

Cayo Leonidas Ramos Taipe

DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS I



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DR. JESÚS ABEL MEJÍA MARCACUZCO
Rector

DR. JORGE LUIS ALIAGA GUTIÉRREZ
Vicerrector Académico

MG.SC. EFRAÍN DONALD MALPARTIDA INOUE
Vicerrector Administrativo

DR. JOSÉ CARLOS VILCAPOMA
Jefe del Fondo Editorial

Cayo Leonidas Ramos Taipe
DISEÑO DE ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS
Lima: Fondo Editorial - UNALM. 2014; 320 p.

© Cayo Leonidas Ramos Taipe
© Universidad Nacional Agraria La Molina
Av La Universidad s/n La Molina

Derechos reservados
ISBN : N° 978-612-4147-31-9
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú :
Registro : N° 2014-08704

Primera Edición: mayo del 2014 - Tiraje: 500 ejemplares
Impreso en Perú – Printed in Peru

Coordinación editorial:
José Carlos Vilcapoma

Diseño y diagramación de carátula:
Roxana Perales Flores

Diseño, diagramación e impresión :
Q y P Impresores S.R.L
Av. Ignacio Merino 1546 Lince
E-mail: qypimpresores2005@yahoo.com

Queda terminantemente prohibida por la Ley del Perú la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, químico, óptico, incluyendo sistema de fotocopiado, sin autorización escrita de la Universidad Nacional Agraria La Molina y los Autores.
Todos los conceptos expresados en la presente obra son responsabilidad de los autores.

CONTENIDO

Prólogo

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.2. Tipos de estructuras hidráulicas

1.3. Selección de estructuras

1.4. Consideraciones de diseño

CAPÍTULO II

MUROS DE CONTENCIÓN

CAPÍTULO III

BOCATOMA

CAPÍTULO IV

ACUEDUCTO

CAPÍTULO V

SIFÓN INVERTIDO

CAPÍTULO VI

ALCANTARILLA

CAPÍTULO VII

RÁPIDAS

CAPÍTULO VIII

CAÍDAS

CAPÍTULO IX

DESARENADOR

PROLOGO

El presente Manual ilustra la aplicación de estructuras hidráulicas en ríos y en canales de pequeña y mediana envergadura. Ha sido preparado para la formación de Ingenieros Agrícolas de la UNALM, y constituye una amplia y exhaustiva recopilación, revisión y confección de ejemplos de diseño de estructuras hidráulicas más usados en proyectos de aprovechamiento hídrico tales como: bocatoma, acueducto, sifones, alcantarillas, rápidas, caídas y desarenadores.

El objetivo de este Manual de diseño, es proporcionar al estudiante y al diseñador una fuente de información que le sirva de guía para diseñar eficientemente las estructuras, ya que se acompañan ejemplos de cálculo en cada capítulo.

En el Manual se presenta teoría y fórmulas, cuyo origen está publicado en varios libros. Por lo tanto, no fue factible desarrollar un solo sistema de símbolos, sin entrar en duplicaciones y/o complicaciones prácticas. Consecuentemente, no se ha presentado una relación de símbolos con las definiciones respectivas; la definición y dimensión de cada parámetro está dada en el texto.

El autor.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Estructuras Hidráulicas

Se denomina hidráulicas a las estructuras destinadas a trabajar con líquidos, especialmente el agua, y soportar la acción de los mismos, estén en reposo o en movimiento; en dichas estructuras intervienen orificios, vertederos, tuberías, canales o la combinación adecuada de ellos.

Las estructuras brindan diferentes servicios, las que se puede agrupar en las siguientes:

- Riego de cultivos
- Abastecimiento de agua para consumo humano o industrial
- Generación de energía eléctrica
- Navegación.

En todos estos casos el agua se utiliza para el beneficio del hombre. En los casos en que el agua afecte o cause daño se proyectan estructuras que permitan evitar o controlarlo. Tales como:

- Alcantarillado para drenaje de aguas servidas y pluviales
- Drenaje de campos agrícolas
- Control de crecientes y protección de orillas
- Otros.

En el presente texto se contempla únicamente los tres primeros puntos: riego, abastecimiento de agua para uso doméstico y generación de energía eléctrica.

Un sistema de riego consiste en obras de toma, canal principal, canales secundarios y terciarios y obras de medición y distribución de agua. Las fuentes de agua son los ríos, lagos y pozos que tengan un caudal suficiente para satisfacer las demandas de las plantas. El agua puede ser captada por gravedad o bombeo.

Un sistema de abastecimiento de agua para consumo humano o industrial se compone de las mismas obras, con la diferencia de que el agua no se conduce a los campos de cultivo sino a una planta de tratamiento en la cual se mejora su calidad.

En el caso de la producción de energía eléctrica, a diferencia de los anteriores, no se consume el agua sino que se utiliza la energía que contiene. Por esto el canal conduce el

agua hasta un sitio donde existe una caída apropiada y el aprovechamiento se realiza al pie de ésta.

En consecuencia, las obras hidráulicas que sirven para el aprovechamiento del agua en diferentes formas, pueden clasificarse, según su función, en:

- Obras de captación: por gravedad como tomas de derivación y presas de embalse y bombeo.
- Obras de conducción: canales y túneles; pasos de depresión (como acueductos, sifones, alcantarillas, caídas y rápidas; tuberías de presión.
- Obras de protección: desarenadores, aliviaderos, desfuegos, disipadores de energía y tanques de presión.
- Obras de regulación: divisiones, medidores y reservorios.

Historia de las estructuras hidráulicas

La Ingeniería Hidráulica es tan antigua como la civilización misma. Esto es evidente si se piensa en la lucha del hombre por la supervivencia, que lo obligó a aprender a utilizar y a controlar el agua. Por eso, las civilizaciones antiguas se desarrollaron en las proximidades de los grandes ríos que constituían un camino fácil para la comunicación y eran fuente de agua para riego y para consumo humano. Desde muchos siglos antes de la era cristiana, pueblos como los asirios, caldeos y egipcios, se dedicaron con afán a buscar los beneficios que el agua les ofrecía. ¿Qué habría sido de la humanidad sin los ríos Nilo, Ganges, Yang Tze Kiang ni, sin ir tan lejos, los ríos Magdalena y Cauca?

En tiempos prehistóricos, alrededor del año 12 000 a.C., aparecieron las primeras formas de agricultura y ganadería, al tiempo que empezaban a crearse las primitivas villas agrícolas. Los canales pueden ser considerados la primera obra hidráulica de la Humanidad, ya que el hombre necesitó hacer excavaciones para conducir el agua desde los ríos hasta sus zonas de vivienda, cultivo o pastoreo. El material excavado era depositado a los lados de la zanja, dando así lugar a los diques. Posteriormente, el hombre vio cómo, colocando el material dentro del cauce de los ríos, podía construir presas y dar lugar a embalses para almacenar agua durante el invierno y abastecer a sus necesidades en épocas de sequía.

Las presas de mampostería no cementada se construyeron desde el año 4000 a.C. y se tiene conocimiento de obras de riego que datan del 3200 a.C., atribuidas al faraón Menes, fundador de la primera dinastía egipcia. En Holanda se han construido diques desde el año 2000 a.C. para protegerse de los ataques del Mar del Norte. En su apogeo, los egipcios se esforzaron, no contentos con las posibilidades de riego y navegación que les ofrecía el río Nilo, en abrir grandes canales para unirlo al Mar Rojo, y así vincular a éste con el Mediterráneo, además de usar sus aguas usaban para irrigación de sus campos.

Durante el Imperio Romano (siglos V a.C.–V d.C.), con el arco como elemento estructural y gran técnica, al lado de los centros urbanos se desarrollaron embalses de suministro, acueductos, canales, bocatomas, presas de mampostería, carreteras, puentes. Recién en la Edad Media se inicia un desarrollo más teórico de la hidráulica.

Como se ve, el desarrollo de la Hidráulica como tal está muy ligada al florecimiento de la cultura humana; su aplicación empírica data de la más remota Antigüedad. En cambio, el origen de la hidráulica científica o teórica puede situarse en el descubrimiento del principio

de Arquímedes (287 a 212 a de J.C.) y, con él, de las leyes sobre flotación derivadas por este geómetra y matemático griego del hallazgo que perennizara la expresión: “¡Eureka!”.

Ya en el siglo XVI (Renacimiento) se desarrollaron los principios de la hidráulica con científicos como Kepler y Torricelli. Alrededor del año 1800, Newton, Bernoulli y Euler perfeccionaron dichas teorías.

El primer modelo físico hidráulico fue construido en el año 1795 por el ingeniero Luis Jerónimo Fargue sobre un tramo del río Garona (España). En el año 1885, Reynolds construyó un modelo del río Mersey, cerca de Liverpool. El primer laboratorio hidráulico fue fundado en Dresden (Alemania), en 1891, por el profesor Engels.

En la época moderna y con la revolución industrial (siglos XVIII y XIX) aparecen las termoeléctricas y después las hidroeléctricas. Ya en la época contemporánea (siglo XX) se proyectan grandes obras que incluyen embalses y centrales hidroeléctricas, centrales nucleares y maremotrices.

La época dorada de las investigaciones con modelos físicos para obras hidráulicas, en el mundo, transcurrió entre las décadas de los treinta y los sesenta del siglo XX. En la década de los setenta, la modelación física dio paso a los modelos matemáticos que resultaron muy favorecidos por la llegada de los computadores personales en la década de los ochenta, facilitando la expansión de este tipo de herramientas. La modelación física es ya una actividad rutinaria que en Europa y Norteamérica está actualmente limitada a casos muy específicos, debido a su alto costo. Los países del Tercer Mundo cuentan con laboratorios y personal preparado para dar atención a sus necesidades de modelación física, especialmente para proyectos de gran envergadura.

Desde finales del siglo XX, la nueva moda es la hidroinformática en que las herramientas computacionales han agilizado los procedimientos mecánicos y han permitido la concepción y ejecución de grandes proyectos. Por ejemplo, no es raro hablar de presas de diversos materiales y alturas de 335 m, como es Rogún (en Tajikistán), de vertederos evacuando caudales del orden de los 62 200 m³/s, como es el de la CHE de Itaipú (Brasil - Paraguay) y embalses tan grandes como el de las Tres Gargantas, en China, con áreas de inundación de 632 km² de donde se tomará el agua para generar 18,2 millones de KW. La presa de este proyecto, empezada a construir sobre el río Yangtzé en 1993 y cuya finalización se espera para el año 2009, será la presa más larga y alta del mundo.

Estudio de prefactibilidad

Consiste básicamente en una serie de actividades que permitan definir una o varias alternativas viables tendentes a mejorar el sistema en general de una zona determinada.

Estas actividades son:

- Reconocimiento del lugar.
- Estudios de mercado, comercialización
- Estudios agronómicos.
- Planteo de los objetivos.
- Recopilación y procesamiento de datos importantes.

Estudio de factibilidad: es la prosecución de un estudio de prefactibilidad y consiste en seleccionar la alternativa adecuada, preparar los informes detallados, desarrollo de programas, delineación de diseños de ingeniería, etc. Conjuguar todos los aspectos necesarios y definir la factibilidad económica y técnica.

Estudio definitivo: consiste en llevar a cabo los ajustes necesarios en el estudio de factibilidad; llevar a cabo los diseños a nivel constructivo y realizar los planes de desarrollo al detalle del proyecto.

En otras palabras, dejarlo listo para la construcción y ejecución del proyecto.

Proyecto de preinversión: son todos aquellos proyectos a nivel de estudio, ya sea de prefactibilidad o factibilidad.

Proyecto de inversión: son aquellos en los cuales se están llevando a cabo las obras contempladas en el estudio.

1.2 Tipos de estructuras hidráulicas

Son muchos los tipos de estructuras requeridas en un sistema de irrigación, de modo que podamos conducir eficiente y efectivamente el agua, así como regular y medir la descarga de los canales, y además podamos proteger las estructuras de los daños internos y externos.

Estructuras de conducción

Además del canal, son usualmente necesarias otras estructuras debido a la topografía que sigue el canal o por las características artificiales existentes para usar en la progresiva del mismo para conducir agua a lo largo del recorrido, dichas estructuras incluyen:

- a) Sifones invertidos: sirven para conducir agua por debajo de cauces naturales
- b) Acueductos
- c) Cruce de vías: para conducir agua por debajo de carreteras y pistas
- d) Rápidas: para conducir agua sobre pendientes fuertes
- e) Caídas: para conducir en forma segura de un canal a otro de cota menor.
- f) Túnel
- g) Bocatoma.

Estructuras de regulación

Son las que sirven para regular la descarga de los canales al inicio del suministro del recurso. Pueden ser canales de cabecera que trabajan junto a la presa de derivación, o bien estar ubicadas junto al cauce del río o junto a la planta de bombeo.

Aguas abajo son usadas para dividir los canales en varias direcciones, en ellas se regula la descarga. Son, además, usadas para controlar los caudales del canal cuando éstos se incrementan y sobrepasan la capacidad de diseño de los mismos.

El propósito es el control del nivel del agua y de los caudales, de manera que en todo momento circule el caudal diseñado y el caudal de excedencia sea evacuado.

- a) Partidores
- b) Aliviadero lateral
- c) *Cheks*, o compuertas que sirven para elevar el nivel.

Estructuras de medición

El manejo eficiente del sistema de riego requiere de la medición del volumen y el caudal de agua suministrada.

Una primera consideración es la distribución equitativa de los usuarios. En segundo lugar, permite dotar de un volumen adecuado para evitar derroche del agua. Existen muchos tipos de estructuras de medición de agua: aforadores tipo Parshall, vertederos, cajas y orificios son los más comunes.

- a) Vertederos
- b) Aforadores tipo Parshall
- c) Orificio de carga constante

Estructuras de protección

Estas estructuras protegen el sistema de irrigación externa e internamente; para una protección externa del canal, se prevé protección a los lados del mismo hacia las laderas, donde se originan deslizamientos por tormentas. Internamente, protege al canal de excesos de agua que ingresan al mismo por lluvias, o causados por operaciones erradas del sistema. Para proteger el canal de efectos externos e internos, como:

Efecto externo: derrumbe o deslizamiento de laderas, escorrentía de lluvia por laderas.

Efecto interno: caudales en exceso debidos a una mala operación de la compuerta.

- a) Estructuras de alivio
- b) Estructuras de cruce, pueden conducir el agua por debajo o por encima del canal
- c) Drenaje.

Componentes de las estructuras

- a) Tubería suceso principal bajo tierra, tiene por característica que puede o no estar sometida a presión hidrostática (carga); por ejemplo, sifón y alcantarilla.

Los materiales de construcción pueden ser:

- Concreto reforzado (CR)
- Asbesto cemento (AC)
- Acero soldado (AS)
- Metal corrugado (ARMCO)
- Mortero plástico reforzado.

Elementos complementarios a la técnica de tubería:

- Collares
 - Válvula de aire y de purga
 - Registro de limpieza y buzones.
- b) Transición: son estructuras de unión entre un canal al ingreso o salida de una estructura.
 - c) Disipadores de energía: son empleados a la salida de canales de descarga, salida de secciones vertedoras, en caídas verticales e inclinadas.
 - d) Elementos de seguridad: por ejemplo las mallas al ingreso del sifón, rejillas de ingreso o alambrados de protección.

Otros requerimientos

1. Del canal: la capacidad de diseño del canal la determina la demanda máxima de agua, que depende de:
 - el área irrigada, cultivos, rotación de cultivos.
 - las pérdidas de agua y eficiencia de aplicación de agua a los cultivos.
 - Además, evaluar el nivel de evaporación en los canales grandes que tienen espejos de agua grandes en mm/km de canal.
 - Evaluar también las pérdidas por infiltración, construyendo un par de diques a ambos lados del canal para medir directamente.
 - Se debe evaluar las condiciones climáticas y las características del suelo.

La ubicación del trazo o alineamiento del canal respecto de la tierra a irrigarse está, primeramente, en función de la topografía y las condiciones económicas. Por ejemplo, en el tipo de entrega, si no es posible por gravedad, el costo de bombeo debe ser considerado en el estudio económico.

Las consideraciones para la elección de las propiedades hidráulicas del canal incluyen:

- La resistencia a la erosión de los bancos de suelo de la caja del canal.
 - La estabilidad de los taludes de los lados.
 - La eficiencia hidráulica $dP/dy = 0$.
 - La flexibilidad de las operaciones.
 - Aspectos económicos en el proceso de construcción y mantenimiento.
 - Necesidad de recubrimiento del canal y tipo de recubrimiento.
 - Pendiente, forma, alineamiento.
 - Transporte de sedimentos: transporte de fondo y de suspensión, éstos originan la acumulación de sedimentos en las estructuras y a su vez una sobre elevación del nivel de agua.
 - Las secciones trapezoidales son mejores que las rectangulares desde el punto de vista de la estabilidad y, en cuanto al espesor, los rectangulares deben tenerlo mayor.
 - Las velocidades en canal de tierra deben ser como máximo 1 m/s y en canales de concreto entre 3-5 m/s.
2. Otras estructuras: son considerados elementos tales como túneles, puentes y pasos de peces. Los túneles son usados donde resultan más económicos (para la conducción del agua a través de laderas y caídas) que: a) bombeo de agua sobre la obstrucción, b) conducir agua a través de laderas y escarpados, o bien si construir la sección del canal requiere un corte profundo.

El puente para el paso de vehículos sobre el canal es frecuentemente usado en canales que conducen caudales alrededor de 100 pie³/s o más (2,83m³/s). Sin embargo, si el valor monetario de la carga hidráulica en el sistema de canal es particularmente alto, una comparación del costo del puente y una estructura de cruce de vía puede garantizar que la pérdida de carga a través de la tubería de cruce de vía puede ser significativa.

La utilidad de las estructuras de cruce es aprovechada cuando se conduce gas, petróleo, wáter, electricidad y líneas de comunicación.

Las pozas de paso de peces o escaleras y las pantallas son dispositivos especiales cerca de la fuente de suministro de agua al canal. Las pantallas excluyen a los peces para que no ingresen al canal, y la escalera les permite migrar entre los cauces naturales.

3. Exploración de suelos:

- Preparar perfiles longitudinales y transversales a lo largo del alineamiento elegido para determinar la profundidad de las excavaciones y las alturas de los terraplenes.
- El mapa de suelos debe cubrir 60m, más el ancho superior del canal.
- Debe contener la localización de las zonas rocosas y de los diferentes tipos de suelo.
- Las imágenes de satélite y las fotos aéreas son usadas para la clasificación de los suelos
- Para canales principales y estructuras, una calicata cada 300m de una profundidad mínima de 3m por debajo del fondo, si los canales son profundos.
- Todos los resultados de los estudios se colocan en los perfiles.
- Se debe analizar la posibilidad de la presencia de deslizamientos de las laderas. Éstos ocasionan costos de mantenimiento.
- Si se atraviesa rocas debe tenerse cuidado con las fisuras de las mismas.
- Requerimiento de investigación de suelos a lo largo del canal y en sitios de estructuras:
 - Identificar cualitativamente el material del suelo para ser excavado
 - Identificar el suelo para uso potencial como terraplén del canal y relleno de estructuras.
 - Determinar la adecuación de la cimentación y/o fundación para las estructuras y revestimiento.
 - Determinar la estabilidad del canal y de las estructuras.
 - Característica del suelo que contribuye a las resistencia ante la erosión del agua
 - Determinar la necesidad de construir drenes bajo los canales, control del nivel freático y cruce de quebradas.
 - Determinar en el agua presencia de iones de sulfatos solubles (actúan sobre el concreto, deteriorándolo).
 - Clasificación de suelos
 - Los suelos, tanto en estado natural como los usados en terraplenes, no deben ser expansivos, poseer un τ adecuado cuando adopten la nueva forma, ser relativamente impermeables, presentar relativa resistencia a la erosión.
 - Evaluar el grado de consolidación por las cargas actuantes y la presencia de sobrecargas como vehículos.
 - Para suelos de baja densidad se puede excavar y rellenar con suelos buenos, ya que estos suelos presentan alta susceptibilidad a la hidrocompactación; además, evaluar el nivel de la napa freática.
 - Localizar zonas de préstamo de material para el terraplén del canal.

1.3 Selección de estructuras

Necesidad de revestir el canal

La necesidad de revestir un canal depende de los beneficios obtenidos y la factibilidad económica:

- Evita la pérdida del agua, reduciendo las pérdidas por filtración en el transporte de agua y por presencia de vegetación (60–80%). Estas pérdidas son porcentualmente mayores en canales pequeños. Este criterio tendrá mayor importancia en lugares donde la demanda de agua es alta y la oferta es insuficiente.
- Prevención de daños (principalmente por inundación de tierras adyacentes) los cuales van ligados al costo de drenaje. Se debe analizar el drenaje natural de la zona y estimar el potencial de tierras que pueden ser afectadas por la infiltración del canal y sus consecuencias económicas. Analizar, además, la posible elevación del nivel freático.
- Reducción de la sección, debido a una menor pérdida de energía por rozamiento y mayor la velocidad permisible. Esto permite, también, disminuir la plataforma de tierra ocupada y disminuye las servidumbres de paso. Al aumentarse la velocidad los sedimentos se suspenden y son transportados por el agua y así se reduce el costo de mantenimiento
- Menores costos de mantenimiento y operación, principalmente los costos debidos a la limpieza de malezas son muy altos en canales de tierra, y la limpieza de sedimentos se reduce grandemente.
- Seguridad estructural, lo que permite mayor estabilidad de los lados del canal, el cual es un problema frecuente en suelos arenosos o limosos.
- Además, evita que el agua lave sales y las conduzca hacia los campos de riego.

1. Tipos de revestimiento

- Rígidos: concreto, bloques de concreto, suelocemento, concreto asfáltico, ladrillos, piedras y morteros.
- Flexibles: membranas, asfalto pulverizado, bentonita, tierra compacta.

b. Selección del tipo de revestimiento: debido a que se requiere de grandes inversiones al revestir los canales se debe tener cuidado de seleccionar el tipo de revestimiento:

- Propiedad del suelo, por ejemplo en caso de suelos arcillosos expandibles o en rocas calcáreas cavernosas (que originan deterioros y quebraduras), es mejor usar revestimiento flexible.
- Topografía, principalmente ligada a la pendiente del canal, los revestimientos flexibles no admiten velocidades altas.
- Nivel de agua subterránea, en caso de tener mayor nivel al fondo del canal, éste factor puede transmitir presión sobre el canal y originar fuerzas externas que lo debiliten.
- Operación y mantenimiento, los revestimientos duros son los más adecuados al cambio de nivel de agua durante el funcionamiento, ya que los flexibles son afectados por este cambio.
- Duración.
- Disponibilidad de material, cercano al lugar de construcción

- c. *Selección de una transición*: cuando se tenga una estructura en el recorrido del canal y exista la necesidad de variar la sección del mismo hacia la sección de entrada de la estructura se emplea para ello una transición.
- d. *Estructuras de desnivel*: cuando se tiene que unir una progresiva de cota superior a otra inferior, pueden ser: caídas verticales o inclinadas, taludes amortiguadores y rápidas.
- Las caídas verticales son usadas para disminuir la pendiente, se plantea hasta alturas máximas de 2 m.
 - Las caídas inclinadas son usadas en alturas de descenso que se encuentran en el rango 0,90 a 4,5 m y sobre distancias relativamente cortas.
 - Los taludes amortiguadores se usan para descender el agua en forma irregular en lugares donde la caída es cara y presentan alta erosión.
 - Las rápidas son usadas en caídas mayores a 4,5 m y el agua recorre una larga distancia con pendiente pronunciada. La selección entre una rápida o una serie de caídas verticales requiere de un estudio hidráulico y económico. La mala distribución de las caídas puede originar salidas pulsantes o con oleajes en el canal y no obtener el tirante normal, esto origina daños en el canal, además de problemas en la excavación. En el estudio económico debe compararse el costo de construcción y mantenimiento, por lo general el mantenimiento de una serie de caídas es más caro que una rápida.
- e. *Estructura de cruce de vías*: entre ellos se tiene el sifón o la alcantarilla. Dependerá primero del nivel de la carretera, porque si está más bajo al del canal lo mejor será un sifón, pero si está alta y permite un relleno de 60 cm como mínimo la solución será una alcantarilla. Usualmente los factores como: caudal, carga hidráulica disponible y costo permiten decidir la viabilidad entre un puente canal o alcantarilla, se puede considerar que hasta canales con caudales menores de 3 m³/s es más económico usar alcantarilla. Éstas son más fáciles de instalar, pues la cimentación es más simple, requiere menor gasto de mantenimiento.
- f. *Estructura de cruce de quebradas*: cuando el canal atraviesa una quebrada o un río puede usarse un acueducto o un sifón, su elección depende del volumen de agua y el costo; por lo general, cuando la quebrada es pequeña resulta más económico el acueducto, salvo en el caso en que exija obras adicionales que lo hagan más costoso.
- g. *Estructuras de aforo*: permite el control del volumen de agua que circula por los canales y son de tres tipos: aforador Parshall, aforadores sin cuello y vertederos. La elección está en función del caudal, carga hidráulica disponible, tiempo de duración, operación y mantenimiento y costo. Los vertederos son prácticos y económicos siempre que se disponga de suficiente altura. Los aforadores Parshall y sin cuello son aplicables a casi todas las condiciones de caudal, su ventaja principal es la pequeña pérdida de energía, exactitud razonable para una gama de caudales, la insensibilidad a la velocidad de aproximación y el reducido efecto que producen los sedimentos.

1.4 Consideraciones de diseño

El diseño de estructuras hidráulicas debe ser apropiadamente dimensionado proveyendo consideraciones de diseño hidráulico, estructural y de estabilidad.

Diseño hidráulico: provee una capacidad adecuada de descarga en todas las estructuras de la progresiva, seleccionados hidráulicamente para funcionar en condiciones normales. Adecuado diseño para flujos superiores originados por operaciones de emergencia o errores de operación del canal. Adecuada proporción estructural e hidráulica para disipar energías con la mínima turbulencia y mínima pérdida de energía a través de las transiciones.

Diseño estructural: provee adecuado peralte y refuerzo para cada parte de las estructuras para resistir momentos, *thrust* y esfuerzos de corte impuestos por *loads* en la estructura.

Diseño de estabilidad: provee adecuado dimensionamiento y el tipo de fundación del suelo, la estructura debe dar deslizamiento y volteo, evitar percolación de agua y remoción de materiales de fundación, tener presiones en la fundación menores a los admitidos.

Cargas

• General

Cargas son aquellas que el canal y las estructuras tienen la capacidad de resistir incluyendo el peso muerto, carga viva en puentes, presión lateral presiones altas y rotura y wheel cargas.

• Carga muerta

Comúnmente usado carga muerta para canales y pequeñas estructuras son presentadas en la siguiente tabla:

Carga	Peso (kg/m ³)	Lb/pie ³
agua	1000	62,4
backfill		
seco	1602	100
saturado	2003	125
compacted backfill		
seco	1923	120
saturado	2163	135
concreto	2404	150

Para una buena diferenciación entre el suelo que está sobre y por debajo del nivel de agua en la masa de suelo, son usados los términos “saturado” y “seco”. Obviamente, el suelo adyacente a la estructura no está seco y posee cierta humedad.

- **Puente en operación uniforme viva**

Cargas: los puentes son diseñados considerando una carga uniforme distribuida de 150 lb por pie cuadrado, o su equivalente de 69 kg/m². De otro modo, una carga uniforme de 100lb/pie² (es usado 45,5 kg/m²).

- **Presión lateral**

Las presiones laterales de muchas fuentes son impuestas en paredes de la estructura. La fuerza resultante de estas presiones debe ser adecuadamente resistida por el refuerzo del concreto.

Agua: un fluido que presiona con 1000kg por metro cuadrado por metro. El diagrama de presiones es triangular con la fuerza resultante actuando a un tercio de la altura sobre la base del diagrama de presiones.

MURO DE CONTENCIÓN

Se determinan los empujes, pesos de los elementos, se comprueban los coeficientes de seguridad y finalmente se calcula la armadura necesaria

Carga producida por el peso del agua:

$$q = 1000x \left(\frac{0.6 + 1.522}{2} \right) 0.461$$

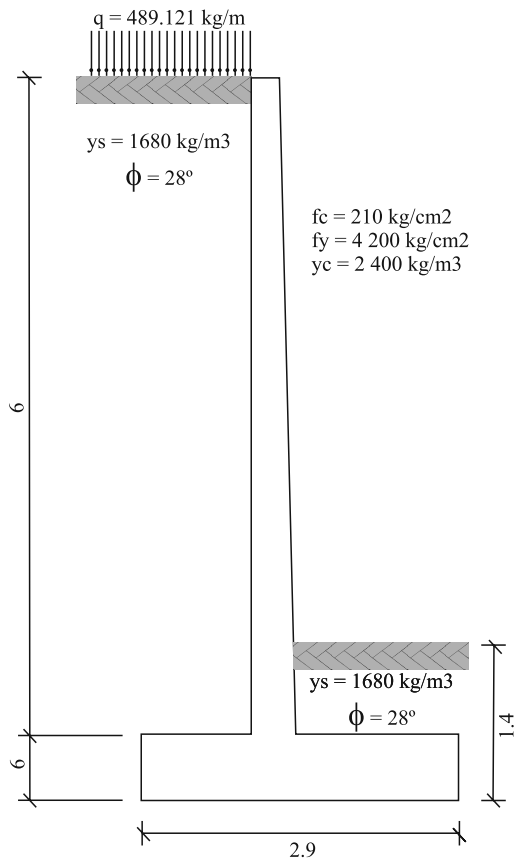
$$q = 489.121 \text{ kg/m}$$

$$\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$b_{\text{canal}} = 0,6 \text{ m}$$

$$T = 1,522 \text{ m}$$

$$y = 0,461 \text{ m}$$



Hallando las cargas puntuales que ejercen las cargas distribuidas y el suelo en el muro de contención según

$$P1 = q \cdot h \cdot k$$

$$H = 1,2 \text{ h} = 1,2 \cdot 6,6 = 7,2 \text{ m}$$

$$P2 = (\gamma \cdot h \cdot k) / 2$$

Siendo $k = 1 - \text{sen } 28^\circ$

Calculando P1 y P2:

$$P1 = 489,2 \times 7,92 \times 0,53 = 2053,466 \text{ kg}$$

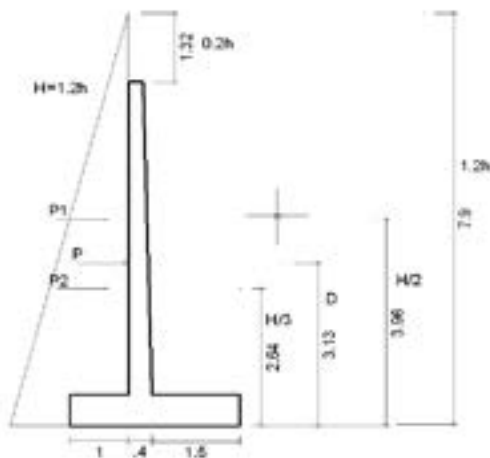
$$P2 = 1680 \times 7,92 \times 0,53 / 2 = 3525,984 \text{ kg}$$

Hallando la distancia “D” donde se encuentra P:

$$D = (P1 \times (H/2) + P2 \times (H/3)) / (P1 + P2)$$

$$D = ((2053,466 \times 3,96) + (3525,984 \times 2,64)) / (2053,466 + 3525,984)$$

$$D = 3,126 \text{ M}$$



Un muro de contención puede soportar, además de la tierra, una acción que actúe sobre ésta. A esta acción se le denomina sobrecarga, la cual puede actuar de varias maneras. Dado que la sobrecarga es de $489,121 \text{ kg/cm}^2$ lo que se hace en estos casos es hallar la altura equivalente de dicha sobrecarga para añadirla a la superficie del terreno como si fuese tal. La altura equivalente es aproximadamente el 20 % del h del muro.

Hallando los empujes:**Empuje activo**

$$E_a = P_1 + P_2 = 2053.466 + 3525.984 = 5579,45 = 5,58 \text{ tn}$$

Empuje pasivo

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma h^2 \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1}{2}$$

$$E_p = (0,5) * 1680 * 1,4^2 * (\operatorname{tg}(45 + 14)) ^2$$

$$E_p = 4560 \text{ kg/m.}$$

El empuje pasivo hallado es por cada metro lineal, al pasarlo a peso total resulta:

$$E_p = (4560,24 \text{ kg/m}) * (1,4) = 6384,336 \text{ kg} = 6,384 \text{ tn}$$

Centros de gravedad:

Sección:

$$1: 2,9 \times 0,6 \times 1 \times 2400 = 4176 \text{ kg}$$

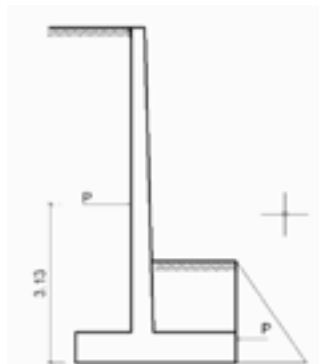
$$2: 0,25 \times 6,0 \times 1 \times 2400 = 3600 \text{ kg}$$

$$3: (0,15 \times 6) / 2 \times 1 \times 2400 = 1080 \text{ kg} \quad * \text{peso unitario del} = 1680 \text{ kg/m}^3 \text{ (material seco)}$$

$$4: 1 \times 6,0 \times 1 \times 1680 = 10080 \text{ kg}$$

$$5: 1,5 \times 0,8 \times 1 \times 1680 = 1680 \text{ kg}$$

$$6: (0,02 \times 0,8 \times 1) / 2 \times 1050 = 13,44 \text{ kg}$$



Distancia del centro de gravedad de cada sección al punto O:

$d_1 = 1,45 \text{ m}$, $d_2 = 1,775 \text{ m}$, $d_3 = 1,6 \text{ m}$, $d_4 = 2,4 \text{ m}$, $d_5 = 0,75 \text{ m}$, $d_6 = 1,507 \text{ m}$

Análisis al volteo

Momento actuante	Momento resultante
$5579,45 \times 3,126 = 17441,36$	$2352 \times (0,47) = 1105,44 \text{ kg-m}$ $4176 \times (1,45) = 6055,2 \text{ kg-m}$ $3600 \times (1,775) = 6390 \text{ kg-m}$ $1080 \times (1,6) = 1728 \text{ kg-m}$ $10080 \times (2,4) = 24192 \text{ kg-m}$ $2016 \times (0,75) = 1512 \text{ kg-m}$ $13,44 \times (1,507) = 20,25 \text{ kg-m}$
$\Sigma \text{ total} = 17441,36 \text{ kg-m}$	$\Sigma \text{ total} = 41002,89 \text{ kg-m}$

Factor de seguridad al volteo:

$$F.S.V. = \frac{41002,89}{17441,36}$$

F.S.V. = 2,35

→ Como el $2 < F.S.V. \geq 3$

Si cumple.

Análisis al deslizamiento

Fuerza actuante	Fuerza resultante
5579,45 kg	$N = 20965,44 \text{ kg}$ $\mu = 0,71$ $f = 14885,46 \text{ kg}$ $= 2352 \text{ kg (+)}$
$\Sigma \text{ total} = 5579,45 \text{ kg}$	$\Sigma \text{ total} = 17237,46 \text{ kg}$

$$\mu = \frac{3}{4} \tan \varphi$$

$$\mu = \frac{4}{3} \tan 28^\circ = 0.71$$

$$f = \mu \cdot N.$$

Factor de seguridad al desplazamiento

$$F.S.D. = \frac{17237.46}{5579.45}$$

F.S.D. = 3,09 → Si cumple.

FSD > 2.5

ANÁLISIS DE HUNDIMIENTO

Esfuerzo actuante	Esfuerzo resultante
<p>W = 20965,44 kg</p> <p>Área de base del muro = 290 x 100 = 29000 cm²</p> <p>$\sigma_{act} = \frac{11403}{29000} = 0.72 \frac{kg}{cm^2}$</p>	<p>Capacidad de = 1,5 kg/cm²</p> <p>Carga, saturado</p>

Factor de seguridad al hundimiento:

$$F.S.H. = \frac{1.5}{0.72} = 2.08 \rightarrow \text{Si cumple.}$$

Hay que tener la precaución de dotar de los correspondientes cojinetes de mayor acción de cargas al empuje así como el de minoración de resistencia al acero.

Coefficiente de mayoración de cargas $\gamma_c = 1,5$

Coefficiente de mayoración de resistencia del acero $\gamma_s = 1,5$

Pesos de la pantalla

$$6 \times 0,25 \times 1 \times 2,4 = 3,6 \text{ tn}$$

$$(6 \times 0,15) / 2 \times 2,4 = 1,08 \text{ tn}$$

$$0,4 \times 0,6 \times 1 \times 2,4 = 0,576$$

Puntera

$$1,5 \times 0,6 \times 1 \times 2,4 = 2,16 \text{ tn}$$

Talón

$$1 \times 0,6 \times 1 \times 2,4 = 1,44 \text{ tn}$$

Tierra del intradós

Por relación de triángulos: $(0,15/6) = (x/0,8)$ entonces $x = 0,02$

$$(1,5 + 1,52) / 2 \times 1,05 = 2,029 \text{ Tn}$$

Tierra del trasdós

$$6 \times 1 \times 1,68 = 10,08 \text{ tn}$$

Peso total $P_T = 20,965 \text{ tn}$.

Determinemos ahora la línea de disección de P: tomando momentos respecto de 0 y llamando d a la distancia existente entre dicho punto 0 y la línea de dirección se tendrá:

$$d = \frac{1,775 \times 3,6 + 1,6 \times 1,08 + 1,7 \times 0,576 + 0,75 \times 2,16 + 2,4 \times 1,44 + 2,4 \times 10,08 + 1,5067 \times 0,013 + 0,75 \times 2,016}{20,965}$$

$$d = 1,95 \text{ m}$$

Coefficiente de seguridad al vuelco C_v

$$C_v = \frac{\sum M \text{ \& tab }}{\sum M_{\text{vuelco}}} = \frac{P_x d_x E_p x d_1}{E_a x^3} \quad \text{Despreciamos el efecto de } E_p, \text{ ya que sin él}$$

todavía sigue resultado seguro al vuelco.

$$C_v = (20,965 \times 1,95) / (5,58 \times 3)$$

$$C_v = 2,44 \quad \text{valor que se considera aceptable. En realidad}$$