Artículo
Ingeniería
Hidráulica

MANUAL BÁSICO DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA HIDRÁULICA.

Sorayda Villamarín

Escuela Politécnica del Ejército.

Av. El Progreso s/n. Valle de los Chillos, Quito-Ecuador

Correo Electrónico: krovp_26@hotmail.com

RESUMEN

Actualmente el país desarrolla obras hidráulicas, tanto para generación de energía como para riego y agua potable, en todas estas obras tenemos elementos de disipación de energía que se deben diseñar, por lo que se hace indispensable para los ingenieros el disponer de un manual como el que se desarrollará el presente trabajo.

En el mencionado manual se considera los principales parámetros y condiciones de diseño de las estructuras de disipación de energía de más frecuente uso en los complejos hidráulicos, especialmente los relacionados con las estructuras que actualmente se diseñan y se utilizan en las obras que se construyen en el Ecuador, presentadas de una manera que sea de fácil manejo y aplicabilidad conteniendo así ejemplos de aplicación.

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

1. INTRODUCCION

La disipación de energía se produce por la combinación de los diferentes fenómenos tales como: aireación del flujo, cambio brusco de dirección de flujo, formación de resalto hidráulico, entre otros.

Los disipadores de energía son estructuras que 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.

En la presente investigación, con el objeto de ofrecer a los ingenieros diseñadores un solo documento con alternativas de diseño, se desarrolla un manual básico que es una guía con criterios técnicos válidos que permitan la selección de estructuras hidráulicas de disipación de energía hidráulica óptimas.

El manual básico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica analizará los tipos de disipadores de energía de más frecuente uso, su diseño, su funcionamiento y aplicación bajo diferentes condiciones de flujo.

2. FUNCIONES DE DISIPADORES DE ENERGIA

La energía a lo largo de las estructuras hidráulicas son generalmente grandes si las descargas son a través de conductos de salida o caídas, por lo que el gasto de

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

energía de los flujos a altas velocidades es requerida para prevenir el impacto en los cauces en ríos minimizar la erosión, y prevenir problemas en las estructuras hidráulicas

El mecanismo de control más común, para estructuras a superficie libre, es la presencia del flujo crítico (numero de Froude =1) en una ubicación bien definida, ya que en este punto es en donde se presenta la energía mínima. Sin embargo en las estructuras de disipación de energía, por lo general el flujo de aproximación presenta variaciones entre supercrítico a subcrítico, ya que son el resultado de una amplia gama de caudales y velocidades para una geometría definida. Otro proceso que frecuentemente está presente y debe estar considerado en el análisis del flujo de aproximación es el ingreso de aire, así también como la presencia de un flujo no permanente caracterizado por un caudal pulsatorio. Estos fenómenos están relacionados con las altas velocidades de flujo, que normalmente superan los valores correspondientes al Froude crítico.

3. RESALTO HIDRAULICO COMO DISIPADOR DE ENERGIA

El resalto hidráulico es el ascenso brusco del nivel del agua que se presenta en un canal abierto a consecuencia del retardo que sufre una corriente de agua que fluye a elevada velocidad.

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

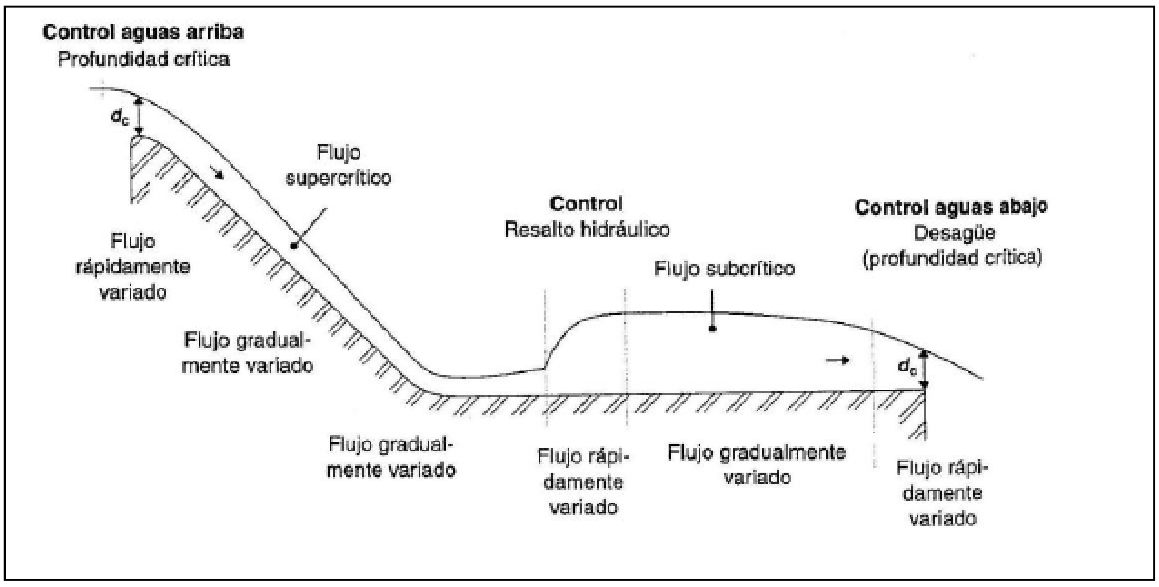


Figura 1. Transición de Flujo

Fuente. Juma,J. 2012. Estudio en Modelo Hidráulica de las Estructuras de Salida de los Túneles en el Aprovechamiento Hidroeléctrico Soplora. Tesis de grado.

Este fenómeno presenta un estado de fuerzas en equilibrio, en el que tiene lugar un cambio violento del régimen de flujo, de supercrítico a subcrítico. Es decir que la transición de este flujo se conoce como resalto hidráulico, siendo una región de flujo de variación rápida.

Desde un punto de vista práctico el resalto hidráulico es un medio útil para disipar el exceso de energía en un flujo supercrítico, su merito esta en prevenir la posible erosión aguas abajo debido a que reduce rápidamente la velocidad del flujo sobre

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

un piso protegido hasta un punto donde el flujo pierde su capacidad de socavar el lecho del canal natural aguas abajo.

El resalto hidráulico utilizado para la disipación de energía a menudo se confina parcial o totalmente en un tramo de canal que se conoce como cuenco de disipación o cuenco de aquietamiento, cuyo fondo se recubre para resistir la socavación.

4. LIMITACIONES DE USO

Como condición de prevención es necesario tener en cuenta que la disipación de energía se logra correctamente por una fuerte turbulencia o por una efectiva difusión del flujo. Sin embargo, los diseños de un disipador de energía y elementos hidrodinámicos están expuestos constantemente a estos efectos que pueden tener grandes consecuencias para la estabilidad de las propias obras tales como:

- Vibraciones
- Pulsaciones
- Abrasión o
- Cavitación
- Erosión.

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

Los disipadores de energía deben, por lo tanto ser diseñados para resistir todos los efectos muchas veces inevitables desde el punto de vista dinámico. Desafortunadamente, no existe material capaz de soportar firme y permanentemente los efectos de cavitación, ni tampoco de abrasión. Esto representa una limitación importante para el dimensionamiento que debe ser considerada.

Es necesario, conocer y aplicar adecuadamente los límites físicos impuestos por los materiales comúnmente utilizados. La mayoría de disipadores de energía se debe construir en acero o concreto, de tal modo que las propiedades de estos materiales de construcción comunes fijen los límites de aplicación del diseño hidráulico.

5. TIPOS DE ESTRUCTURAS DISIPADORAS DE ENERGIA HIDRAULICA

1. DISIPADOR CON BLOQUES DE IMPACTO O CON UMBRALES
    - DISIPADOR CON UMBRAL CONTINUO Y DISCONTINUO (DENTADO)
2. LOSAS PARA CANALES O DESCARGA DE VERTEDEROS
    - LOSA CON BLOQUES
    - LOSA CON UMBRALES
    - LOSA CON PILARES DEFLECTORES
3. CAIDAS EN TUBO

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

4. TANQUES AMORTIGUADORES
5. ESTANQUES AMORTIGUADORES
    - ESTANQUES SEGÚN NUMERO DE FROUDE
    - ESTANQUE TIPO IMPACTO
    - ESTANQUE DE INMERSIÓN
6. DISIPADOR DE REJILLA
7. RÁPIDAS
    - ESCALONADAS
    - LISAS
    - COMBINACION DE RAPIDAS LISAS Y ESCALONADAS
    - DIQUES ESCALONADOS DE MAMPOSTERIA DE PIEDRA ASENTADOS CON UNA MEZCLA FUEERTE DE CEMENTE-ARENA
    - ESTRUCTURAS DE ESCALONES Y RAMPAS DISIPADORAS DE ENERGÍA, DE CONCRETO SIMPLE O EMPEDRADAS
8. ESTRUCTURAS ARTESANALES DE CAÑA GUAYAQUIL O TRONCOS
9. COLCHONETAS DE GAVIÓN CON RECUBRIMIENTO DE PVC.
10. DISEÑO DE CAIDAS VERTICALES
11. POZA DISIPADORA
12. DISIPADOR CAIDA LIBRE
13. DISIPADOR DE AZUDES

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

- EN CADENA
- ESCALONADO

14. POZOS DE CAIDA LIBRE

15. DESCARGADOR A VORTICE

16. POZO DE BANDEJAS

17. DISIPADOR TIPO KUMIN

18. CONCAVIDAD DISIPADORA CON ESCALON POSITIVO

19. DISIPADOR CON ENSANCHAMIENTO

6. ESTRUCTURAS DE DISIPACION DE ENERGIA SELECCIONADAS

Para la selección del tipo de disipador se debe tener las siguientes consideraciones:

- Energía de la corriente.
- Economía y mantenimiento ya que éste eleva mucho el costo.
- Condiciones del cauce aguas abajo (roca, suelo erodable, etc).
- Ubicación de las vías de acceso, casa de máquinas, y demás estructuras hidráulicas ya que su seguridad no puede quedar comprometida.
- Congelamiento.
- Efecto de las subpresiones y del vapor de agua sobre las instalaciones.

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

- Daños causados a la fauna y la flora por la erosión.
- Proyectos y poblaciones aguas abajo.

7. DISEÑO ESTRUCTURAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

DISEÑO Y EJEMPLO DE APLICACIÓN DE UN POZO AMORTIGUADOR UBICADO AL PIE DE UNA RÁPIDA

En el cálculo de un pozo amortiguador que se ubica al pie de una rápida, se pueden presentar dos casos fundamenteales, que están relacionados con el régimen de circulación que se tenga al final de la misma,

- Si al final de la rápida se alcanza el régimen uniforme, en el cálculo del pozo amortiguador no es necesario iterar pues el tirante que se obtendrá al inicio del pozo será siempre el mismo, independientemente de la cota de fondo que éste requiera.
- Si por el contrario el régimen de circulación al final de la rápida no resulta ser uniforme, entonces a la hora de calcular el pozo amortiguador, se deberá tener presente que en la medida en que se varía la cota de fondo de dicho pozo es necesario la prolongación de la rápida, razón por la cual el tirante entonces varía. Este último aspecto evidencia la necesidad de prolongar el cálculo de la curva superficial del flujo que circula por la rápida.

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

EJEMPLO DE APLICACIÓN

DATOS:

Se proyecta un vertedero superficial para una descarga máxima Q= 576 m³/s. Se desea realizar el diseño hidráulico de un pozo amortiguador al pie de una rápida rectangular con **régimen uniforme** de 60 m de ancho que tiene una salida a un canal trapeziodal de 80 m de plato y talud de 1:2 mediante una transición brusca.

El tirante medio al final de la rápida Y_1 y el tirante en el canal de salida Y_3

$$Y_1 = 0{,}8\, m$$

$$Y_3 = 3{,}6\, m$$

De cálculo de la curva superficial se sabe que el valor del tirante al final de la rápida Y_3 y el tirante a la entrada Y_1, con esto se procede a calcular el tirante conjugado Y_2.

CÁLCULOS

Paso 1. Cálculo de la tirante conjugada Y_2.

$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2}\left(\sqrt{8{Fr_1}^2 + 1} - 1\right)$$

- $V_1 = \frac{Q}{b.Y_1}$

$$\frac{576}{60 * 0{,}8} = \mathbf{12}\,\frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{s}}$$

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

- $Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gY_1}}$

$$\frac{12}{\sqrt{9{,}81 * 0{,}8}} = \mathbf{4{,}28}$$

$$Y_2 = \frac{0.8}{2}\left(\sqrt{8 * 4{,}28^2 + 1} - 1\right)$$

$$Y_2 = \mathbf{4{,}46\ m}$$

Paso 2. Se compara Y_2 con Y_3 para valorar si es necesario o no el uso del pozo

- Si $\boldsymbol{Y_2 \leq Y_3}$ no se requiere pozo
- Si $\boldsymbol{Y_2 \geq Y_3}$ si se requiere pozo

$$\boldsymbol{Y_2 \geq Y_3}$$

$$\mathbf{4{,}46 \geq 3{,}6\ \textit{si requiere pozo}}$$

Paso 3. Cálculo de la altura del escalón del pozo (h_p).

Como se conoce del problema que al final de la rápida se alcanza el régimen uniforme entonces se procede directamente a calcular la profundidad del escalón, pues el tirante Y_1 se mantendra constante:

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

Se procede al cálculo de la altura del escalón del pozo hp y para ello se debe conocer en qué lugar se encuentra el salto hidráulico:

$$\Delta z = \frac{V_{cansal}{}^2}{2g\emptyset p^2} - \frac{V_{pozo}{}^2}{2g\eta^2}$$

Donde:

$\emptyset_p$= 0,92

g = 9,81

η =1,1 para $\mathrm{Fr}_1 < 4{,}5$ se asume $\eta = 1{,}1$

- $V_{cansal} = \frac{Q}{A_{cansal}} = \frac{Q}{b_V . Y_3}$

$$\frac{576}{60 * 3{,}6} = \mathbf{2{,}67\ m/s}$$

- $V_{pozo} = \frac{Q}{A_{pozo}} = \frac{Q}{b_{pozo} . Y_2}$

$$\frac{576}{60 * 4{,}46} = \mathbf{2{,}15\ m/s}$$

$$\frac{2{,}67^2}{2 * 9{,}81 * 0{,}92^2} - \frac{2{,}15^2}{2 * 9{,}81 * 1{,}1^2} = \mathbf{0{,}23\ m}$$

Con los datos obtenidos procedemos a encontrar hp

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

$$h_p = h_{cal} = \eta . Y_2 - (Y_3 + \Delta z)$$

$$1{,}1 * 4{,}46 - (3{,}6 + 0{,}23) = 1{,}09\, m$$

$$\boldsymbol{h_p = 1{,}09\, m}$$

Paso 4. Cálculo de la longitud del pozo (L_p) y de la longitud de la risberma (L_R).

- $q = \frac{Q}{b}$

$$\frac{576}{60} = 9{,}6\, m^3/s/m$$

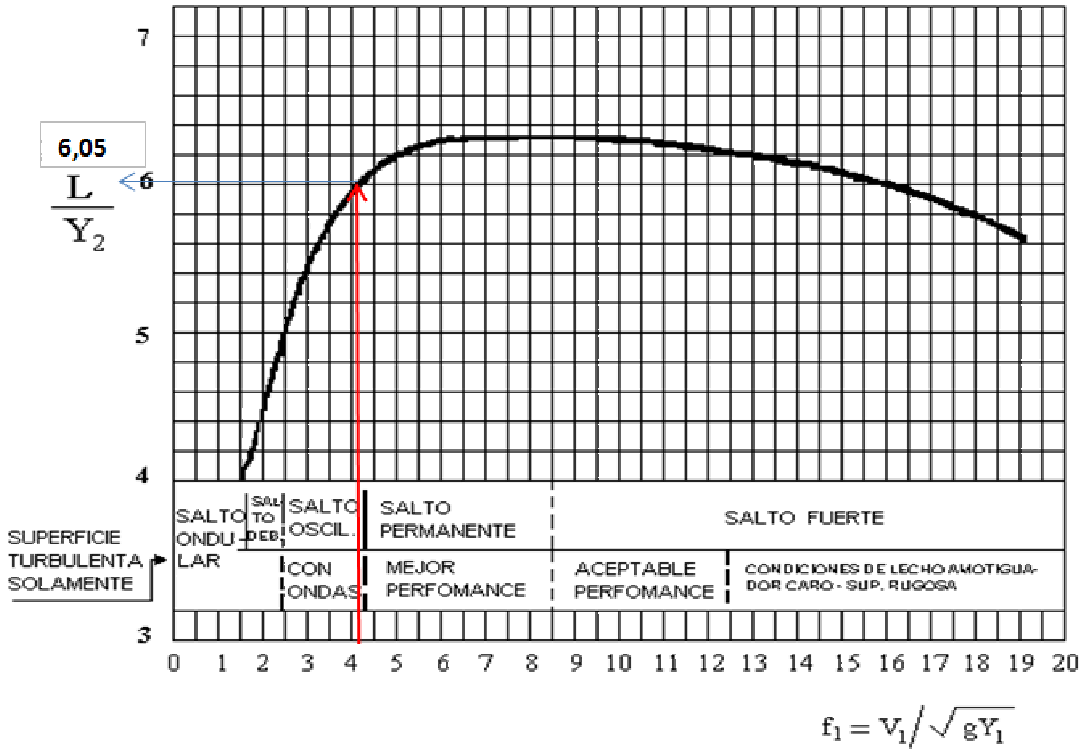
Como $q > 5 m^3/s/m$

- $L_P = L_S$

Con $Fr_1 = 4{,}28$ chequear Figura 2.6: Figura 2.6: Relación adimensional para la longitud del resalto hidráulico

$$Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gY_1}} = \frac{L_S}{Y_2}$$

©2013 ESPE, Quito, Ecuador



$$\frac{L_S}{Y_2} = 6{,}05$$

- $Fr_1 * Y_2 = L_s$

$$6{,}05 * 4{,}46 = 26{,}98\, m$$

$$L_S = L_p = \mathbf{26{,}98\, m}$$

La longitud total del pozo:

- $L_T = 9.(Y_2 - Y_1)$

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

$$9.(4{,}46 - 0{,}8) = \mathbf{32{,}94\ m}$$

La longitud de la risberma

- $L_R = L_T - L_P$

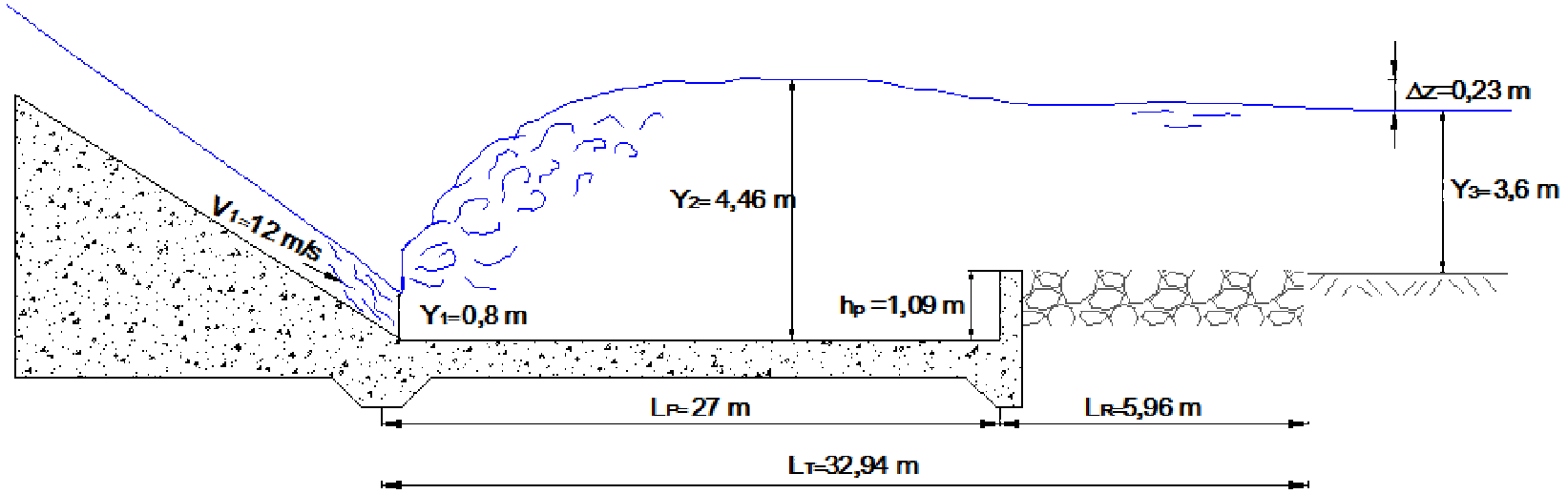
$$32{,}94 - 26{,}98 = \mathbf{5{,}96\ m}$$

Paso 5. Resultados gráficos- **(**Pozo disipador al pie de una rápida**).**

NOTA. Los valores obtenidos pueden ajustarse a dimensiones constructivas.

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

POZO AMORTIGUADOR AL PIE DE UNA RÁPIDA- RESULTADOS.



ESCALA S/N

©2013 ESPE, Quito, Ecuador

8. CONCLUSIONES

- Los disipadores de energía son estructuras indispensables en toda obra hidráulica que almacene energía. En caso de ausencia las mismas fallarían por erosión o socavación.

- El presente texto guía (manual), puede ser utilizado por diseñadores, docente y estudiantes, permitiendo incrementar el tiempo de consultas de carácter avanzado, sobre aspectos puntuales del diseño.

- Dada la amplitud del tema de estas Obras Hidráulicas, se procuró limitar el alcance de cada sección a lo mínimo necesario, sin llegar a una extensión excesiva de los temas.

- Las condiciones topográficas, geológicas, clase y volumen de excavación, revestimiento, permeabilidad, resistencia a la cimentación, estabilidad de taludes y otros son condiciones de emplazamiento que determinan el tipo y componentes de la estructura.
- Una correcta interpretación de la información de soporte para el diseño de las obras hidráulicas, asegura el éxito del funcionamiento de estas estructuras.

9. RECOMENDACIONES

- Considerar a este manual como única fuente para el diseño sería un error, por lo que se recomienda la consulta en diferentes fuentes de información bibliográfica.

- Actualizar el contenido del presente manual, debe ser una tarea permanente, considerando la modernización pedagógica, académica y científica sobre los temas tratados.

- Escoger el tipo de disipador depende de su funcionalidad y simplicidad en la construcción y mantenimiento.

- Combinar y modificar los elementos de los disipadores propuestos es posible siempre y cuando se tenga un conocimiento profundo sobre el tema y se realicen modelos hidráulicos con las modificaciones propuestas.

- Considerar estructuras que no han fallado en otras obras es una buena práctica en la ingeniería hidráulica

- Prevenir y mitigar los impactos ambientales negativos, incluyendo prácticas de conservación de suelos, programas de supervisión y mantenimiento de la obra, cumplimiento de las Leyes, Normas Oficiales y Especificaciones es parte del diseño de las obras de disipación de energía.

10. BIBLIOGRAFIA

- Chow, M. M. (1994). *Hidrología Aplicada.* Mc.Graw.Hill.
- Chow, V. T. (1982). *Hidráulica de los canales abiertos.* Diana.
- Custodio, L. (1976). *Hidrología Subterránea.* Barcelona: Omega.
- French, R. (1988). *Hidráulica de los canales abiertos.* Mc.Graw.Hill.
- Groundwater., B. (1978). *Hydrology.* Mc.Graw.Hill.
- Haro P, J. M. (2006). Manual Básico de estructuras de cambio de nivel y cambio de dirección con flujo gravedad. Tesis de Grado.
- Helweg, O. (1992). *Recursos Hidráuficos.* Limusa.
- J, J. (2012). Estudio del modelo hidráulico de las estructuras de salida de los túneles en el aprovechamiento Hidroeléctrico Soplora. Tesis de Grado.
- Linsley, K. P. (1986). *Hidrología para ingenieros.* Mc.Graw Hill.
- Novak, P. *Estructuras Hidráulicas.*
- Ortiz, F. (2010). Modelo Hidráulico Físico de Disipadores de Energía, como ayuda de aprendizaje de la materia de Hidráulica.Tesis de Grado. Pichincha, Ecuador.
- P, L. (2006). Optimización Técnico - Económica del Pozo de Bandejas como disipador de energía. Tesis de Grado.

- Reclamation, U. o. (1984). *Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators.* E.E.U.U.
- V, B. (2007). Criterios para el diseño de descargas de sistemas de drenaje pluvial en el área metropolitana de Guatemala. Trabajo de Graduación.
- W, S. (1993). *Principios de la Hidráulica.*
- http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/articulopagppal.html
- http://es.scribd.com/doc/93281511/48896432-Manual-de-Drenaje-Invias
- http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1747/doc1747-1.pdf
- http://es.scribd.com/doc/7859592/Diseno-de-caidas-verticales
- "http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/4919/1/425_VERTEDOR%20DE%20EMBUTIDO%20Y%20CAIDA%20LIBRE.pdf"