 sola Caída)}$$

Entonces:

$$L_d = 4.30 \times 0.80 \times 0.00629^{0.25}$$

$$L_d = 0.88 \approx 0.90 \text{ m}$$

$$\mathbf{L_d = 0.90 \text{ m}}$$

3.4 Tirante bajo la Cámara de Aire:

$$y_p = H \times D^{0.22} = 0.80 \times 0.00629^{0.22}$$

$$\mathbf{y_p = 0.25 \text{ m}}$$

3.5 Tirante antes del Resalto Hidráulico:

$$y_1 = 0.54 \times H \times D^{0.425} = 0.54 \times 0.80 \times 0.00629^{0.425}$$

$$\mathbf{y_1 = 0.05 \text{ m}}$$

3.6 Tirante Conjugado:

$$y_2 = 1.66 \times H \times D^{0.27} = 1.66 \times 0.80 \times 0.00629^{0.27}$$

$$y_2 = 0.34 \text{ m}$$

3.7 Verificación del Resalto Hidráulico: Para que se produzca el Resalto Sumergido se debe de garantizar que $y_n > y_2$; como el tirante en el Canal de Salida es de 0.13 m, entonces:

$$y_n = 0.13 \text{ m}$$

Habiendo un umbral entre la Poza Disipadora y el Canal de Salida, entonces:

$$y_n = 0.13 \text{ m} > y_2 = 0.34 - 0.25 = 0.09 \text{ m}$$

∴ El Resalto Hidráulico es Sumergido

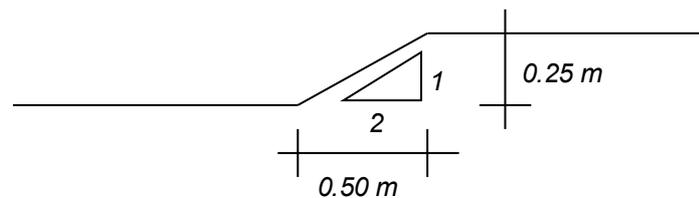
4. Longitud de la Poza Disipadora:

$$L = L_d + L_o = 0.90 + 5(y_2 - y_1) = 0.90 + 5(0.34 - 0.05)$$

$$L = 2.35 \text{ m} \approx 2.40 \text{ m}$$

$$\mathbf{L = 2.40 \text{ m}}$$

Umbral: Tomaremos un umbral de relación **1:2**.



5. Altura de los Muros de Encauzamiento: (Muros Laterales)

5.1 Para el Canal de Entrada: Tenemos los siguientes datos del Canal de Entrada:

$y = 0.25 \text{ m}$; $b = 0.50 \text{ m}$, entonces la altura del Muro Lateral es:

$$H_e = y + f_b$$

Para designar el valor del borde libre tomaremos el criterio de acuerdo al ancho de la solera, mediante el empleo de la siguiente tabla:

Ancho Solera (m)	Borde Libre (m)
Hasta 0.80	0.40
De 0.80 a 1.50	0.50
De 1.50 a 3.00	0.60
De 3.00 a 20.00	1.00

Entonces:

$$H_e = (0.25 + 0.40) \text{ m}$$

$$\mathbf{H_e = 0.65 \text{ m}}$$

5.2 Para el Canal de Salida: Tenemos los siguientes datos del Canal de Salida:

$y = 0.13 \text{ m}$; entonces la altura del Muro Lateral es:

$$H_e = y + f_b$$

Para designar el valor del borde libre tomaremos el criterio de acuerdo al caudal, mediante el empleo de la siguiente tabla:

Caudal (m ³ /s)	Borde Libre (m)
Menores que 0.50	0.30
Mayores que 0.50	0.40

Entonces: $H_e = (0.13 + 0.30) \text{ m}$

$$H_e = 0.43 \text{ m}$$

Tomaremos: **$H_e = 0.40 \text{ m}$**

AFORADOR PARSHALL

GENERALIDADES

1. Concepto

Es un medidor que se incluye entre los régimen critico, siendo idealizado por R. L. PARSHALL, ingeniero del servicio de Irrigación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Consiste en una sucesión convergente, una sección de paredes verticales paralelas llamada garganta y una sección divergente, dispuestas en planta.

2. Finalidad

Tiene como objetivo principal la irrigación: los de tamaños menores, para regular la descarga de agua distribuida a las propiedades agrícolas y los mayores, para ser aplicados a los grandes canales de riego.

Los medidores Parshall vienen siendo aplicados al control de la velocidad, en los desarenadores de las estaciones de tratamiento de aguas.

3. Ventajas

Las ventajas de los medidores Parshall, pueden ser resumidas como sigue:

- * El diseño es simple y su construcción suele resultar barata si se ubica en lugares que deben revestirse o si se combina con caídas, sifones, etc.
- * La estructura trabaja aún teniendo gran variación en el gasto y éste se puede determinar con bastante precisión pues cuando el medidor trabaja con descarga libre el error es menor 3% y cuando trabaja ahogado el error no pasa del 5%.
- * No se produce el problema de avenamiento en la estructura ni aguas arriba de ella conservando siempre su misma precisión.
- * No hay peligro de formación de depósitos debido a materias en suspensión, siendo por ello de gran utilidad en el caso de alcantarillas o de aguas que llevan sólidos en suspensión.

- * Pueden funcionar como un dispositivo en que una sola medición de H es suficiente.
- * Gran habilidad para soportar sumergencias elevadas, sin alteración de caudal.
- * Medidores Parshall de 105 más variados tamaños, ya fueron ensayados hidráulicamente, lo que permite su empleo en condiciones semejantes, sin necesidad de muchos ensayos o aforos.
- * En su ejecución pueden ser empleados diversos materiales seleccionándose el más conveniente para las condiciones locales.
- * Hidráulicamente funciona bien por su baja pérdida de carga con relación a otros tipos de medidores.
- * Su conservación es casi nula y su fácil lectura permite un control a nivel de usarlo y sus sectoristas de riego, sin mayor experiencia.

4. Descripción de la Estructura

El medidor Parshall consta básicamente de tres partes fundamentales: La entrada, la garganta y la salida.

- La entrada consta de dos paredes verticales simétricas y convergentes de inclinación 5:1 con fondo o plantilla horizontal.
- La garganta consta de 2 paredes verticales y paralelas, el fondo inclinado hacia abajo con pendiente 2.67:1.
- La salida son 2 paredes verticales divergentes con el fondo ligeramente inclinado hacia arriba.

Cabe señalar que la arista que se forma por la unión del fondo de la entrada y el de la garganta se llama cresta del medidor cuyo ancho se le designa con la letra W y se le llama tamaño del medidor.

5. Condiciones de Descarga

El flujo a través de un medidor Parshall se puede verificar en dos condiciones diferentes, que corresponden a dos regímenes distintos:

- Flujo o descarga libre; la descarga se hace libremente como en los vertederos, en que la vertiente es independiente de las condiciones de aguas abajo.
 - * Sin salto hidráulico: Este caso se presenta cuando el tirante aguas abajo del medidor es muy pequeño en relación al nivel de la cresta del medidor y físicamente se manifiesta con una circulación libre del agua en el medidor, sin producir ninguna turbulencia o cambio brusco del tirante de agua.
 - * Con salto hidráulico: Este caso se presenta, cuando el tirante aguas abajo del medidor es lo suficientemente grande con respecto al nivel de la cresta y por lo tanto el agua trata de recuperar el nivel de aguas abajo, lo cual se hace bruscamente, produciendo el salto hidráulico, siempre y cuando el salto

hidráulico se produzca fuera de la garganta el escurrimiento será libre.

- Ahogamiento o sumersión; cuando el nivel de aguas abajo es suficientemente elevado para influir y retardar el flujo a través del medidor; el régimen comúnmente señalado como descarga sumergida, de características diferentes de aquellas que se emplean para los vertederos.

Sumergencia:

A la relación:
$$S = \frac{H_b}{H_a}$$

Se le conoce como grado de sumergencia o de sumersión y es la que determina si en un momento dado, el medidor trabaja libre o con sumersión; estas características de escurrimiento están determinadas con los siguientes valores:

<u>Tamaño del Medidor</u>	<u>Descarga Libre</u>	<u>Con sumersión</u>
W menor de 0.30 m	S menor que 0.6	S de 0.6 a 0.95
W entre 0.30 y 2.50 m	S menor que 0.7	S de 0.7 a 0.95
W entre 2.50 y 15.0 m	S menor que 0.80	S de 0.8 a 0.95

Parshall demostró que cuando la sumergencia es mayor de 0.95 la determinación del gasto se vuelve muy incierta debiendo adoptarse $S = 0.95$ como valor máximo.

6. Cálculo del Caudal del Medidor (m³/seg)

a) En Descarga Libre

Normalmente se recomienda que el medidor trabaje en descarga libre, ya que para el cálculo del gasto, será suficiente conocer la altura de carga H_a sustituyéndola en la expresión:

$$\text{Para } w = 0.15 \text{ m} \quad Q = 0.3812 H_a^{1.58} \quad (1)$$

$$\text{Para } w \text{ entre } 0.30 \text{ y } 2.50 \text{ m} \quad Q = 0.3716w (3.2812 H_a)^{1.57w^{0.026}} \quad (2)$$

$$\text{Para } w \text{ entre } 2.50 \text{ y } 15.0 \text{ m} \quad Q = (2.293 w + 0.474) H_a^{1.6} \quad (3)$$

b) En Descarga Sumergida

Cuando un medidor trabaja sumergido el gasto se calcula según la siguiente expresión general:

$$Q = m H_a^n - C \quad (4)$$

Donde:

m y n = valores que se indican en la tabla.

H_a = Carga en la entrada del medidor

C = Factores de ajuste que está en función de w , H_a y S , su valor se

calcula según las siguientes expresiones:

$$\text{Para } w = 0.15 \text{ m} \quad C = \frac{0.0285 \text{ Ha}^{2.22}}{\frac{\text{Ha} + 3.05}{3.05} - S^{1.44}} - \frac{\text{Ha} - 0.056}{87.94} \quad (5)$$

Para w entre 0.30 y 2.50 m

$$C = 0.0746 \left[\left(\frac{3.28 \text{ Ha}}{\left(\frac{1.8}{S} \right)^{1.8} - 2.45} \right)^{4.57 - 3.14S} + 0.093S \right] w^{0.815} \quad (6)$$

$$\text{Para } w \text{ entre } 2.50 \text{ y } 15.0 \text{ m} \quad C = 69.671 (S - 0.17)^{3.333} \text{ Ha}^2 w \quad (7)$$

Valores de m y n para Q en medidores de Parshall

w (m)	m	n	w (m)	m	n
0.15	0.3812	1.58	4.50	10.790	1.60
0.30	0.680	1.522	5.00	11.937	1.60
0.50	1.161	1.542	6.00	14.229	1.60
0.75	1.774	1.558	7.00	16.522	1.60
1.00	2.400	1.570	8.00	18.815	1.60
1.25	3.033	1.579	9.00	21.107	1.60
1.50	3.673	1.588	10.00	23.400	1.60
1.75	4.316	1.593	11.00	25.692	1.60
2.00	4.968	1.599	12.00	27.985	1.60
2.50	6.277	1.608	13.00	30.278	1.60
3.00	7.352	1.60	14.00	32.570	1.60
3.50	8.498	1.60	15.00	34.863	1.60
4.00	9.644	1.60			

7. Pérdida de Carga en el Medidor

Las pérdidas de carga que se producen en un medidor, son función del gasto " Q ", del tamaño " w " y del grado de sumersión " S " con que trabaja la estructura.

Parshall dio la fórmula para calcular las pérdidas en medidores de 10 a 50 pies (3.0 a 15.0 m) mas no para medidores de menor tamaño.

El valor de la pérdida de carga para medidores entre 3.0 y 15.0 m se calcula según la fórmula:

$$P = \frac{5.072}{(w + 4.57)^{1.46}} (1 - S)^{0.72} Q^{0.67} \quad (8)$$

8. Criterio de Selección del Tamaño Máximo adecuado

Esto se reduce a comparar únicamente la relación tamaño w y la pérdida de carga que tienen lugar en diferentes tamaños de medidores a fin de seleccionar aquel que presente mayores ventajas, para esto, es necesario conocer el caudal máximo a medir y para seleccionar entre el más adecuado se debe tener en cuenta:

1. El menor de los medidores con la capacidad requerida será el más desfavorable.
2. Un medidor demasiado grande resulta impreciso ya que una variación pequeña en la carga corresponde a una variación considerable en el gasto.
3. Se debe tener en cuenta que un medidor pequeño origina una pérdida de carga fuerte, lo que significa un apreciable aumento en el tirante del canal aguas arriba del medidor y si existe una toma cerca, el caudal de captación será menor que aquel para el cual fue diseñada la toma.
4. Muchas veces se requiere instalar un medidor de tamaño mayor al mínimo necesario, debido a la fuerte velocidad que se produce a la salida, puesto que ésta será mayor en la medida que más pequeño sea el medidor.
5. El tamaño del medidor w varía de $1/3$ a $1/2$ del ancho de la plantilla del canal, cuando se trata de canales rectangulares pequeños, y de $2/3$ aproximadamente cuando se trata de canales trapezoidales.
6. Siempre es necesario conocer de antemano la pérdida de carga que origina la estructura, para adoptar una correcta elevación de la cresta sobre la pantalla del canal.
7. Se deberá tener en cuenta que cuando el tamaño del medidor " w " se disminuye, la elevación de la cresta sobre la plantilla del canal.
8. A mayor gasto corresponde mayor grado de sumersión y debe tenerse en cuenta que para un buen funcionamiento del medidor, nunca deberá hacerse trabajar con un grado de sumersión mayor que 0.95.
9. El diseño del medidor termina con el cálculo del nivel de la cresta, sirviendo las comprobaciones del tirante aguas arriba para certificar si la altura del borde del canal es suficiente para contener el represamiento producido por medidor, si la diferencia es pequeña se sobreelevará los bordes y si es excesiva se elegirá un medidor con mayor ancho de garganta.

CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS

Los medidores Parshall deben ser localizados tratando de evitarse grandes turbulencias en su sección inicial. No deben, por ejemplo ser instalados inmediatamente después de una compuerta o una curva, pues las turbulencias provocadas en el agua podrían causar ondas y sobre elevaciones capaces de alterar la precisión de los resultados.

Lo ideal es proyectar tales medidores en un tramo recto del canal. Si conviene se puede construir una rampa inicial, con pendiente ascendente de 1:4 hasta comenzar la sección convergente

La selección del tamaño medidor Parshall más conveniente para cualquier gama de caudales envuelve consideraciones como las siguientes: ancho del canal existente, tirante del agua en ese canal, pérdida de carga admisible, posibilidad de caudales futuros diferentes, etc.

Para la fijación de las dimensiones definitivas, se puede partir de un tamaño elegido inicialmente realizándose para el mismo y para otros tamaños próximos, los cálculos y verificaciones por las formulas y diagramas.

Como primera indicación, conviene mencionar que el ancho de la garganta (W), frecuentemente, está comprendido entre un tercio y la mitad del ancho de los canales existentes.

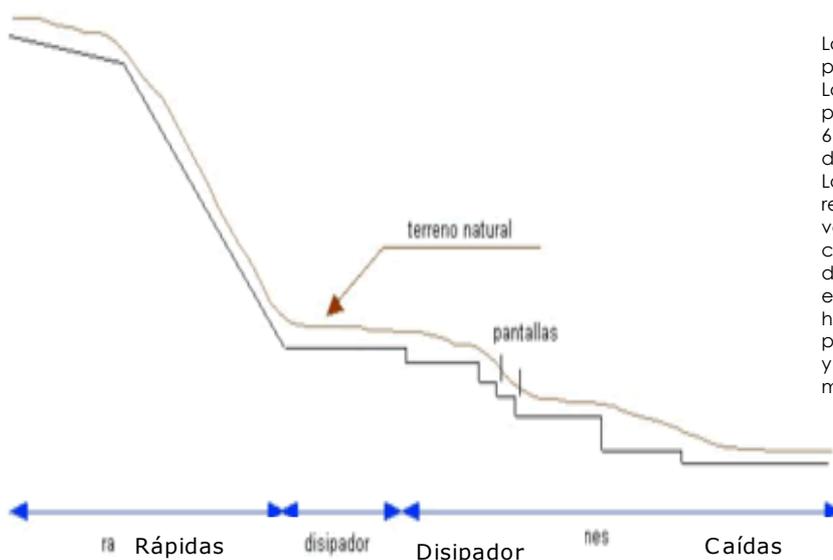
Esto; sin embargo, no se aplica, a los canales con tirantes bajos o a los muy profundos o estrechos.

4. ESTRUCTURAS PARA SALVAR DESNIVELES

Son estructuras para controlar velocidades en tramos de altas pendientes, siguiendo las variaciones del terreno.

- Rápidas

- Caídas



Las rampas son apropiadas cuando la pendiente del terreno es superior al 30%. La estructura de caídas debe ser fuerte, para soportar las velocidades mayores de 6 m/s. Al final de las rápidas se coloca un disipador de energía. Las caídas funcionan bien cuando la relación entre el tramo horizontal y el vertical es mayor de 5 a 1. Cuando las condiciones del terreno no permiten diseñar la estructura con esta relación entonces se puede bajar la relación hasta 3 a 1. Cuando se incluya pantallas que reciban el chorro de agua y no permitan que se dispare como se muestra en la figura. Las rampas son apropiadas cuando la pendiente del terreno es superior al 30%. La estructura de caídas debe ser fuerte, para soportar las velocidades mayores de 6 m/s. Al final de la rampa se coloca un tanque disipador de energía. Las caídas funcionan bien cuando la relación entre el tramo horizontal y el vertical es mayor de 5 a 1. Cuando las condiciones del terreno no permiten diseñar la estructura con esta relación entonces se puede bajar la relación hasta 3 a 1, pero deberán incluirse pantallas que reciban el chorro de agua y no permitan que se dispare, como se muestra en la figura.

CAÍDAS

GENERALIDADES

1. Concepto

Son estructuras utilizadas en aquellos puntos donde es necesario efectuar cambios bruscos en la rasante del canal, permite unir dos tramos (uno superior y otro inferior) de un canal, por medio de un plano vertical (muro de sostenimiento de tierra capaz de soportar el empuje que estas ocasionan), permitiendo que el agua salte libremente y caiga en el tramo de abajo.

2. Finalidad

Conducir agua desde una elevación alta hasta una elevación baja y disipar la energía generada por esta diferencia de niveles. La diferencia de nivel en forma de una caída, se introduce cuando sea necesario de reducir la pendiente de un canal.

3. Elementos De Una Caída Vertical

En el diseño de una caída, se pueden distinguir los siguientes elementos:

1.0 Transición de entrada: une por medio de un estrechamiento progresivo la sección del canal superior con la sección de control.

2.0 Caída en sí: la cual es de sección rectangular y puede ser vertical o inclinada.

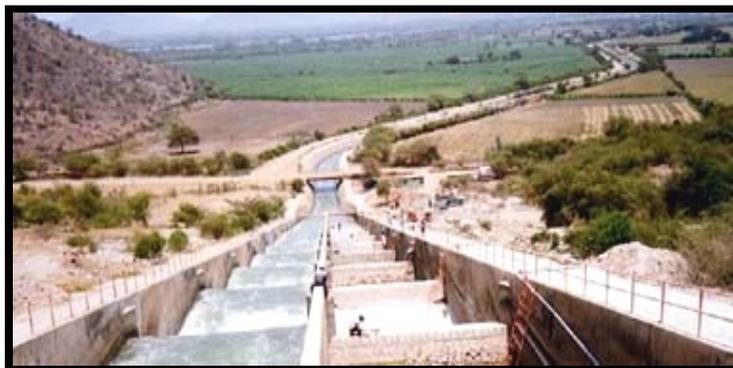
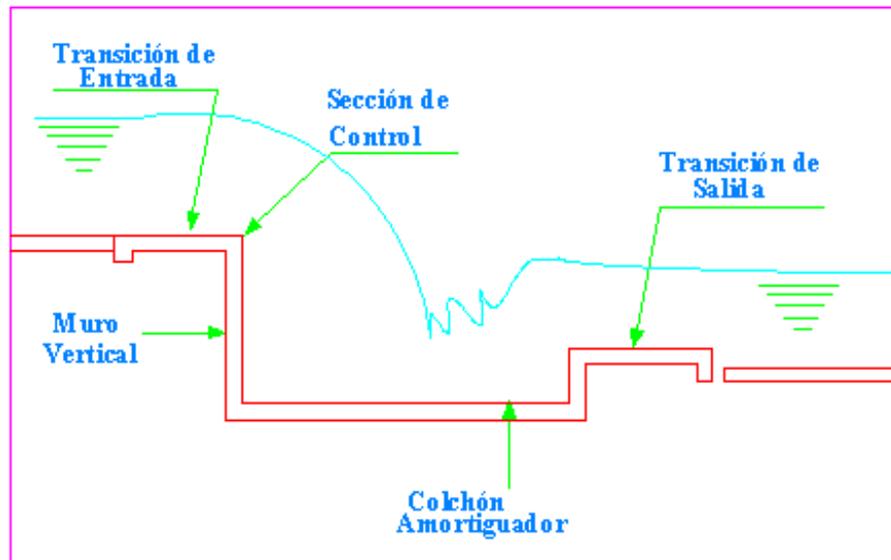
3.0 Sección de control: es la sección correspondiente al punto donde se inicia la caída, cercano a este punto se presentan las condiciones críticas.

La sección de control tiene por finalidad, mantener el flujo aguas arriba en régimen tranquilo, de manera que es en la misma sección de control donde ocurre el cambio de régimen y el agua alcanza la profundidad y velocidad crítica.

La sección de control consiste en una variación de la sección del canal en el punto donde se inicia la caída o una rampa en contra pendiente, de manera que la energía en el canal aguas arriba sea igual a la energía en el punto donde se inicia la caída.

4.0 Poza o colchón amortiguador: es de sección rectangular, siendo su función la de absorber la energía cinética del agua al pie de la caída.

5.0 Transición de salida: une la poza de disipación con el canal aguas abajo.



PROYECTO ESPECIAL "OLMOS TINAJONES"
(Dpto. Lambayeque-Cajamarca y Piura)

CARACTERÍSTICAS DE LA CAÍDA VERTICAL

- 1.0 Al caer la lámina vertiente extrae una continua cantidad de aire de la cámara, el cual se debe remplazar para evitar la cavitación o resonancias sobre toda la estructura.

2.0 Para facilitar la aireación se puede adoptar cualquiera de las soluciones siguientes:

- a) Contracción Lateral completa en crestas vertientes, disponiéndose de este modo de espacio lateral para el acceso de aire debajo de la lamina vertiente.
- b) Agujeros de ventilación, cuya capacidad de suministro de aire en m³/seg/m. De ancho de cresta de la caída.

$$qa = 0.1 \frac{q_w}{\left(\frac{Y_p}{Y} \right)^{1.5}}$$

Donde:

qa = Suministro de aire por metro de ancho de cresta.

Y = Tirante normal aguas arriba de la caída

qw = Máxima descarga unitaria sobre la caída.

CRITERIOS DE DISEÑO DE UNA CAÍDA

Numero de caídas.

Longitud e transición de entrada.

Ancho del canal en el tramo de la caída.

Diseñar la poza disipadora en función de la altura de caída.

Borde libre de la caída.

Rugosidad en el funcionamiento de la caída.

Ventilación bajo la lamina vertiente.

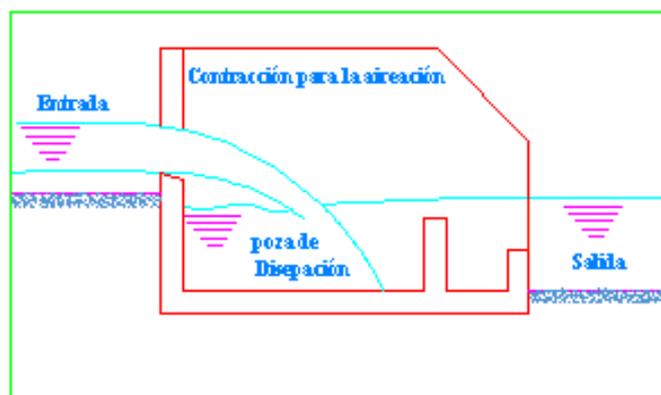
Verificar que la velocidad del flujo de la caída este en el rango de

$$0.6\text{m/s} < v < (1.5 - 2) \text{ m/s.}$$

- Tener cuidado el mal funcionamiento hidráulico del chorro de la caída por que puede producir una gran erosión en el muro vertical.

CAÍDAS VERTICALES CON OBSTÁCULOS PARA EL CHOQUE

El Bureau of Reclamation, ha desarrollado para saltos pequeños, un tipo de caída con obstáculos donde choca el agua de la lámina vertiente y se ha obtenido una buena disipación de energía para una amplia variación de la profundidad de la lámina aguas abajo a tal punto que puede considerarse independiente del salto.



PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO DE UNA CAÍDA SIN OBSTÁCULO

1. Diseño del canal, aguas arriba y aguas abajo de la caída

Utilizar las consideraciones prácticas que existen para el diseño de canales.

2. Cálculo del ancho de la caída y el tirante en la sección de control

En la sección de control se presentan las condiciones críticas. Para una sección rectangular las ecuaciones que se cumplen son las siguientes:

$$y_c = \frac{2}{3} E_{\min}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}}$$

$$b = \sqrt{\frac{27Q^2}{8E_{\min}^3 g}}$$

$$D = \left(\frac{y_c}{n} \right) \quad (\text{Numero de caída})$$

Se puede asumir que $E_{\min} = E_n$ (energía específica en el canal), para inicio de los cálculos realizar la verificación.

También se puede suponer un ancho en la sección de control de la caída, calcular el tirante crítico y por la ecuación de la energía calcular el tirante al inicio de la transición.

Existen fórmulas empíricas para el cálculo del ancho de la rápida, las cuales son:

- De acuerdo a Dadenkov, puede tomarse:

$$b = 0.765Q^{\frac{2}{5}} \quad (\text{Ancho de la caída})$$

Otra fórmula empírica:
$$b = \frac{18.78\sqrt{Q}}{10.11 + \sqrt{Q}} \quad (\text{Ancho de la caída})$$

Por lo general el ancho de solera con esta última fórmula, resulta de donde: mayor magnitud que con la fórmula de Dadenkov.

3. Diseño de la transición de entrada

Para el caso de una transición recta la ecuación utilizada es:

$$L = \frac{T_1 - T_2}{2\text{tg}12.5^\circ}$$

Donde:

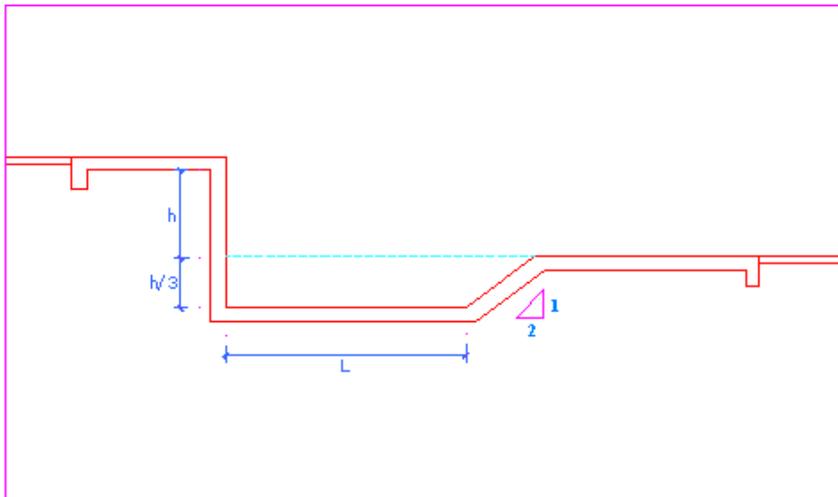
T1 = espejo de agua en el canal.

T2 = b = ancho de solera en la caída.

4. Cálculo de la transición de salida

Se realiza de la misma forma que la transición de entrada

5. Dimensiones de la caída ($Q < 0.1 \text{ m}^3/\text{s}$)



RÁPIDAS

GENERALIDADES

1. Concepto

Las rápidas son estructuras que sirven para enlazar dos tramos de un canal donde existe un desnivel considerable en una longitud relativamente corta.

2. Finalidad

Se diseñan para generar pérdidas hidráulicas importantes en los flujos de alta velocidad. El objetivo es reducir la velocidad y pasar el flujo de régimen supercrítico a subcrítico.

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

1. Coeficiente de rugosidad de Manning

En el cálculo de las características de flujo en una estructura de este tipo son usados valores conservadores del coeficiente de rugosidad de Manning "n". Cuando se calcula la altura de muros en una rápida de concreto, se asume valores de $n = 0.014$ y en el cálculo de niveles de energía valores de $n = 0.010$.

2. Transiciones

Las transiciones en una rápida abierta, deben ser diseñadas para prevenir la formación de ondas. Un cambio brusco de sección, sea convergente o divergente, puede producir ondas que podrían causar perturbaciones, puesto que ellas viajan a través del trazo inclinado y el dissipador de energía. Para evitar la formación de ondas, la cotangente del ángulo de deflexión de la superficie de agua en el plano de planta desarrollado de cada lado de una transición no debería ser menor que 3.3775 veces el número de Froude (F). Esta restricción sobre ángulos de deflexión se aplicaría para cada cambio de sección hecha en la entrada, en el tramo inclinado o en la poza dissipadora. Si esta restricción no controla el ángulo de deflexión, el máximo ángulo de deflexión de la superficie de agua en la transición de entrada puede ser aproximadamente 30° . El ángulo de la superficie de agua con el eje en la transición de salida puede ser aproximadamente 25° como máximo. El máximo ángulo de deflexión es calculado como sigue:

$$\text{Cotang } \alpha = 3.3775 F \quad \dots (1)$$

Donde:

$$F = \frac{V}{\sqrt{(1-K)gd \cos\theta}} \quad \dots (2)$$

d = Tirante de agua normal al piso de la rápida; usando d = área de la sección/ ancho superior de la sección

g = Aceleración de la gravedad (9.81 m/seg^2 , o sea 32.2 pies/seg^2)

K = Un factor de aceleración, determinado:

- Con el piso de la transición en un plano $K = 0$

- Con el piso de la transición en una curva circular:

$$K = \frac{V}{g R \cos \theta} \quad \dots (3)$$

- Con el piso de la transición en una curva parabólica:

$$K = \frac{(\tan \theta_L - \tan \theta_o) 2 h_v \cos^2 \theta_o}{L_T} \quad \dots (4)$$

El Bureau of Reclamation limita el valor de K hasta un máximo de 0.5, para asegurar una presión positiva sobre el piso.

Puede ser usado el promedio de los valores de F en el inicio y final de la transición.

En (3) y (4):

h_v = carga de velocidad en el origen de la trayectoria (a)

L_T = Longitud de la trayectoria (m)

R = radio de curvatura del piso (m)

V = velocidad en el punto que esta siendo considerado (m/seg)

θ_L = ángulo de la gradiente del piso en el final de la trayectoria L

θ_o = ángulo de la gradiente del piso en el inicio de la trayectoria L

θ_T = ángulo de la gradiente del piso en el punto que está siendo considerado

El ángulo acampanado y los anchos para varios puntos a lo largo de la transición pueden ser calculados y trazados. Una cuerda que se aproxime a la curva teórica puede ser dibujada para determinar el acampamiento a ser usado. Limitando el ángulo de acampamiento en una transición de entrada, se minimiza la posibilidad de separación y el inicio de flujo pulsante en aquella parte de la estructura.

Las transiciones de entrada asimétricas y cambios de alineamientos inmediatamente aguas arriba de la estructura, deben evitarse porque pueden producir ondas cruzadas o flujo transversal que continuará en el tramo inclinado.

3. Tramo inclinado

La sección usual para una rápida abierta es rectangular, pero las características de flujo de otras formas de sección, pero las características de flujo de otras formas de sección, deben ser consideradas donde la supresión de ondas es una importante parte del diseño. La economía y facilidad de construcción son siempre consideradas en la elección de una sección. Cuando es necesario incrementar la resistencia del tramo inclinado al deslizamiento, se usan "uñas" para mantener la estructura dentro de la cimentación.

Para rápidas menores de 9 m (30 pies) de longitud, la fricción en la rápida puede ser despreciable. La ecuación de Bernoulli es usada para calcular las variables de flujo al final del tramo inclinado.

La ecuación:

$$d_1 + h_v + z = d_2 + h_{v2} + h_f \quad \dots (5)$$

Es resuelta por tanteo. La distancia z es el cambio en la elevación del piso. Para tramos inclinados de longitud mayor de 9m (pies), se incluyen las pérdidas por fricción será:

$$d_1 + h_{v1} + z = d_2 + h_{v2} + h_f \quad \dots (6)$$

En las ecuaciones (5) y (6):

d_1 = Tirante en el extremo aguas arriba del tramo (m)

h_{v1} = Carga de velocidad en el extremo aguas arriba del tramo (m)

d_2 = Tirante en el extremo aguas abajo del tramo (m)

h_{v2} = Carga de velocidad en el extremo aguas abajo del tramo (m)

L = Cantidad h_v es la perdida por fricción en el tramo y es igual a la pendiente de fricción promedio S_a en el tramo, multiplicado por la longitud del tramo L . El coeficiente n de Manning es asumido en 0.010. La pendiente de fricción S_f en un punto del tramo inclinado es calculado como:

$$S_f = \frac{h^2 V^2}{R^{4/3}}$$

Donde:

R = Radio hidráulico del tramo inclinado (m).

Usando la ecuación (5) o la (6), se asume S_a y se calculan y comparan los niveles de energía. Deben hacerse tanteos adicionales hasta balancear los dos niveles de energía.

Otra forma de la ecuación en que la fricción es considerada es:

$$L = \frac{(d_1 + h_{v1}) - (d_2 + h_{v2})}{S_a - S_f} \quad \dots (7)$$

Donde:

S_s = Pendiente de fricción promedio

S_f = Pendiente de fondo del tramo inclinado

Usando la ecuación (7), se usa un procedimiento, en el cual se asumen pequeños cambios de energía y se calcule el correspondiente cambio en longitud. Este procedimiento es repetido hasta que el total de los incrementos de longitud sea igual a la longitud del tramo que está siendo considerado. Mientras menor sea el incremento de longitud, mayor será la precisión.

La altura de los muros en el tramo inclinado de sección abierta sería igual al máximo tirante calculado en la sección, más un borde libre, o a 0.4 veces el tirante crítico en el tramo inclinado; más el borde libre cualquiera que sea mayor. El borde libre mínimo recomendado para tramos inclinados de rápidas en canales abiertos (con una capacidad $< 2.8 \text{ m}^3/\text{seg.}$ o sea $< 100 \text{ pies}^3/\text{seg.}$) es 0.30m (12

pulg.). El tirante y el borde libre son medidos perpendicularmente al borde del tramo inclinado.

En velocidades mayores que 9 m/seg. (30 pies/seg), el agua puede incrementar su volumen, debido al aire incorporado que está siendo conducido. El borde libre recomendado para los muros resultará de suficiente altura para contener este volumen adicional.

4. Trayectoria

Cuando el dissipador de energía es una poza, un corto tramo pronunciado debe conectar la trayectoria con la poza dissipadora. La pendiente de este tramo sería entre 1.5:1 y 3:1, con una pendiente de 2:1 preferentemente. Pendientes más suaves pueden ser usadas en casos especiales, pero no deben usar pendientes más suaves que 6:1. Se requiere de una curva vertical entre el tramo inclinado y el tramo con pendiente pronunciada. Una curva parabólica resultaría en un valor de K constante en la longitud de la curva y es generalmente usado. Una trayectoria parabólica puede ser determinada de la siguiente ecuación:

$$Y = X \tan \theta_0 + \frac{(\tan \theta_L - \tan \theta_0) X^2}{2 L_T} \quad \dots (8)$$

Donde:

X = Distancia horizontal desde el origen hacia un punto sobre la trayectoria (m)

Y = Distancia vertical desde el origen hacia el punto X en la trayectoria (m)

L_T = Longitud horizontal desde el origen hacia el fin de la trayectoria (m)

θ_L = Angulo de inclinación del tramo inclinado al final de la trayectoria

θ_0 = Angulo de inclinación del tramo inclinado al comienzo de la trayectoria

Puede seleccionarse una longitud de trayectoria (L_T) que resulta en un valor K = 0.5 o menos, cuando es sustituida dentro de la ecuación (4). La longitud L_T es usada entonces en el cálculo de Y, usando la ecuación (8).

La trayectoria debería terminar en la intersección de los lados del tramo inclinado con los muros de la poza dissipadora aguas arriba de este punto. Una curva de gran longitud de radio, ligeramente más suave que la trayectoria calculada, podría usarse. Si es posible la trayectoria debe coincidir con cualquiera que sea la transición requerida.

Las variables de flujo en la trayectoria y en el tramo corto de pendiente pronunciada son calculados de la misma manera como fueron calculados en el tramo inclinado. Se asume una elevación para el piso de la poza dissipadora y se calcula el gradiente de energía en la unión del tramo inclinado y el piso de la poza. Las variables de flujo en este punto son usados como las variables aguas arriba del salto hidráulico en el diseño de la poza dissipadora.

5. Poza disipadora

En una poza disipadora el agua fluye desde el tramo corto de creciente pronunciada a una velocidad mayor que la velocidad crítica. El cambio abrupto en la pendiente, donde la pendiente suave del piso de la poza disipadora se une con el tramo corto de pendiente pronunciada, fuerza al agua hacia un salto hidráulico y la energía es disipada en la turbulencia resultante. La poza disipadora es dimensionada para contener el salto. Para que una poza disipadora opere adecuadamente, el número de Froude debería estar entre $4.5 < F < 15$, donde el agua ingresa a la poza disipadora. Estudios especiales o pruebas de modelos se requieren para estructuras con número de Froude fuera de este rango. Si el número de Froude es menor que aproximadamente 4.5 no ocurriría un salto hidráulico estable. Si el número de Froude es mayor que 10, una poza disipadora no sería la mejor alternativa para disipar energía. Las pozas disipadoras requieren de un tirante de aguas abajo para asegurar que el salto ocurra donde la turbulencia pueda ser contenida.

Las pozas disipadoras usualmente tienen una sección transversal rectangular, muros paralelos y un piso a nivel. Las siguientes ecuaciones se aplican a este tipo de poza, para determinar el ancho de la poza y el tirante después del salto.

A veces son usadas pozas con muros divergentes, que requieren atención especial. Para caudales hasta $2.8 \text{ m}^3/\text{seg}$ ($100 \text{ pies}^3/\text{seg}$), la ecuación:

$$b = \frac{18.78 \sqrt{Q}}{Q + 10.11} \quad \dots (9)$$

Donde:

b = Ancho de la poza (m)

Q = Caudal (m^3/seg)

Una poza disipadora y una transición de salida construidas para las dimensiones recomendadas talvez no contengan completamente la salpicadura causada por la turbulencia pero la estructura debe contener suficiente la turbulencia para prevenir danos por erosión después de la estructura.

6. Formación de Ondas

Las ondas en una rápida son objetables, porque ellas pueden sobrepasar los muros de la rápida y causar ondas en el disipador de energía. Una poza disipadora no sería un disipador de energía efectivo con este tipo de flujo porque no puede formarse un salto hidráulico estable.

Un flujo no estable y pulsátil puede producirse en rápidas largas con una fuerte pendiente.

Estas ondas generalmente se forman en rápidas, que son más largas que aproximadamente 60 m (200 pies) y tienen una pendiente de fondo mas suave

que 20. La máxima altura de onda que puede esperarse es dos veces el tirante normal para la pendiente, y la capacidad máxima del flujo momentáneo inestable y pulsátil es dos veces la capacidad normal. Flujo transversal u ondas cruzadas pueden también desarrollarse en una rápida. Estas ondas son causadas por:

1. Transiciones abruptas de una sección del canal a otra.
2. Estructuras asimétricas.
3. Curvas o ángulos en el alineamiento de la rápida.

La probabilidad de que estas ondas sean generadas en la estructura puede ser reducida, siguiendo las recomendaciones concernientes a ángulos de deflexión y simetría hechas en las secciones pertenecientes a las transiciones, y evitando los cambios en dirección en la estructura.

Algunas secciones de la rápida son más probables a sufrir ondas que otras secciones. Secciones poco profundas y anchas particularmente susceptibles a flujo transversal, mientras que secciones profundas y angostas resisten tanto el flujo transversal como el flujo inestable y pulsátil. Las secciones de rápida que teóricamente pueden prevenir la formación de ondas han sido desarrolladas de forma triangular que previene tanto las ondas cruzadas como el flujo inestable.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

1. Seleccionar y diseñar el tipo de entrada a ser usada.
2. Determinar la gradiente de energía en el inicio de la sección de la rápida.
3. Calcular las variables de flujo en la sección de la rápida.
4. Diseñar la trayectoria y la parte pronunciada de la sección de la rápida.
5. Asumir una elevación para el piso de la poza disipadora y calcular las características de flujo aguas arriba del salto hidráulico. Determinar d_a y el gradiente de energía después del salto hidráulico.
6. Determinar el gradiente de energía en el canal después de la estructura y comparar con el gradiente de energía después del salto hidráulico.
7. Puede ser necesario asumir una nueva elevación del fondo de la poza y recalcular los valores antes mencionados varias veces, antes de que se obtenga una coincidencia de niveles de energía.
8. Revisar por operación adecuada con capacidades parciales.
9. Determinar la longitud de la poza y la altura de muros de la poza.
10. Diseñar los bloques de la rápida y del piso, y el umbral Terminal o transición de salida como se requiera.
11. Verificar la posibilidad de la producción de ondas en la estructura.
12. Proporcionar protección en el canal después, si es requerido.

CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS

Se requiere conocer las propiedades hidráulicas y elevaciones de la rasante y de las secciones del canal aguas arriba y aguas debajo de la rápida, así como un perfil del tramo en la localización de la estructura.

Generalmente se debe mantener una pendiente mayor que la necesaria para mantener el régimen crítico, por lo que el tipo de flujo que se establece es el flujo supercrítico.

El canal de caída puede tener de acuerdo a la configuración del terreno una o varias pendientes y es generalmente de sección rectangular o trapezoidal.

La trayectoria debe diseñarse de modo que la corriente de agua permanezca en contacto con el fondo del canal y no se produzcan vacíos. Si la trayectoria se calcula con el valor de la aceleración de la gravedad como componente vertical, no habrá presión del agua sobre el fondo y el espacio ocupado por el aire aumentará, limitándose así la capacidad de conducción del canal, por lo que se acostumbra usar como componente vertical un valor inferior a la aceleración de la gravedad o incrementar el valor de la velocidad para que la lámina de agua se adhiera al fondo del canal.

La poza de disipación debe ubicarse en el extremo inferior de la trayectoria con el objetivo de absorber parte de la energía cinética generada en la rápida, mediante la producción del resalto hidráulico y contener este resalto dentro de la poza.

Con el fin de proteger el canal sobre todo si es en tierra, se puede revestir con mampostería la zona de protección.

RETENCIONES

GENERALIDADES

1. Generalidades

Cuando se calculan tomas de canales o tomas en parcelas, se fijan valores de tirantes que deben mantenerse para que dichas estructuras funcionen correctamente, cuando el canal conduce el gasto de diseño se mantiene el tirante, pero una vez que baja el gasto, es necesario mantener ese tirante mediante el uso de retenciones. Una retención consta de las siguientes partes:

- Transición de entrada
- Cuerpo de la retención que se compone de una parte central móvil constituida por compuertas o por tablonés y una parte fija, o vertederos a los cuales también se les puede adicionar tablonés. La parte móvil puede estar formada de tablonés cuando se trata de caudales menores a 2 m³/seg y compuertas cuando el caudal es mayor a 2 m³/seg.
- Transición de salida.

CRITERIOS DE DISEÑO

1. El área de la parte central de la retención debe ser tal que el tirante y la velocidad se conserven aproximadamente iguales en el canal y en la retención a fin de evitar pérdidas de carga.
2. La longitud total de la cresta vertedora (parte central más vertederos laterales) debe dimensionarse de manera que invadiendo parte del borde libre permita pasar un porcentaje del gasto de diseño a fin de garantizar un buen funcionamiento de la estructura cuando ocurran errores en la operación del sistema. Se debe fijar que el gasto a pasar es del 20% - 40% del gasto de diseño y vamos a verterlo invadiendo un 80% del borde libre.
3. La velocidad en la cresta vertedora no debe ser mayor de 1.10 m/seg porque de lo contrario se dificulta la operación de los tablonés.
4. Las transiciones deben diseñarse para evitar pérdidas de altura excesiva de manera de mantener el nivel de agua lo más horizontal posible, el ángulo máximo será 12°30'.
5. El ancho de la parte central de la retención será de tal manera que su área sea igual o mayor que el área de la sección del canal.
6. El gasto máximo por encima de la cresta vertedora se calcula mediante la fórmula:

$$Q = C L H^{3/2}$$

Donde:

L = Anchura media de la cresta vertedora

H = 80% del borde libre

L = (L1 + L2)/2

C = Coeficiente de gasto (tabla 1)

Se debe cumplir que el caudal de vertimiento sea mayor o igual al 40% del caudal del diseño, en caso contrario se aumenta el ancho hasta cumplir con esta norma.

VALORES DE "C" PARA EL CÁLCULO DE RETENCIONES

(Vertedero de cresta Delgada con Contracciones Laterales)

H	0.06	0.15	0.30	0.46	0.61	0.91	1.22	1.52
0.15	1.97	2.08	2.66	2.44	2.45	2.59	2.71	2.81
0.30	1.92	1.94	2.04	2.15	2.25	2.42	2.44	2.51
0.61	1.91	1.89	1.93	1.99	2.04	2.14	2.23	2.32
0.91	1.90	1.87	1.89	1.92	1.96	2.03	2.10	2.17
1.52	1.90	1.86	1.86	1.87	1.89	1.94	1.98	2.03
3.05	1.90	1.85	1.84	1.84	1.84	1.86	1.88	1.91

EJEMPLO DE DISEÑO

Diseñar una retención en un canal trapezoidal cuyas características principales son:

$$Q = 0.590 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Y = 0.50 \text{ m}$$

$$b = 0.30 \text{ m}$$

$$z = 1.5$$

$$A = 0.525 \text{ m}^2$$

$$V = 1.13 \text{ m/seg}$$

$$S = 0.0016$$

$$B.L = 0.20 \text{ (borde libre)}$$

1. Determinación del ancho de la parte central

$$B = \frac{A}{Y} = \frac{0.525}{0.5} \Rightarrow B = 1.05 \text{ m}$$

2. Cálculo del caudal de vertimiento

$$Q = C L H^{3/2}$$

$$C = 1.89 \text{ (según tabla 1)}$$

$$H = 80\% \text{ de B.L} = 0.16$$

$$H^{2/3} = 0.064$$

$$L_1 = 1.05 + 2 \times 0.5 \times 1.5 = 2.25 \text{ m}$$

$$L_2 = 1.05 + 2 (0.5 + 0.16) \times 1.5 = 3.03 \text{ m}$$

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} \Rightarrow L = 2.79 \text{ m}$$

$$Q \text{ vert.} = 1.89 \times 2.79 \times 0.064$$

$$Q \text{ vert.} = 0.337 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$40\% \text{ de } 0.590 \text{ m}^3/\text{seg} = 0.236 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\therefore 0.337 > 0.236$$

3. Velocidad por encima de la Cresta vertedora

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.337}{2.79 \times 0.16} = 0.75 \Rightarrow V = 0.75 \text{ m/seg} < 1.1 \text{ m/seg}$$

4. Longitud de Transiciones

Como las características del canal aguas arriba y aguas abajo son iguales, se tiene:

$$L_{Te} = L_{TS} = \frac{L_1 - L_3}{2 \text{ Tag } 12^\circ 30'} = \frac{2.55 - 1.80}{2 \times 0.22169} \Rightarrow L_{Te} = L_{TS} = 1.70 \text{ m}$$

DISEÑO ESTRUCTURAL DE OBRAS HIDRÁULICAS

Para garantizar el éxito de un proyecto, éste no debe ser enfocado como la conjunción de especialistas que van a realizar los estudios que le son encomendados en el tema de su dominio, las obras diseñadas con este procedimiento, que no son casos aislados, corren

el riesgo de no plasmarse con éxito. Los especialistas, bajo el liderazgo de un Jefe o Gerente de Proyecto, deben constituirse en un equipo que interactúa en búsqueda de la solución que integre todas las disciplinas de manera que el resultado sea la solución más apropiada desde el punto de vista de seguridad, funcionalidad, durabilidad, costos, programa de tiempo de ejecución, etc. Aunque lo mencionado suene obvio, abundan los casos en que por diversas razones, los proyectos han sido el resultado de la participación aislada de los protagonistas, con lamentables resultados.

La participación del diseñador estructural debe otorgar la seguridad a las construcciones de manera que soporten los esfuerzos a los que estará sometido como también asegurar que la funcionalidad no se vea afectada a través de la vida útil para la que se diseñó y que se asegure un razonable comportamiento impermeable, las soluciones a plantear deben estar basadas, además de su propia especialidad, en el conocimiento de los procesos constructivos, y el estar plenamente consciente de las condicionantes del proyecto, incluido la ubicación geográfica, clima, facilidades logísticas y todo aquello que ha de influir en la adopción de las formas, materiales, y técnicas constructivas.

En el presente trabajo se presentan algunas consideraciones propias de un proyecto estructural de las obras hidráulicas que se deberán tener en cuenta para el diseño, supervisión y construcción de este tipo de obras.

Con el objeto de lograr estructuras de concreto con un razonable grado de impermeabilidad y para garantizar que el acero de refuerzo no tenga recubrimientos pequeños, es necesario tener presente las siguientes dimensiones mínimas en los elementos de concreto:

Espesores mínimos de muros:

- Con $h > 3$ m. más 30 cm.
- Con $h < 3$ m. 15cm
- Con recubrimiento de 5 cm. o más 20 cm.
- Espaciamiento máximo de refuerzo 30 cm.

CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES

Hasta hace pocos años, el diseño estructural de los canales de conducción de agua, reservorios y otras obras hidráulicas era efectuado por el método de esfuerzos permisibles porque se consideraba que el "método de rotura" [cuyo nombre preocupaba a los no entendidos en el diseño estructural, razón por la cual se cambió por el denominado "cargas factorizadas" o como se le conoce en sus siglas en Inglés LRFD (Load & Resistance Factor Design)] no ofrecía el grado de impermeabilidad suficiente a este tipo de obras; sin embargo los factores de carga fueron "calibrados" para controlar el ancho de grieta a 0.2 mm. para estructuras sometidas a severas condiciones de exposición y de 0.25 mm. para otras estructuras hidráulicas. Esto se logra con la

incorporación de un "coeficiente de durabilidad sanitario" que se multiplica por los factores tradicionales de "carga última".

Diseño por cargas factorizadas

$U = 1.7 H$ por empuje de suelos

$U = 1.7 F$ por presión de líquidos

$U = 1.4 D + 1.7 L$ carga muerta y viva

Multiplicar "U" por un "coeficiente de durabilidad sanitario":

- Para refuerzo en flexión 1.30 U
- Para tracción directa 1.65 U
- Para tracción diagonal 1.30 U
- Zonas de compresión 1.00 U

Diseño por esfuerzos de trabajo

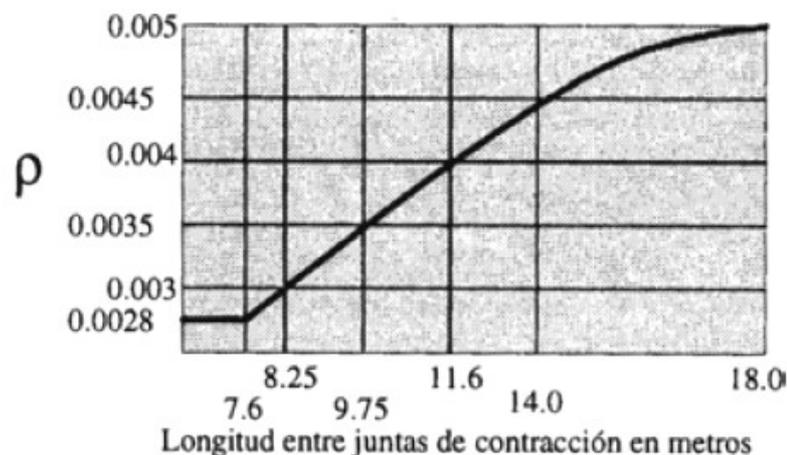
Concreto: $n = E_s / E_c$ $F_c = 0.45 F'_c$

Esfuerzos máximos recomendados:

- Tracción 1,400 kg/cm²
- Flexión (3/8", 1/2" y 5/8")
- Para exposición severa 1,550 kg/cm²
- Para exposición normal 1,900 kg/cm²

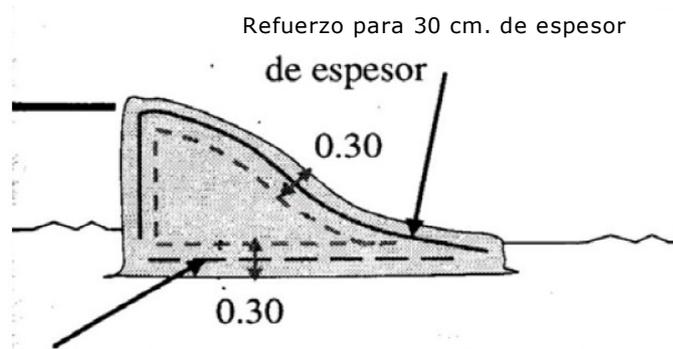
La cuantía mínima por contracción y temperatura está vinculada al concepto del refuerzo requerido para controlar la fisuración producida por las fuerzas que se originan por el efecto de contracción de fragua aunado al hecho que el terreno presenta una restricción al libre encogimiento del concreto, por tal motivo esta cuantía dependerá de cuan grande es el elemento sin juntas, tal como se puede observar en la siguiente figura.

Cuantía mínima por Contracción y Temperatura



Cuando los elementos son gruesos, como el caso de las pequeñas presas, este concepto se aplica a una capa superficial de 30 cm. de espesor, que actúa como una "piel reforzada" que confina a un núcleo de concreto sin armar. Si el refuerzo se encuentra en una cara en contacto permanente con el terreno los valores pueden reducir a la mitad.

Cuantía Mínima en Secciones Gruesas de 60cm o más



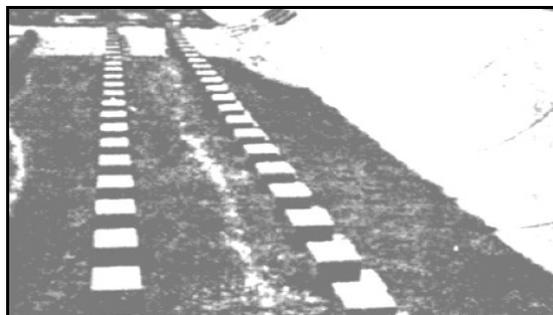
50% del refuerzo en la "cara inferior" de losas en contacto con el terreno

Para el diseño se consideran las cargas que ocurren en un estado inicial de servicio; pero a la vez, se debe prever las situaciones de servicio que en algunos casos cambian las situaciones de trabajo. Para el diseño, además del efecto de las presiones se debe considerar los efectos de cavitación y erosión que pueden sufrir los elementos por las partículas en suspensión en el agua, es por esa razón que algunas estructuras deberán ser "forradas superficialmente" con bloques de piedra o planchas metálicas, como es usual en el caso del diseño de los "disipadores de energía".

Situaciones de Diseño



Disipadores de Energía

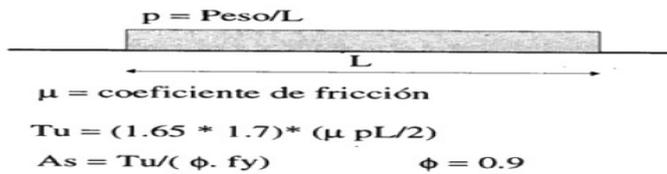


Para el diseño del refuerzo longitudinal de las estructuras tipo canales de agua, losas y otras estructuras apoyadas, cuando se hacen juntas muy espaciadas, se debe evaluar la fuerza de tracción que se produce cuando se trata de contraer el concreto y el terreno ofrece resistencia. Mientras que para verificar que no se produzca deslizamiento entre el muro de contención y el terreno se utiliza los valores mínimos de coeficientes de fricción,

para el diseño del refuerzo longitudinal de las estructuras hidráulicas se toman los valores máximos, que en algunos casos llegan hasta "3".

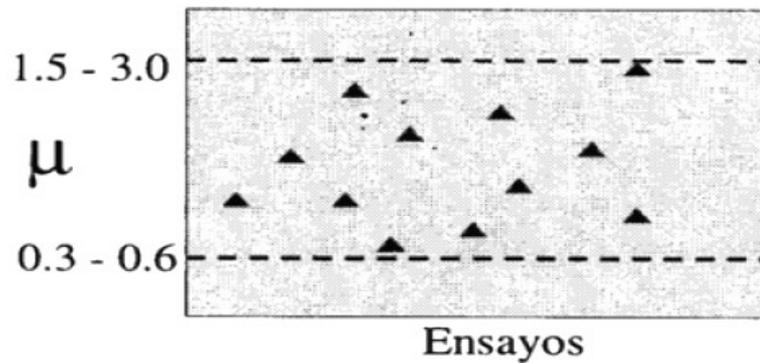
El refuerzo calculado de esta manera para elementos de concreto con espesores menores a 60 cm. salen muy parecidos a los obtenidos por "cuantía mínima".

Refuerzo para tomar las contracciones del concreto



$\mu = \text{Coeficiente de Fricción}$
 $T_u = (1.65 * 1.7) * (\mu * p * L / 2)$
 $A_s = T_u / (. f_y) = 0.9$

Coeficiente de fricción (μ)



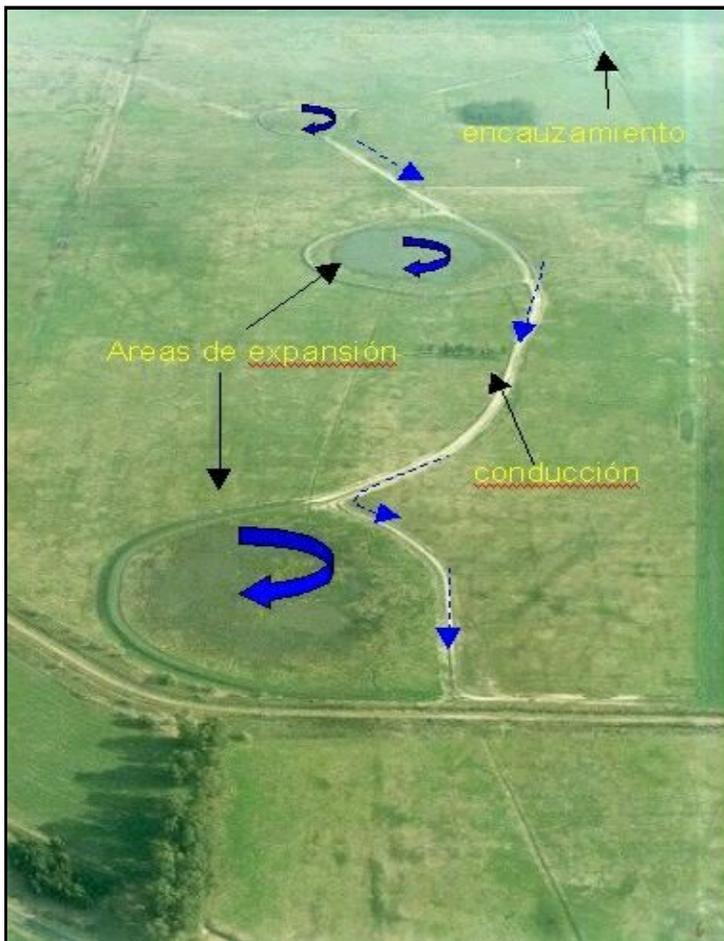
ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LAS OBRAS DE ARTE

Estructuras de Captación

Criterios constructivos:

- Obras perpendiculares al escurrimiento localizadas en sectores que no impidan al manejo del campo.
- Las brazos de las estructuras de encauzamiento deben iniciarse en sectores altos de lomas o eventualmente medias lomas donde la inspección de campo verifique que no se producen escurrimientos. De esa forma se consigue encauzar la mayor cantidad de agua posible.
- La estructura será nivelada según resulte del diseño hidráulico y del período de retorno de cálculo.
- La estructura deberá ser protegida contra la erosión con empastamiento luego de la compactación.
- Deberá poseer dos canales laterales para conducción de excesos internos y externos de acuerdo con su funcionalidad.

Estructuras de Conducción



Badén bordeado. Típica obra de conducción de escurrimientos punto a punto. El empastamiento lateral es aconsejable pero debe ser controlado para evitar atascamientos.

Criterios constructivos:

- Obras paralelas al escurrimiento natural del agua.

- Deben respetar las vías naturales de escurrimientos, evitando los suelos sin estructura típicos de zonas alcalinas. Esos suelos deben quedar comprometidos dentro de la estructura.
- La estructura debe ser nivelada hasta conseguir la cota de construcción dada por el cálculo hidráulico, lo que implica que deberá ser compactada para evitar asentamientos que comprometan la estructura.
- La nivelación longitudinal se deberá encargar de respetar las pendientes hidráulicas evitando que el eje constructivo pase por puntos de estancamiento.
- La estructura final deberá ser protegida contra erosión con empastamiento. Es fundamental mantener las vías de conducción libres de bloqueos vegetales o de otro tipo.
- La estructura deberá tener un badén lateral para conducir los excesos internos.

Estructuras de Expansión

Criterios constructivos:

- Obras de contorno complementarias de las obras de conducción usualmente realizadas en áreas de anegamientos temporarios.
- Deben respetar las vías naturales de escurrimientos, evitando los suelos sin estructura típicos de zonas alcalinas. Esos suelos deben quedar comprometidos dentro de la estructura. Suelos alcalinos no pueden ser utilizados en la construcción de esta estructura.
- La estructura debe ser nivelada hasta conseguir la cota de construcción dada por el cálculo hidráulico. Generalmente son estructuras cuya coronación debe estar en un plano paralelo al área de expansión, por lo que generalmente son horizontales en función del contorno expuesto por la vegetación. La estructura deberá ser compactada para evitar asentamientos que comprometan la estructura.
- El trazado longitudinal es usualmente sinuoso buscando una máxima capacidad de expansión según cada caso.
- La estructura final deberá ser protegida contra erosión con empastamiento. Es fundamental mantener las vías de conducción libres de bloqueos vegetales o de otro tipo.
- La estructura deberá tener un badén lateral para conducir los excesos internos.

Estructuras de Retención

Criterios constructivos:

- Obras de contorno alineadas las obras de conducción usualmente realizadas en áreas de lagunas semi-permanentes.
- Deben evitar los suelos sin estructura típicos de zonas alcalinas. Esos suelos deben quedar comprometidos dentro de la estructura. Los suelos alcalinos no puede ser utilizados en la construcción de esta estructura.
- La estructura debe ser nivelada con extremo cuidado hasta conseguir la cota de construcción dada por el cálculo hidráulico más la cota de seguridad. Son estructuras cuya coronación debe estar en un plano horizontal. La estructura deberá ser compactada para evitar asentamientos que comprometan la estructura.
- El trazado longitudinal es usualmente sinuoso buscando una máxima capacidad de retención según cada caso.
- La estructura final deberá ser protegida contra erosión con empastamiento. Es fundamental mantener el área interna de retención con el mayor volumen posible y libre de vegetación densa, sobre todo juncos y pajonales que son de difícil erradicación.
- Es esencial mantener la obra vigilada en caso de eventos extremos (ver también Vertedero placa). Animales como topos o armadillos podrían provocar daños puntuales en la estructura de materiales que eventualmente se transformarían en críticos en caso de llenado provocando una erosión localizada muy peligrosa. Es fundamental la inspección regular de la estructura para mantener controlado este efecto pernicioso.
- La estructura deberá tener un badén lateral para conducir los excesos internos.

OBRAS DE ARTE

Caño Compuerta



Puente de hormigón y la alcantarilla sobre badén bordeado. Los tubo compuertas permiten el ingreso de agua interna al badén de conducción solo cuando el nivel de presión de agua en el badén es menor que en el canal de acceso del caño compuerta. El tubo compuerta impide la entrada del agua en el circuito interno.

La Figura muestra una foto de una alcantarilla sobre la izquierda y dos caños compuertas (con tapa roja) en la zona central.

Criterios constructivos:

- Es una estructura cuyo diseño es puramente hidráulico. A los efectos de cálculo se diseña igual que una alcantarilla, donde el diámetro es el factor de diseño y la geometría los datos de entrada al modelo.
- Es fundamental proteger la estructura con un encabezado de hormigón, de otros modos se producirán inevitablemente fugas decididamente erosivas entre el caño compuerta y el material externo de soporte, conduciendo al colapso de la estructura.
- El caño compuerta es nada más que una alcantarilla circular de hormigón simple o armado (según el caso) donde en uno de sus extremos se ejecuta un aro metálico con un pivote y una tapa también metálica.
- No es imprescindible que el cierre de la tapa sea hermético, aunque por supuesto es aconsejable. Si el cierre no es hermético, se producirán ciertas entradas de agua en el sentido no querido, pero en general estos volúmenes son despreciables en el contexto global.
- Es fundamental mantener la zona de cierre totalmente libre de hierbas u otros elementos que la obturen o que no permitan el libre pivote de la tapa de cierre.
- Las secciones de alcantarillas que compongan el caño compuerta deben ser unidas y selladas una con las otras.
- La sección debe ser especialmente compactada antes de la instalación del caño, y la nivelación longitudinal de la estructura debe asegurar que no se produzcan "bolsas de aire" en su interior.

Alcantarillas

Un sistema de alcantarillado puede ser diseñado para diversos propósitos:

- Puede dejar pasar toda el agua que llega a la alcantarilla sin ningún tipo de retención.
- Puede restringir el paso del agua, dejando solo pasar un caudal máximo igual a su capacidad máxima. En estas condiciones la alcantarilla también cumple una función reguladora, por lo que esta opción se aplica en obras de retención con descargas semipermanentes.
- Permite la instalación de los instrumentos hidráulicos de aviso y control de escurrimientos, propios de las investigaciones científicas que usualmente acompaña estas obras.

Criterios constructivos:

- El cálculo hidráulico es similar al del caño compuerta, pero el caudal de diseño es generalmente mucho mayor, y está dado por el modelo hidráulico general de la obra de modular.
- Las obras de alcantarillado pueden requerir de una estructura adicional de hormigón o piedra inmediatamente aguas abajo o aguas arriba a efectos de impedir la posible

socavación del material de tierra por efecto dinámico del agua. Estas estructuras tienen forma de piletón donde la energía del agua saliente de la alcantarilla se disipa sin provocar daños.

- En caso de grandes caudales de agua, se prevé la construcción de pasos o puentes, que son más convenientes en los lugares de instalación de la instrumentación hidrológica. Los puentes se pueden complementar con estructuras sencilla de vertederos para medir caudales con precisión.
- Los criterios constructivos y de preservación son idénticos al del caño compuerta, aunque usualmente requiere una atención más frecuente.

Rápidas

Criterio constructivo:

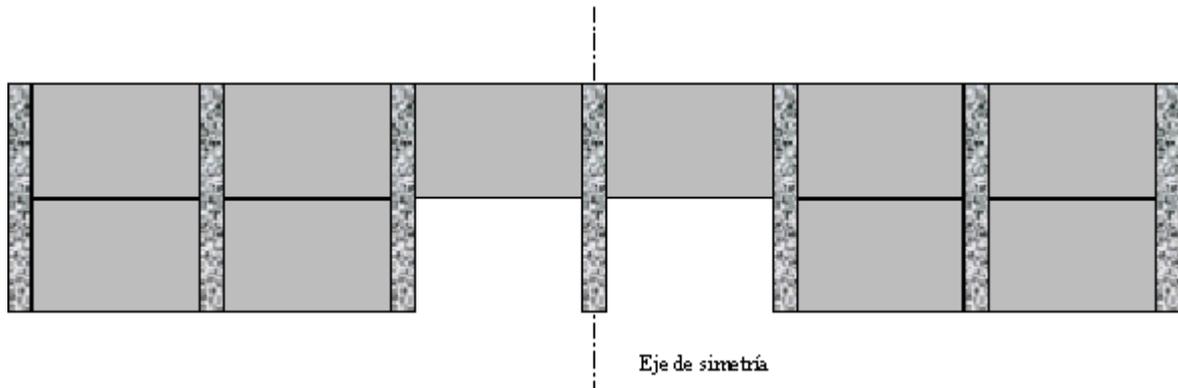
- Las velocidades que se pueden alcanzar en estas estructuras son altas entre 7.5 y 10.0 m/s. Se considera únicamente una protección del concreto con pintura epóxica, a pesar de las altas velocidades, debido a que en estos casos la conducción transporta agua, los sólidos en suspensión son eliminados en estructuras denominadas desarenadores.
- Al final de las rápidas en los disipadores de energía, se puede proteger el concreto del piso y dados con el blindaje de sus caras.

Vertedero

Criterio constructivo:

- El cálculo estructural no es necesario, pues las presiones de trabajos son muy inferiores a la rotura de la pieza.
- Las viguetas y el anclado a la base debe estar calculados contra vuelco tomando como fuerzas actuantes la presión de agua más una fuerza de impacto horizontal por los posibles elementos de arrastres en caso de crecidas.
- La estructura requiere una pequeña losa de hormigón en la entrada y en la salida de las placas para prevenir socavamientos.
- La losa de hormigón debe tener un pequeño escalón para amortiguar la acción dinámica del impacto del agua en casos de evacuación por el vertedero.
- Se puede un sistema de alcantarillado en "baterías" donde las alcantarillas se colocan a diversas alturas. Si el caudal de agua ingresante es elevado, el nivel del agua arriba de la alcantarilla se incrementará y el agua comenzará a escurrir por las alcantarillas elevadas. Este tipo de estructuras es eficaz para efectuar una regulación escalonada de los escurrimientos, aunque su utilización es restringida por otros sistemas de construcción equivalentes más sencillos. La obra no requiere estanqueidad, por lo que las juntas entre el hormigón y las viguetas no debe estar sellado, lo que también facilita su rápida remoción en caso de necesidad

- Es recomendable no sobreponer más de dos placas en la sección por lo que la obra alcanzaría una altura máxima de entre 60 y 80 cm dependiendo del alto de la placa.
- Las viguetas deben evitar trabajar a torsión durante un evento de evacuación. Para reducir este esfuerzo al mínimo, las placas han de removerse en forma simétrica con respecto al eje medio frontal de la obra.



Disposición adecuada del vertedero placa. Los orificios de evacuación han de ejecutarse removiendo las placas inferiores centrales de a pares a partir del eje de simetría frontal. El número de placas a remover está dado por el cálculo hidráulico.

- La obra debe ser vigilada durante eventos de lluvias fuera del período de cálculo de la obra. Es posible establecer un sistema simple de alerta en caso que el agua supere cierto nivel. El cálculo hidráulico de la estructura permite efectuar varios "escenarios" posibles de trabajo, con lo que una memoria de emergencias puede ser elaborada. Dentro de esa memoria se establece una configuración diferente de las placas removidas en función del volumen de lluvias pronosticados por el alerta meteorológico. En tal caso la configuración ha de ser corregida antes del evento pluvial, sin detrimento de una constante vigilia durante eventos extraordinarios.
- En caso de obras de mayor envergadura, es posible reemplazar este esquema fijo de placas por un sistema de compuertas móviles, que se podrán abrir en caso que la evolución de los escurrimientos supere el diseño de cálculo.
- Como en todos los casos de obras de evacuación, es fundamental mantener la zona de totalmente libre de hierbas u otros elementos que obturen el funcionamiento normal del vertedero placa tanto en la sección aguas arriba como aguas abajo.

CONSIDERACIONES DEL CONCRETO EN OBRAS DE ARTE

El concreto es un material muy bueno en cuanto a su capacidad para resistir esfuerzos de compresión, pero en contraposición también tiene un problema; que durante el proceso de endurecimiento se contrae. Las restricciones, sean de fricción contra el suelo o porque otros elementos se lo impiden, no permiten su libre encogimiento por lo que se generan esfuerzos importantes de tracción que muchas veces producen agrietamientos, sobre todo cuando el proyectista no evaluó las consecuencias de estos efectos.

Una de las características más importantes de las obras hidráulicas es la calidad apropiada de los materiales que se usarán, esto muchas veces es más importante que la misma capacidad para resistir los esfuerzos a los que estará sometida la estructura.

De acuerdo a las recomendaciones del Comité 350 del ACI (Environmental Engineering Concrete Structures), uno de los aspectos más importantes que debe cumplir la dosificación del concreto está relacionado a la máxima relación "agua/material cementante (a/c)", que es el mejor indicador para lograr concretos de buen desempeño. Una manera de lograr esa relación "a/c" de manera indirecta es utilizar concretos de resistencia elevada, no porque se requiera, sino más bien debido a que al dosificar estos concretos se está garantizando que la relación "a/c" sea baja.

Resistencia del Concreto

- Expuesto a condiciones Normales; cuando los líquidos tienen un $\text{ph} > 5$ o está expuesto a solución de sulfatos con menos de 1500 ppm.

$$f'c = 245 \text{ Kg/cm}^2 \text{ min.}$$

- Expuesto a condiciones Severas; cuando los límites anteriores se exceden.

$$f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2 \text{ min.}$$

Máxima relación $a/c = 0.45$

En el Perú, gran parte de las obras hidráulicas están ubicadas en la zona de la "Sierra", donde el clima puede ser nocivo, en esos casos es recomendable tomar en consideración las recomendaciones del Comité 306 del ACI para climas fríos. En general la incorporación de aire al concreto permitirá tener concretos más impermeables; esto es especialmente importante para las zonas frías.

Clima Frío (ACI 306) es cuando por más de 3 días consecutivos:

- El promedio diario de temperatura del aire $< 5^\circ \text{C}$
- En 12 horas al día, la temperatura del aire $< 10^\circ \text{C}$

"El promedio diario de temperatura del aire es el promedio de la mayor y menor temperaturas que ocurren durante el periodo de media noche a medio día" (Entre 12 p.m. y 12 a.m.)

En climas fríos, la temperatura del concreto en el momento de su colocación debe ser:

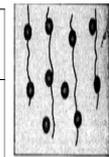
- Mayor a 13°C si el espesor de los elementos es menor a 30 cm.
- Mayor a 10°C si el espesor está entre 30 y 90 cm.

- Mayor a 7° C si el espesor está entre 90 y 180 cm.

Colocar "Aire Incorporado"

TAMAÑO DEL AGREGADO	AIRE INCORPORADO
1 1/2"	5 1/2 %
1" ó 3/4"	6 %

Tamaño del Aire agregado	Aire incorporado
1 1/2"	5 1/2 %
1" ó 3/4"	6%

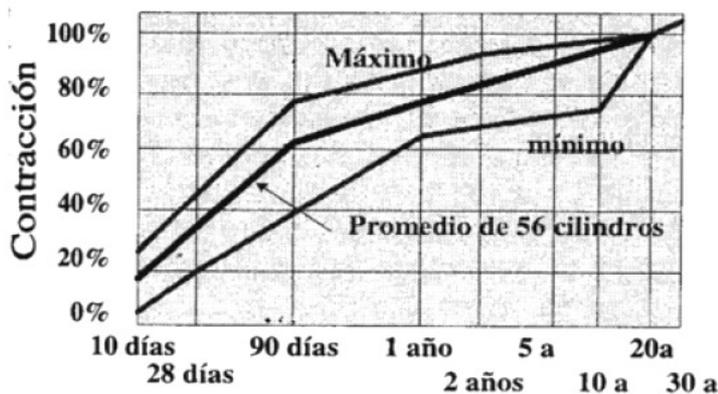


"Tapona" los tubitos de la exudación

"Tapona" los tubitos de la exudación

Contracción de fragua del concreto

El concreto es un material muy bueno en cuanto a su capacidad para resistir esfuerzos de compresión, pero en contraposición también tiene un problema que ocasiona fuertes dolores de cabeza a los ingenieros, me refiero a que durante el proceso de endurecimiento se contrae. Las restricciones, sean de fricción contra el suelo o porque otros elementos se lo impiden, no permiten su libre encogimiento por lo que se generan esfuerzos importantes de tracción que muchas veces producen agrietamientos, sobre todo cuando el proyectista no evaluó las consecuencias de estos efectos.



Basados en cilindros curados 28 días y luego 50 á 60% de humedad.

Agrietamiento

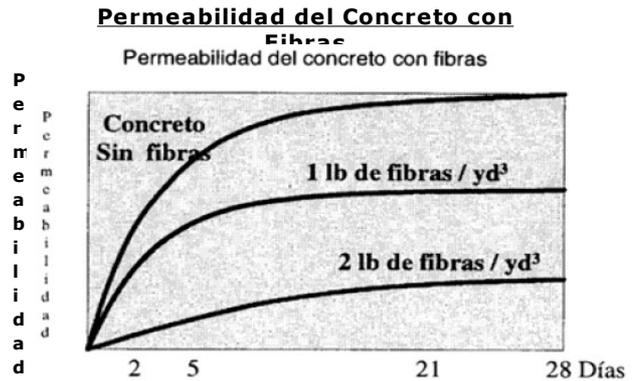
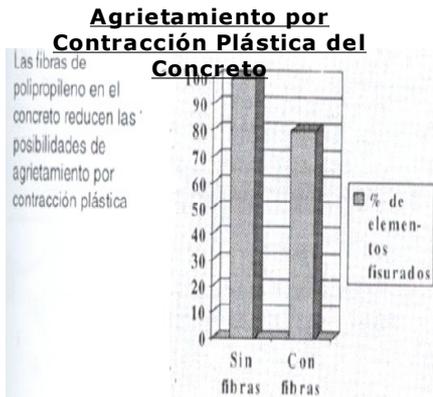
Las temperaturas elevadas y el proceso constructivo inadecuado pueden producir agrietamientos. La magnitud de las grietas dependerá de las causas que las producen.

Esfuerzos que causan agrietamiento:

Tipo	Principales causas	Tiempo de aparición
Asentamiento plástico	Exceso de exudación	10 min. - 3 horas
Contracción plástica	Secado rápido	30 min. - 6 horas
Contracciones térmicas	Excesivo calor y gradiente de temperatura	1 día - 2 ó 3 semanas
Contracción de fragua	Juntas insuficientes	Varias semanas o meses

El uso de las fibras de polipropileno u otra matriz polímera contribuye a disminuir el espesor de grietas y fisuras, en las figuras siguientes se puede observar su efectividad.

Agrietamiento por contracción plástica del concreto:



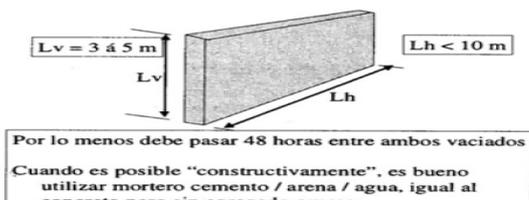
Las fibras de polipropileno en el concreto reducen las posibilidades de agrietamiento por contracción plástica

La mejor forma de controlar las fisuras, además de indicar las dimensiones y armado en los planos del proyecto, es diseñar y detallar las juntas adecuadamente; sin embargo, es frecuente observar que esto no se da y el resultado es negativo, ya que el pobre manejo del tema por parte del proyectista deja en libertad de acción al Supervisor o Constructor que si no tienen la experiencia necesaria pueden tomar decisiones inapropiadas. En algunos casos, esta es la causa de la presencia de fisuras que afectan el resultado final del proyecto.

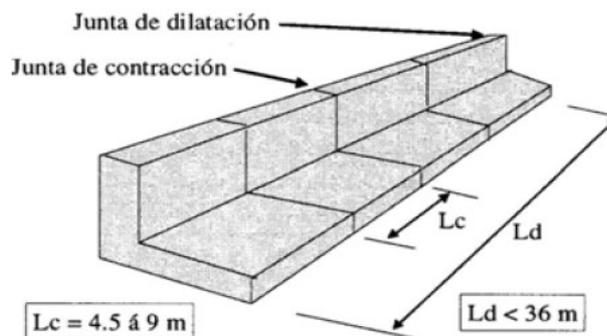
Juntas

Juntas de Construcción

Juntas de construcción



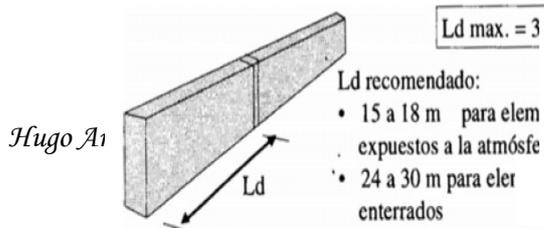
- Por lo menos debe pasar 48 horas entre ambos vaciados.
- Cuando es posible "constructivamente", es bueno utilizar mortero cemento/arena/agua, igual al concreto pero sin agregado grueso.



Juntas de Dilatación

Juntas de Dilatación

Ld máx. = 36 m



Ld recomendado:

- 15 a 18 m para elementos expuestos a la atmósfera.
- 24 a 30 m para elementos enterrados.

Se recomienda rompe aguas > 9"

1

2 • El material sellador debe permitir una deformación igual a la mitad de la junta.

Espesor de Juntas de Dilatación

Rango de temperatura	Ld = 12 m	Ld = 18m	Ld = 24m	Ld = 30m
Enterrado a 4° C	1/2"	3/4"	7/8"	1"
Parcialmente protegido sobre terreno a 27°C	3/4"	7/8"	1"	*
No protegido, como techos y losas	7/8"	1"	*	*

* No recomendado

Juntas de Contracción

Juntas de Contracción

H1 H1  **H2 < 2 x (H1)**

Preferible no pasar el refuerzo en Junta de Construcción

Preferible no pasar el refuerzo en Junta de Construcción

Para losas sin armar o sub armadas, la separación recomendada es:

Para h = 10 cm. Lc = 3 m

Para h = 12.5 cm. Lc = 4 m

Para h = 15 cm. Lc = 5 m

Juntas de Water Stop

Las cintas WATER STOP, son elementos de caucho neopreno, de gran resistencia y elasticidad, que incorporadas en las juntas de concreto aseguran una perfecta estanqueidad en las obras hidráulicas donde se quiere resistir la acción de fuertes presiones de agua. Estas cintas están diseñadas en la cruz con nervaduras múltiples que permitan una buena adherencia, acoplamiento y retención del concreto. Tiene además un centro protuberante que ayuda a resistir la presión originada por los movimientos de las estructuras.

Las cintas WATER STOP, quedan incorporadas a las estructuras junto con el vaciado. Primeramente se fijan temporalmente a los encofrados y/o refuerzos. Al vaciar el concreto deberá tenerse cuidado que no se produzcan desplazamientos y efectuar una buena compactación para que la cinta quede embebida en el concreto.

VENTAJAS DE UTILIZACIÓN

No se altera por variaciones de la temperatura.

No requiere especialistas para la colocación.

No es tóxico ni irrita la piel.

Con aguas ácidas (PH menor de 5).

Con aguas alcalinas (PH mayor de 10).

Si el material se expande antes de su colocación por haber estado en contacto con el agua, debe ser sustituido por material en buenas condiciones.

Así mismo; el concreto empleado en el revestimiento y construcción de obras de arte debe tener las siguientes características:

Preparación:

- Medición de los componentes por separado, en particular el agua y aditivos.
- Medición en peso.
- El equipo de mezclado debe asegurar una distribución uniforme del material.
- El tiempo mínimo de mezclado, 90 segundos para mezcladoras hasta 1.5 m³ de capacidad. Por encima de 1.5 m³ se aumentará en 15 segundos por cada metro cúbico adicional.

Transporte:

- El equipo debe permitir transportar concretos de consistencia 2.5 cm de asentamiento.
- El equipo de transporte debe ser aprobado por el supervisor antes de su utilización.
- El concreto deberá colocarse en el lugar señalado en los planos tan rápidamente como sea posible. El tiempo no debería exceder los 45 minutos desde que se incorporó el agua a la mezcla.
- Normalmente no se debe permitir canaletas de descarga de concreto.

Colocación:

- La colocación del concreto en los taludes se realiza sobre una superficie excavada, compactada, emparejada y húmeda, según los alineamientos y niveles mostrados en los planos.
- La tolerancia en el espesor del revestimiento, será no mayor del 10%.
- El concreto se debe colocar en forma continua, en capas que no excedan los 50cm.
- El concreto será colocado, hasta la terminación del elemento, de forma tal que mantenga una superficie pastosa más o menos horizontal.
- Las losas delgadas y vigas de poco peralte pueden vaciarse en toda su dimensión.
- Cuando se encuentra agua durante el vaciado, el contratista eliminará ésta por medios apropiados, hasta que el concreto haya fraguado.
- Las alturas de vaciado no deben exceder 1.50m.

- Para el vaciado con bomba, se deberá contar con un equipo que tenga una presión de trabajo de 20 atmósferas. El diámetro de la tubería debe tener entre 15 y 20 cm. La línea debe tener el menor número de curvas posibles. El cambio de dirección debe hacerse a 45°.

Consolidación:

- Se debe utilizar vibradores de alta frecuencia.
- La consistencia de la mezcla y periodo de vibración serán tales que no den como resultado la segregación de la mezcla.
- La consistencia del concreto debe estar entre 5.0 – 7.5 cm. debido a que las secciones transversales, en sus lados tienen pendientes que generalmente son 1.5:H,1.0V.

Temperatura:

- La temperatura no debe superar los 30 °C. En climas cálidos el número de horas disponibles para trabajo, puede estar restringido a 4 horas.
- En zonas calurosas debe contemplarse la adecuación de áreas de sombra para almacenamiento de los agregados.
- Los equipos de transporte que se utilizan deben estar pintados de color reflectante de los rayos solares.
- La colocación del concreto debe limitarse a periodos donde la temperatura este por encima de los 10 °C y por debajo de 30 °C.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ningún proyecto tendrá buenos resultados si no se desarrollan los detalles constructivos que tengan las siguientes:

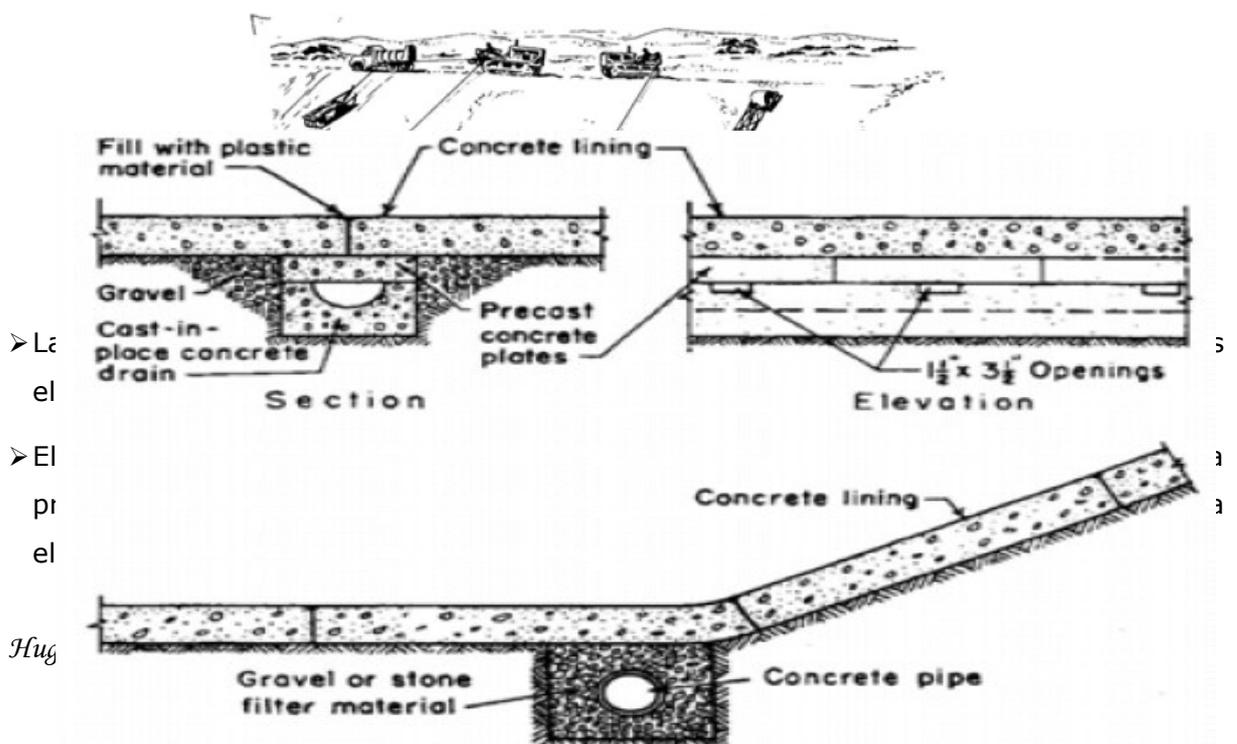
- Que estén acordes con los diseños efectuados.

- Que contemplen su ejecutabilidad, en otras palabras el ingeniero proyectista deberá tener conocimiento de procesos constructivos.
- Que reflejen el buen sentido común del proyectista, quién además de realizar sus diseños conforme el nivel de conocimientos e información de la época del proyecto, debe tener la suficiente "intuición" sobre la naturaleza de los esfuerzos y deformaciones que se han de presentar para tratar de mitigarlos con detalles apropiados.
- La mejor solución no será la misma para todos los ríos sino que depende de las condiciones propias de cada caso.
- Cuando se estudia un río, se deben tener en cuenta todos los parámetros hidrológicos y geomorfológicos que influyen en su comportamiento hidrodinámico; estos son: la forma de la cuenca y del río, la pendiente y material del cauce, taludes, precipitaciones, caudales, velocidades del flujo, tipo de sedimentos que transporta, geología y geotecnia, obras de ingeniería existentes dentro del cauce principal y otros. En resumen, el manejo total de un río nunca deberá hacerse independientemente del manejo de la cuenca porque la cuenca y el río que la drena forman una unidad indisoluble.
- La aplicación de modelos matemáticos de flujo resulta ser una herramienta confiable para el cálculo de los parámetros hidráulicos que se usarán en la selección y diseño de las obras de arte. Debido a que abarca una mayor área de análisis en comparación con los modelos físicos.

En las obras hidráulicas, cobra especial atención los siguientes aspectos:

- La compactación del terreno de soporte. En algunos casos la parte crítica está en la compactación de las superficies inclinadas.

Compactación de taludes



- Siendo el objetivo del revestimiento evitar las pérdidas de agua, debe considerarse como criterio de aceptación del trabajo el valor de permeabilidad; la cual aumenta con el contenido de cemento, la edad y principalmente con la relación agua - cemento. Adicionalmente en el caso de construirse en tramos con presencia de arcillas expansivas, este aspecto asume mayor importancia por lo que se recomienda realizar ensayos de permeabilidad en muestras (probetas) tomadas en concreto fresco, para verificar su aceptación si éstas al ser cortadas a lo largo no presentan humedecimiento en los 2/3 inferiores.
- Seleccionar el tipo de cemento apropiado, en función a las normas vigentes; utilizar relaciones agua/cemento menores a 0.50.
- La cantidad mínima de cemento aceptable es de 8 bolsas o 340 kilos por metro cúbico.
- Colocación cuidadosa para alcanzar la máxima consolidación posible.
- El curado del revestimiento se sugiere sea por medios químicos aprobados, de color blanco para observar la buena cobertura de la imprimación.
- Las juntas longitudinales se deben de considerar a una altura igual al tercio de la altura del canal, cuando el perímetro del mismo supere los 5 m; se deben realizar en concreto fresco, con herramientas adecuadas y por personal experimentado. Así mismo tanto las juntas longitudinales y transversales deben rellenarse con material elastomérico.

BIBLIOGRAFÍA

- **ASOCIATION CONCRETO INSTITUTE ACI;**
“Diseño de Obras Hidráulicas” – I Edición – Perú – 1994.

- ROSELL CALDERON CESAR;
“Irrigación”- Fondo Capitulo de Ingeniera Civil – II Edición – Perú - 1998.

- VILLASEÑOR JESUS;
“Proyectos de Obras Hidráulicas” – Primera edición – México – Fondo Universidad Autónoma Chapingo - 1978

- NOVAK;
“Hidráulica Aplicada” - 1981

- EL INGENIERO CIVIL N° 116
Mayo – Junio 2000