



## Facultad de Construcciones

### Departamento de Ingeniería Hidráulica

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Hidráulico

# DISEÑO HIDRÁULICO DEL ALIVIADERO DE LA PRESA JOTURO

**Autor:** Leodanis Labañino Hinojosa.

**Tutores:** Ing. Alain Paneque Martínez.

Ing. George Mansfarroll Cadet.

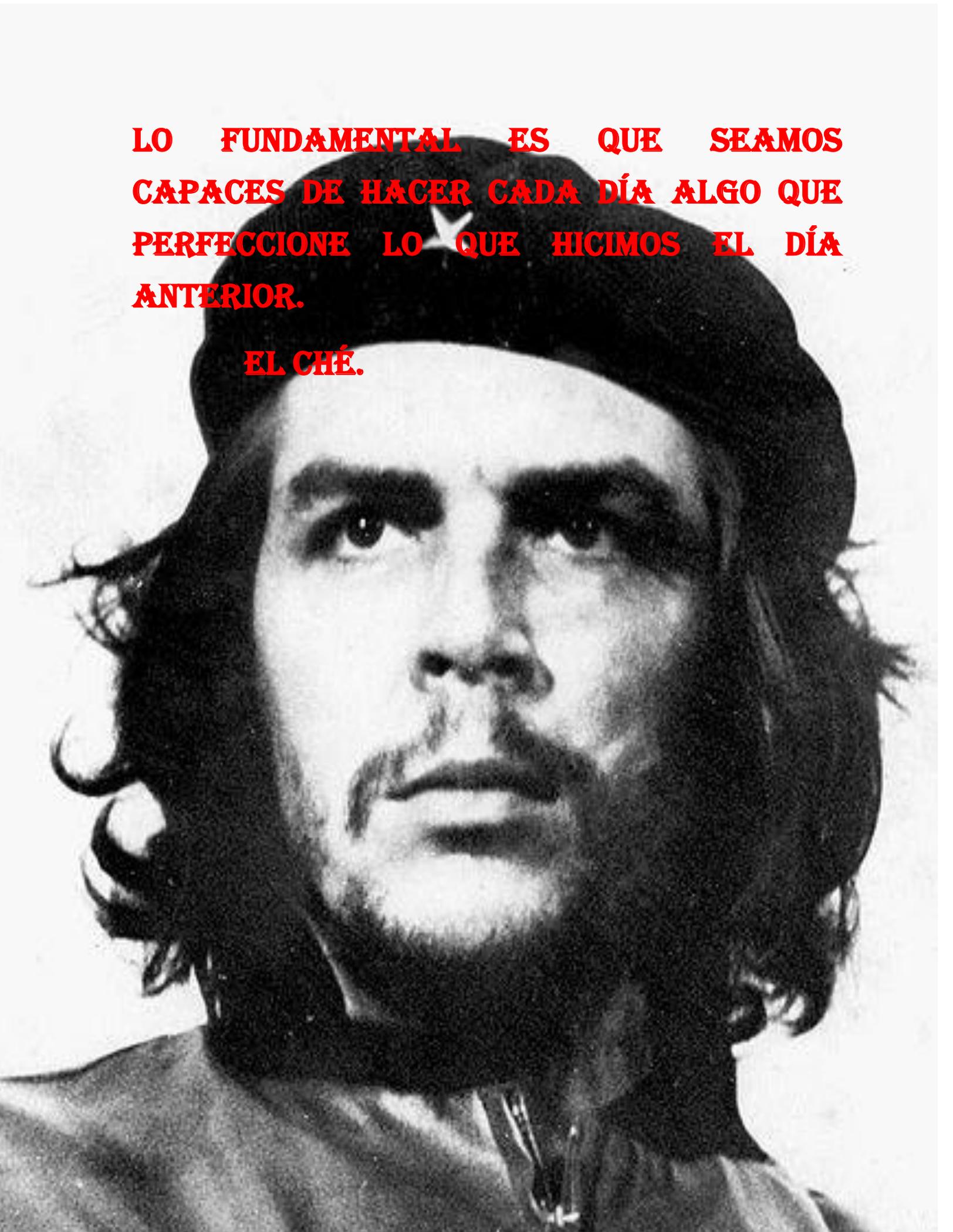
Ing. Ramón Vegas Martí.

Santiago de Cuba

JUNIO 2019

**LO FUNDAMENTAL ES QUE SEAMOS  
CAPACES DE HACER CADA DÍA ALGO QUE  
PERFECCIONE LO QUE HICIMOS EL DÍA  
ANTERIOR.**

**EL CHÉ.**



## *Dedicatoria*

-  *Dedico este trabajo en primer lugar a dios.*
-  *A la Revolución que me ha dado la posibilidad de convertirme en un profesional.*
-  *A Yony Vázquez Delgado por ser como un padre y guiarme por el camino correcto.*
-  *A mi novia Yiliannys Portales López por estar en los buenos y los malos momentos.*
-  *A Mi hermana Leanne Matos.*
-  *Y dedicado en especial a quien más quiero en el mundo, mi madre Madelaydis Hinojosa Rodríguez.*

## *Agradecimientos*

- + A mi mami por entenderme cuando lo necesité, y ser madre y padre.*
- + A Yony por educarme y siempre apoyarme en mis decisiones.*
- + A mi hermana Leanne por estar conmigo en las buenas y las malas.*
- + A mis abuelos y mis tíos.*
- + A mis tutores por dedicarme parte de su preciado tiempo (George Mansfarroll y Alain Paneque).*
- + Al claustro de profesores, porque sin su ayuda no lo hubiese logrado.*
- + A mis amigos por apoyarme y ser mi grupo de estudio (Andy, Alejandro, Yuglia, Raider y Roberto).*
- + A mi novia Yiliannys por apoyarme siempre.*
- + A todos muchas gracias.*

### *Resumen*

El presente trabajo de diploma está motivado por la necesidad de diseñar hidráulicamente el aliviadero de la presa Joturo por diferentes variantes y proponer la más adecuada técnicamente. Con este fin de evitar las pérdidas de agua y la probabilidad de ocurrencia de un fallo técnico en el embalse. Para ello se calcularán tres variantes escogidas, abanico mexicano, perfil práctico con vacío y sin vacío, manteniendo los parámetros técnicos del embalse.

Durante el desarrollo de la tesis se utilizaron métodos científicos: teóricos y empíricos. El diseño de una variante definitiva de aliviadero para una posterior ejecución, permitirá que se reduzcan las probabilidades de fallo y las pérdidas de agua. Además, se podría utilizar el volumen rescatado para abastecer la población de Songo, municipio Songo – La Maya, Santiago de Cuba, Cuba; quienes presentan problemas con sus fuentes propias.

### Summary

The present diploma work is motivated by the need to rebuild the spillway of the Joturo dam. Taking as a starting point the hydraulic design of this, in order to avoid water losses and the probability of occurrence of a technical failure in the reservoir. For this, three chosen variants will be calculated, Mexican fan, practical profile with vacuum and without vacuum, maintaining the technical parameters of the reservoir. During the development of the thesis, scientific methods were used: theoretical and empirical. The design of a final variant of the spillway for later execution will allow the probabilities of failure and water losses to be reduced. In addition, the rescued volume could be used to supply the population of Songo, municipality Songo - La Maya, Santiago de Cuba, Cuba; who have problems with their own sources.

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE.....	6
1.2 Partes componentes de un aliviadero.....	9
1.3 Clasificación de los aliviaderos.....	16
1.4 Factores técnico-económicos que determinan la ubicación y tipo de aliviadero .....	22
1.5 Factores principales para el diseño de un aliviadero .....	23
1.6 Fenómenos que afectan el funcionamiento de un aliviadero. ....	25
1.8 Conclusiones parciales .....	27
CAPÍTULO 2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EMBALSE JOTURO Y MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA SECCIÓN VERTEDORA.....	29
2.1 Características Técnicas del Embalse .....	29
2.2. Métodos de cálculo para determinar el perfil de la sección vertedora.....	36
2.2.1 Vertedores de perfil práctico sin vacío .....	36
2.2.2 Vertedores de perfil práctico con vacío .....	44
2.3 Conclusiones parciales .....	47
CAPÍTULO 3. CÁLCULO DE LAS DE LAS VARIANTES PARA EL DISEÑO DEL ALIVIADERO DEL EMBALSE JOTURO.....	48
3.1. Cálculo de las variantes de aliviadero.....	48
3.1.1. Parámetros utilizados en el diseño del aliviadero de abanico o mexicano. .....	48
3.1.2. Parámetros utilizados en el diseño del Perfil Práctico sin Vacío.....	49
3.1.3. Parámetros utilizados en el diseño del Perfil Práctico con Vacío .....	51
3.2. Resultado del cálculo de las variantes de diseño.....	53
3.2.1 Aliviadero de Abanico o mexicano .....	53
3.2.2. Perfil Práctico sin Vacío .....	55
3.2.3. Perfil Práctico con Vacío .....	58
3.3. Análisis de los resultados.....	60
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	64

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS.....	67
Anexo 1. Diseño de la variante de un aliviadero de abanico o mexicano. ....	67
Anexo 2. Diseño de la variante de aliviadero frontal, PPsV. ....	75
Anexo 3. Diseño la variante de aliviadero frontal, PPcV. ....	88

## INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua en el planeta ha sido desde épocas remotas una de las condicionantes más fuertes para el establecimiento y posterior desarrollo de los asentamientos y por ende la distribución de la población. Este líquido es de vital importancia, de él proviene la vida; es un recurso invaluable para el sustento del planeta, dejando una profunda huella en el devenir de la humanidad. A través de la historia, su manipulación desde el punto de caída en la tierra hasta su salida al mar ha constituido un objetivo esencial para el hombre y parte de ello es su aprovechamiento. Una de las vías para aprovecharlo de manera eficiente ha sido la propicia solución de las presas, obras hidráulicas de gran envergadura y de desarrollo para el mundo moderno.

El crecimiento demográfico mundial, ha originado el aumento de la demanda de agua, obligando a la sociedad a ampliar su ingenio para buscar alternativas que permitan satisfacer dicha necesidad. Debido a esto, se han construido conjuntos hidráulicos (embalses) con el fin de almacenar agua y así poder aminorar las prolongadas sequías producto del cambio climático.

Un conjunto hidráulico no es más que, varias obras que se construyen con el propósito de almacenar, evacuar y distribuir cierto volumen de agua para satisfacer total o parcialmente las demandas de la zona donde se ubique (Pardo, 2001).

La importancia de este tipo de obra para la vida del hombre y su desarrollo social es ampliamente conocida; proporcionando múltiples beneficios para la sociedad y la economía. Las mismas en su construcción deben tener en cuenta medidas que le garanticen estabilidad y seguridad. La ocurrencia del fallo de una presa, siendo difícil de prever, representaría un enorme daño. Por tanto, podría arrasarse con cuanto encontrara a su paso aguas abajo de la obra y en el peor de los casos ocasionar pérdidas de vidas humanas.

Los aliviaderos representan un valor importante en el costo total de la construcción de una presa, por lo que los ingenieros se ven en la necesidad de buscar

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

herramientas que permitan disminuir éstos sin reducir los parámetros de seguridad exigidos y aprovechando al máximo la capacidad útil del embalse.

Muchas fallas en las presas han sido causadas por un diseño inadecuado de los vertedores, tanto estructural como hidráulico y en ocasiones siendo insuficientes en su capacidad. Las estadísticas demuestran que más del 80 % de los fallos de las presas en el mundo, se han debido a causas relacionadas con mal funcionamiento del aliviadero (Pardo, 2001).

Esta situación se ve reflejada en la actualidad en el embalse Joturo, caso de estudio. Se encuentra ubicada en el municipio Songo - La Maya, provincia Santiago de Cuba, Cuba. Fue construido en el año 1990, con una capacidad de 2.381 hm<sup>3</sup> y tiene como objetivo abastecer la población de La Maya.

Según los especialistas del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), el 6 de junio de 2011 producto de la ocurrencia de intensas lluvias y una deficiente construcción se produjo el colapso total del aliviadero, quedando solo los escombros de la sección vertedora y una parte de la obra disipadora de energía (trampolín), como se muestra en la fig.1.



**Figura 1. Estado actual del aliviadero del embalse Joturo. Fuente propia.**

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Producto de esto, en la actualidad se pierda aproximadamente el 30 % del volumen a almacenar en un año. La situación es grave, en primer lugar, por el peligro que representa para la estabilidad de la obra (presa) y en segundo lugar por las pérdidas del apreciable líquido. Por esto, se corre el riesgo de que, al ocurrir un tránsito de avenida producto de intensas lluvias, el conjunto hidráulico falle, causando daños materiales y posibles pérdidas de vidas humanas.

Para solucionar esta **situación problemática**, se han realizados acciones de seguimiento a la situación por las altas esferas del país; como es el caso de la visita realizada al embalse el 14 marzo de 2019 por la vicepresidenta de los Consejos de Estado y de Ministros Inés María Chapman Waugh, el presidente del INRH Antonio R. Rodríguez, las máximas autoridades del Partido y el Gobierno en Songo-La Maya y otros directivos de la provincia. Los que centraron su atención en las averías del aliviadero y convidaron a la realización de una solución inmediata. De ahí, el llamado a los especialistas de la provincia a buscar con urgencia una alternativa constructiva.

La problemática descrita condujo al planteamiento del siguiente **Problema de Investigación**: Deterioro total del aliviadero del embalse Joturo, lo que proporciona pérdidas de agua en el embalse y posibilita la ocurrencia de fallas técnicas en el conjunto hidráulico.

Este problema se concreta en el **objeto de investigación**: Aliviadero del embalse Joturo.

**Campo de acción**: Diseño hidráulico de aliviaderos.

El **objetivo general** que se propone es: Diseñar hidráulicamente el aliviadero de la presa Joturo por diferentes variantes y proponer la más adecuada técnicamente.

### **Objetivos específicos:**

1. Realizar una búsqueda bibliográfica teórico-conceptual sobre las características de las presas y sus partes componentes, en particular los aliviaderos.
2. Realizar el diseño hidráulico del aliviadero aplicando diferentes variantes.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

3. Evaluar las variantes de diseño hidráulico calculadas y escoger la más adecuada, manteniendo los niveles característicos del embalse y el gasto de diseño del aliviadero anterior.

### **Hipótesis:**

Si se diseña hidráulicamente el aliviadero de la presa Joturo por diferentes variantes y se propone una variante óptima técnicamente; permitirá la posterior ejecución y por tanto la disminución de las pérdidas de agua y las probabilidades de fallo en el embalse.

### **Tareas de investigación:**

- Consultar las fuentes bibliográficas relacionadas con el tema de investigación.
- Búsqueda de información técnica del conjunto hidráulico Joturo.
- Caracterizar la presa Joturo.
- Diseñar bajo las condiciones de los parámetros técnicos del embalse por varias variantes el aliviadero del embalse Joturo.

### **Métodos de investigación utilizados:**

#### **Del nivel teórico**

**Análisis y síntesis:** en todo el proceso investigativo, tanto en sus fundamentos teóricos como en las argumentaciones de la propuesta, la interpretación de los resultados y la elaboración de las conclusiones.

**Hipotético-deductivo:** a partir de realizar el diseño hidráulico por diferentes vías, interpretar los resultados en función de la variante que ofrezca mayor garantía y confiabilidad.

#### **Del nivel empírico**

**Observación:** con el propósito de escoger el diseño más favorable, teniendo en cuenta las ventajas y desventajas, con respecto a las características del embalse.

**Entrevistas a especialistas:** para conocer sus criterios acerca de la problemática abordada.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

### **Aporte:**

Diseño de una variante definitiva de aliviadero para una posterior ejecución. Lo que permitirá que se reduzcan las probabilidades de fallo y las pérdidas de agua. Además, se podría utilizar el volumen rescatado para abastecer la población de Songo, quienes presentan problemas con sus fuentes propias.

## CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE

Según (Londoño, *et al*, 2014), una de las primeras etapas que debe desarrollarse dentro de una investigación es la construcción de su estado del arte, pues permite determinar la forma, cómo ha sido tratado el tema, cómo se encuentra el avance de su conocimiento en el momento de realizar una investigación y cuáles son las tendencias existentes, en ese momento cronológico, para el desarrollo de la temática o problemática que se va a tratar.

Para el diseño de un aliviadero se requiere de una amplia búsqueda bibliográfica, que permita estudiar, analizar los libros y artículos científicos que conlleven a una mejor determinación, así como expresar o representar objetivamente dichos cálculos, para que tengan veracidad y alto grado de validez en correspondencia con la realidad. Para esto se hace necesario la aplicación de ciencias como se muestra en el esquema que sigue:

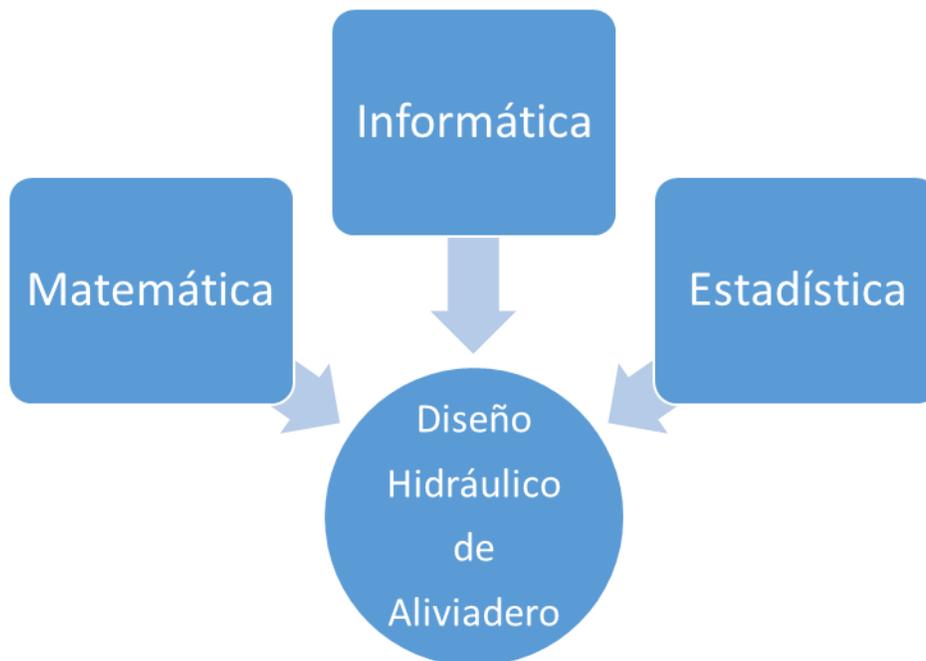


Figura 1.1 Ciencias que complementan la hidráulica.

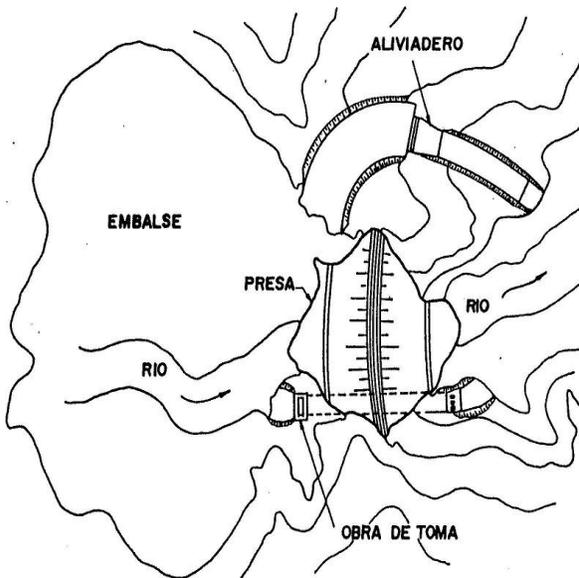
# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

## 1.1 Enfoque conceptual de las presas de tierra o materiales locales

Se define como presa o conjunto hidráulico, al conjunto de obras que se construyen con el propósito de almacenar, evacuar y distribuir un cierto volumen de agua para satisfacer determinadas demandas de la zona donde se ubique (Pardo, 2001).

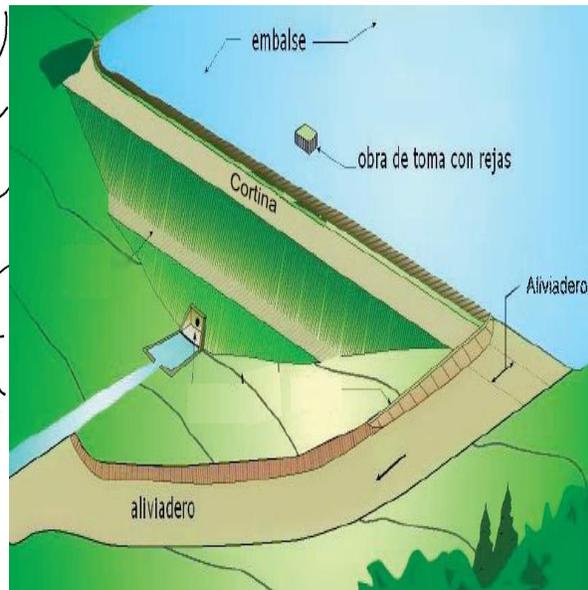
Como se puede observar en las figuras 1.2 y 1.3, las principales partes que lo componen son:

- Presa.
- Aliviadero.
- Obra de toma.
- Estación de bombeo.
- Canales magistrales.



**Figura 1.2.** Esquema de un conjunto hidráulico.

Fuente: (Pardo, 2001).



**Figura 1.3.** Esquema recreado de una presa.

Fuente: (Suárez, 2017).

En un conjunto hidráulico, se señala la necesidad de amortiguar el volumen de una creciente o de un evento similar. Es por eso que Te Chow (1983), resalta la existencia de estructuras de alivio que tienen como función, retirar esos volúmenes de agua adicionales cuyo almacenamiento no ha sido considerado en el diseño de la presa, función que los convierte en factor de seguridad de la propia presa y de toda la zona aguas abajo de la obra. Razones que obligan a muchos autores a referirse al

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

tema comenzando por una conceptualización de estas estructuras, debido a la atención que hay que prestarles por su importancia en la construcción y posterior explotación de un embalse.

### Conceptos generales de los aliviaderos por diferentes autores

- Es una estructura hidráulica para el vertido, controlado o no, de caudales extremos provenientes de grandes crecidas, que pueden ser menores o iguales a los máximos probables evaluados para el proyecto (Erazo, 2018).
- Es aquella obra que se construye para evacuar el agua excedente o de avenida que no cabe en el espacio destinado para el almacenamiento (Conza, 2019).
- Estructura mediante la cual se puede dar salida desde el embalse, cuando arriban al mismo volúmenes de agua superiores a los que se desea retener (Pardo, 2001).
- Se define como vertedero a la estructura que sirven para evacuar los excesos de un depósito o embalse, y que está por encima del nivel de operación, sirve para regular el nivel de agua (Guerrero, 2014).
- Los aliviaderos son estructuras hidráulicas encargadas de descargar los excesos de aguas producidos por las crecidas que llegan al vaso de almacenamiento, evitando comprometer la integridad física del conjunto hidráulico (Bustamante, *et al*, 2004).
- Conceptualmente el aliviadero es una obra integrante de la presa, que se debe ocupar del transporte, hasta aguas abajo de la misma, que no pueda ser retenida en el embalse por encima del nivel ordinario de su operación (NAMO) (Espinosa,*et al*, 2010).

Como se puede observar en la figura 1.4 la estructura de un aliviadero no es algo esquemático, sino que, en primer lugar, responde a las características del lugar de emplazamiento, y en segundo lugar, a la creatividad e iniciativas del proyectista. El correcto funcionamiento de un conjunto hidráulico se debe en gran medida al diseño hidráulico detallado de este tipo de estructura.



**Figura 1.3.** Vista aérea de un aliviadero de abanico de la presa Sanalona, México.

**Fuente:** (Erazo, 2018).

### **1.2 Partes componentes de un aliviadero**

Según Sepúlveda (2013), cada aliviadero está conformado por una aproximación, cuya función es la de encausar el flujo de las aguas del reservorio para el desalojo. La disposición de este flujo se regula con un control hidráulico, que en muchas ocasiones es un cimacio. La cota de estructura de control es la que determina el nivel de aguas máximo. Aguas abajo de la estructura de control, el aliviadero debe poseer un conducto que lleve el flujo hacia el antiguo cauce del río, y que puede ser un túnel o canal con superficie libre. Este debe tener un régimen supercrítico, aunque en muchos casos se incluye por debajo de las aguas de este canal una estructura de disipación de energía cinética.

Por otro lado, Pardo Gómez (2001) llegó a la conclusión que, dependiendo del tipo de aliviadero los componentes del mismo varían, siendo los de un aliviadero típico los siguientes:

- Canal de aproximación
- Estructura de control o sección vertedora.
- Transición
- Rápida o conducto de descarga.
- Estructura terminal o disipadora de energía

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

- Canal de descarga o de salida.

### Canal de aproximación

Lo constituye un área dentro del vaso de almacenamiento en la cual el agua pasa del estado de reposo desde el reservorio y a una velocidad mínima, a la estructura de control. Este canal se inicia con un tramo excavado en tierra o proyectado en la presa, que normalmente conduce a un segundo tramo de concreto. El tramo excavado en tierra presenta un ancho mayor que el tramo de concreto, motivado por la transición usada entre ambos canales (Sepúlveda, 2013).

No existen en la bibliografía parámetros de diseño del canal de aproximación, y es importante tener en cuenta que es difícil encontrar en la geomorfología de todas las presas construidas y a construir, condiciones totalmente ajustadas a tablas de datos para la proyección de este. Por esta razón, se indica la particularidad de cada diseño de aliviadero. Sin embargo, existen una serie de normas de diseño, determinadas por las características que debe presentar el flujo de agua en la entrada de la estructura de control, que deben cumplir ambos tramos del canal de aproximación.

### Estructuras de control o sección vertedora

Es la sección que determina la capacidad de descarga del aliviadero, es uno de los principales componentes de un aliviadero. La sección vertedora puede adoptar diferentes formas tanto longitudinal como transversal, dependiendo de muchos factores entre los que se destacan su tamaño, su ubicación y su finalidad. (Velazco, 2016)

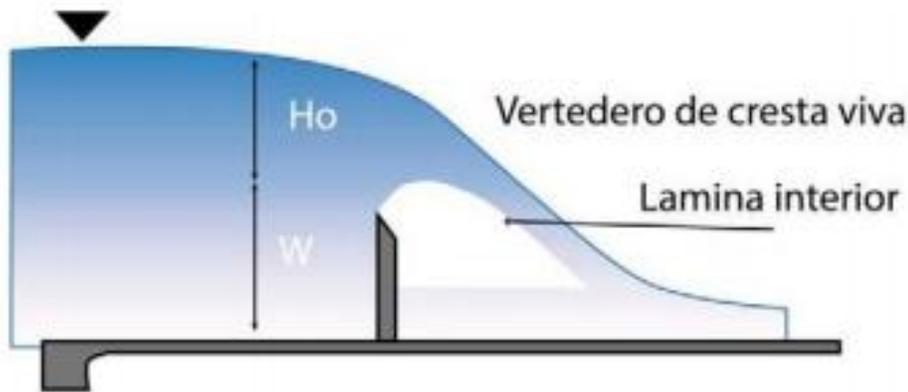
Existen diferentes tipos secciones vertedoras entre las que se pueden mencionar las siguientes:

- De pared delgada
- Poligonales (umbral ancho)
- De perfil práctico sin vacío (PPSV)
- De perfil práctico con vacío (PPCV)

Dentro de las estructuras de control, el cimacio es el más usado. Este generalmente es construido en concreto, y se obtiene al inclinar un vertedero de pared en un

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

vertedero de cresta viva, ajustándolo a la hidrodinámica del vertido del flujo como se muestra en la figura 1.4. Al ser una estructura masiva de concreto, lo hace estable. Está separado del resto de los componentes del aliviadero por juntas de dilatación, e igualmente dividido en varios bloques, cuando la longitud, determinada por el ancho del aliviadero así lo requiere. En su base, normalmente se coloca un drenaje, cuya finalidad es captar cualquier filtración que pueda dar origen a inestabilidad de la estructura. El perfil de aguas abajo del cimacio debe unirse con el canal rápido. Sobre la cresta del cimacio, el flujo de agua alcanza la altura crítica haciéndose el régimen hidráulico. Antes del cimacio el flujo es subcrítico y a partir de este punto es supercrítico. (Sepúlveda, 2013)



**Figura 1.4. Ilustración vertical de un cimacio aguas arriba.**

**Fuente:** Elaboración propia.

Donde:

$H_0$ : carga hidráulica sobre el paramento.

$W$ : altura del paramento.

Transición

Es una estructura que se ubica entre la sección de control y la rápida o conducto de descarga, con el objetivo de cambiar la forma o las dimensiones de la sección transversal, o ambas, sobre todo cuando existe una diferencia notable entre los anchos del aliviadero en la sección de control y en la rápida (Pardo, 2001).

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

### Régimen de circulación en las transiciones

En las transiciones pueden aparecer tres regímenes de circulación del flujo a través de ellas. Estos regímenes son (Pardo, 2001):

- Régimen supercrítico
- Régimen subcrítico
- Régimen transicional

### Rápida o conducto de descarga

Es aquel elemento del aliviadero encargado de salvar la diferencia de nivel que pueda existir entre la sección vertedora y el cauce del río o canal de salida. Sus dimensiones están determinadas por la magnitud del caudal a descargar, el estudio económico del aliviadero y por las características morfológicas del sitio de aliviadero.

Por lo general, los aliviaderos a cielo abierto tienen su sección de control ubicada en cotas elevadas cercanas al nivel de aguas normales en el embalse; y posteriormente la descarga final se produce en cotas relativamente bajas, cercanas al cauce original del río. De ahí que entre ambas secciones se presenta una significativa diferencia de nivel. Ello obliga a que la pendiente longitudinal de la rápida sea generalmente fuerte, imponiendo un régimen de circulación supercrítico, al cual están asociadas altas velocidades y tirantes de circulación bajos, los cuales son los causantes de los anchos de sección transversal menores para la rápida, en relación con la sección de control (Pardo, 2001).

### Estructuras finales o disipadoras de energía

El agua que vierte a través de una presa vertedora o la que circula por una rápida adquiere gran energía, que de ser entregada directamente al canal de salida, ocasionaría una gran erosión capaz de atentar contra la integridad del propio aliviadero y de la cortina o terraplén de la presa, si la descarga se realizara cercana a esta. Para evitar esta situación, se construyen, como parte integrante de los aliviaderos, objetos de obras conocidos como *disipadores de energía*, que no son más que aquellas estructuras encargadas de amortiguar la gran energía adquirida por el agua en su caída (Pardo, 2001).

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Entre los disipadores de energía se encuentran los siguientes (Pardo, 2001):

- El trampolín
- El pozo amortiguador
- El estanque amortiguador
- La cubeta deflectora

(De ellos los más usados en Cuba resultan ser los tres primeros).

### El trampolín como disipador de energía

En el campo de las obras hidrotécnicas se denomina trampolín a la estructura que dispuesta al pie del cimacio, al final de la rápida o de una conducción forzada, posibilita el lanzamiento del chorro lo más lejos posible, de forma tal que no se compromete la estabilidad de la obra como consecuencia de la gran erosión que se produce aguas abajo (Pardo, 2001).

La disipación de gran parte de la energía del flujo se produce por impacto y turbulencia de la masa de agua al caer desde el trampolín. La erosión que se presenta aguas abajo de los trampolines adopta la forma de una hondonada conocida como cono de socavación. Sus dimensiones, así como su ubicación respecto al trampolín u otra obra cercana, son los factores a tener en cuenta cuando se comparan distintas variantes de disipador de energía para una obra.

La profundidad y la distancia del punto más bajo del cono respecto al trampolín, así como el ancho en la superficie del terreno del cono, dependen de un conjunto de variables relativas a la geometría del trampolín, a la energía del agua respecto al nivel de la descarga en el río o canal de salida y a las características del terreno.

Hasta el presente se han utilizado trampolines de formas muy diversas: desde estructuras de sección rectangular con paredes laterales o sin ellas y fondo plano horizontal o con pendiente adversa, hasta trampolines de fondo curvilíneo en la dirección longitudinal y transversal del flujo. En todos los casos, lo que se ha pretendido es disminuir las dimensiones del cono y alejar lo más posible su ubicación respecto al trampolín.

La geometría del trampolín es variable y depende en gran medida del punto de vista en que se analice: *en perfil o en planta* (Pardo, 2001).

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

En perfil el trampolín puede clasificarse como:

- De pendiente horizontal.
- De pendiente adversa.
- De forma curva.

En planta pueden clasificarse como:

- Trampolín plano.
- Trampolín divergente.

Accesorios que pueden ser usados en los trampolines:

Es práctica frecuente en el diseño de estas estructuras emplear *dientes deflectores* para asegurar mayor dispersión y aireación del chorro, obteniéndose en consecuencia una reducción de la erosión. Su forma básica es la de una cuña (Pardo, 2001).

Está demostrado que la colocación de dientes deflectores disminuye en aproximadamente 30 % la profundidad del cono, comparado con el propio trampolín, sin dientes.

Existen distintos tipos de dientes deflectores, que pueden ser clasificados como:

- De una pendiente.
- De dos pendientes.
- De forma curva.
- En forma de prisma.

### Estanques disipadores de energía

Los estanques disipadores consisten en un estanque contiguo al canal rápido, dentro del cual se forma el resalto hidráulico. El régimen pasa a subcrítico con velocidades suficientemente bajas para que puedan ser toleradas por el antiguo cauce del río o canal de descarga que conduce a éste. El diseño de estas estructuras, requiere de un gran volumen de material. En la gran mayoría de los casos debe poder soportar las fuerzas de las presiones y vibraciones propias del resalto hidráulico (Pardo, 2001).

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Canal de salida

Es el encargado de conducir el agua hasta el cauce del río.

## 1.3 Clasificación de los aliviaderos

Los aliviaderos pueden tener un sin número de variantes tanto en su forma, ancho, forma de cresta o altura, para que se acoplen según se requiera en obra, es por ello que no existe una clasificación estricta para determinar el tipo de aliviadero, sino que depende del criterio que se escoja.

Según Khatsuria (2004), los aliviaderos pueden ser clasificados de acuerdo a varios criterios.

- Tipo de flujo: Clasificación indicada por el funcionamiento del aliviadero, ya que este puede funcionar bajo superficie libre a presión, o bien una combinación de ambos.
- Ubicación del aliviadero: Es una clasificación indicada por el punto de emplazamiento de estructura de captación con respecto al cuerpo de la presa
- Regulación de gastos: Señala dos tipos de aliviaderos, aquellos con compuertas que regulan el gasto a descargar y los que permiten el flujo libre a través del aliviadero.

Según Cabrera (2014), los aliviaderos toman la clasificación siguiente:

Clasificación por la Forma:

- Vertedero Rectangular: Son los más comunes, y se usan para todo tipo de proyecto.
- Vertedero Triangular: Usualmente usados para medición de caudales pequeños.
- Vertedero Circular: Es de uso poco común a pesar de su fácil construcción y no requerir nivelación en la cresta.
- Vertedero Trapezoidal: Compensa la depreciación del caudal por las contracciones laterales a través de las partes triangulares del vertedero, con la ventaja de evitar la corrección en los cálculos. Es de difícil construcción.

Clasificación por el Tipo de Pared:

- Vertedero de Cresta Ancha: Se usan principalmente para el control de ríos o canales, pueden ser también utilizados en laboratorios.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

- Vertedero de Cresta Delgada: Sirve para hacer aforos, utilizado principalmente en laboratorios.
- Vertedero con Perfil Hidráulico: Evita desgaste de la estructura y ayuda tener un mejor comportamiento del flujo, permitiendo la máxima descarga.

Clasificación por las contracciones:

- Vertederos con contracciones: Este tipo de vertedero se tiene cuando el ancho del canal es mayor que el del vertedero, entonces se producen contracciones del agua en las paredes del vertedero, cuando se tiene este tipo de vertedero se requiere realizar correcciones.
- Vertederos sin contracciones: Se tiene cuando el canal tiene el mismo ancho que el del vertedero, no se producen contracciones, puesto que el agua sigue el mismo curso.

Clasificación por el nivel de Agua:

- Vertedero Sumergido: Es cuando la cota de la cresta es menor que el nivel aguas debajo de la estructura.
- Vertedero Libre: Se tiene este tipo de estructura cuando el nivel aguas debajo de la estructura es menor que la cresta del vertedero.

Según Pardo (2001), los aliviaderos pueden clasificarse también atendiendo a la frecuencia de funcionamiento, su disposición en planta, su ubicación y, según el tipo de conducción, construcción y vertimiento.

De acuerdo con su disposición en planta:

- Aliviaderos frontales.

Cuando el eje longitudinal del aliviadero coincide aproximadamente con el eje del canal de aproximación, se define a estas estructuras como frontales. Con esta definición es evidente que la estructura vertedora, o simplemente la sección de control, puede ser tanto recta como tener curvatura en planta; sin embargo, la mayoría de los autores prefieren unirse a la tendencia creciente de considerar como aliviaderos frontales solo a los de vertedor recto. Tienen como desventajas que

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

pueden ocupar grandes extensiones en planta, lo cual traería como consecuencia, en caso de construirse en una montaña, grandes volúmenes de excavación.

- Aliviaderos curvos en planta.

Tal como lo dice su nombre, la sección de control vertedora presenta curvatura en planta, de manera que el vertimiento se realiza aproximadamente radial. Tienen las ventajas de que ocupan menor área en planta que los frontales y presentan gran longitud vertedora.

- Aliviaderos laterales

Son aquellos cuyo vertimiento se realiza con cierto ángulo, cercano a  $90^{\circ}$ , con respecto al conducto de descarga. Al contrario del aliviadero frontal, en caso de que se vaya a colocar en una montaña, puede ser ubicado de forma tal que bordee la ladera sin necesidad de excavar la montaña, ahorrándose así grandes volúmenes de excavación.

Clasificación según su ubicación:

- Aliviaderos de cauce.

Son aquellos que se ubican en el cuerpo de la propia presa, preferentemente en cortinas de hormigón. Pueden ser superficiales o profundos. Los primeros tienen como ventajas que no ocasionan debilitamiento en el cuerpo de la presa; las compuertas, de existir, trabajan en condiciones favorables. Los segundos son conductos cerrados, generalmente de sección rectangular o circular, donde el flujo puede circular a presión a todo lo largo del conducto o en uno de sus tramos. Se utilizan preferentemente en aquellos casos en que es necesario aprovechar al máximo toda el agua contenida en el embalse o para bajar profundamente su nivel.

- Aliviaderos de margen o de laderas.

Como su nombre lo indica, son aquellos que se ubican fuera del cuerpo de la presa, aprovechando las laderas que se encuentran a los lados de la cortina. Se pueden utilizar en presas de materiales locales o de hormigón. Esta ubicación implica que por lo general solo son capaces de dejar pasar volúmenes de agua que corresponden a los niveles superiores del embalse y, por tanto, no permiten su vaciado a través del aliviadero.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Clasificación según el tipo de conducción:

- Aliviaderos con régimen de circulación libre.

Se caracterizan porque su configuración longitudinal sigue aproximadamente la del terreno natural sobre el que están emplazados. Son particularmente atractivos para su empleo en suelos blandos y para la evacuación de grandes caudales.

- Aliviaderos con régimen de circulación forzado.

Parte de ellos, fundamentalmente el conducto de descarga, se extiende a través de una ladera o por debajo de la cortina de la presa, mediante túneles o conductos soterrados que pueden trabajar a presión. Su empleo está frecuentemente asociado a presas ubicadas en cañones angostos y topografía abrupta.

Clasificación según el tipo de construcción:

- Aliviaderos superficiales.
- Aliviaderos soterrados o de fondo.

Sus nombres definen claramente las características de cada uno: los primeros son particularmente atractivos para zonas relativamente llanas o de pendientes moderadas y, sobre todo, para evacuar grandes caudales; mientras que los segundos son preferidos para zonas de muy fuertes pendientes, y en especial, para caudales no muy altos, por los elevados costos que tendrían en caso contrario.

Clasificación según el tipo de vertimiento:

- Vertedores automáticos.

Son aquellos que vierten automáticamente, cuando el agua sobrepasa su cresta, es decir, no utilizan ningún dispositivo para controlar el vertimiento. La cresta del vertedor debe coincidir con el nivel de aguas normales del embalse.

- Vertedores regulados por compuertas.

Son aquellos en los que, tal y como lo indica su nombre, el vertimiento es regulado por compuertas. Una de las características fundamentales de este vertedor es el hecho de que su cresta no necesariamente coincide con el nivel de aguas normales, lo cual da origen a la existencia de dos tipos de vertimientos: regulado, con carga hasta el nivel de aguas normales; y libre, bajo la influencia de las pilas, con carga

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

hasta el nivel de aguas máximas que tiene lugar una vez que son izadas todas las compuertas.

Clasificación atendiendo a la protección de la cortina:

Atendiendo a este criterio se definen tres tipos de aliviaderos:

- Aliviadero principal o de servicio.

La cresta de la sección de control vertedora se ubica en el Nivel de Aguas Normales (NAN) del embalse si el vertedor es automático o en sus proximidades si tiene compuertas. Es el que entra en funcionamiento cuando se produce la avenida (hidrógrafo) correspondiente a la probabilidad de diseño.

- Aliviadero auxiliar.

Para los embalses de mediana y alta categoría es frecuente la definición de hidrógrafos extraordinarios, correspondientes a probabilidades menores a las del diseño, lo cual provoca la ocurrencia de escurrimientos superiores hacia el embalse. Para estas avenidas se diseñan aliviaderos auxiliares, que se ubican en cotas superiores a los de servicio, capaces de dar salida a aquellos volúmenes de agua que exceden las capacidades del aliviadero principal.

Una práctica frecuente, al menos en Cuba, es la de emplear aliviaderos que abarcan las funciones de los principales y de los auxiliares. Funcionan satisfactoriamente con la avenida de diseño y son capaces de dar paso al agua producto de la avenida extraordinaria, aunque se ocasionan daños menores en el aliviadero, que deberán repararse con posterioridad a la ocurrencia del vertimiento.

- Aliviadero de emergencia o fusible.

Son aquellos que entran en funcionamiento cuando se producen contingencias no tomadas en cuenta en los cálculos, como puede ser la obstrucción del aliviadero principal, la ocurrencia de una avenida aún mayor que la extraordinaria, la interrupción del funcionamiento de las compuertas, etcétera. Por lo general consisten en diques de materiales sueltos, situados a una cota inferior a la de la cortina y que, por tanto, vierten antes que ella. Colapsan rápidamente, por lo cual deben ser reconstruidos después de ocurrido el evento.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

La clasificación más utilizada es según el tipo de estructura de control, obteniendo ocho tipos de aliviaderos (García, 2017):

- Tipo lámina vertiente:

La cresta es recta o con una curvatura muy pequeña, es el tipo más utilizado por lo que existe un alto grado de seguridad en el diseño, por su acumulada experiencia; se ajusta muy bien sin depender del tipo de conducción bien sea abierta o cerrada.

- Tipo caída libre

El agua luego de pasar por la cresta cae hasta el río, sin pasar previamente por una estructura de conducción. Este tipo de aliviadero se emplea para pocas alturas de agua y en los casos donde el río receptor este constituido por roca sana.

- Tipo abanico

Es una modificación del tipo lámina vertiente; muy ventajoso cuando no hay disponible mucho espacio ya que este tipo de aliviadero tiene mayor longitud de cresta. En planta tiene forma de abanico.

- Tipo canal lateral

Está provisto de un canal paralelo a la cresta del aliviadero, teniendo que garantizar el régimen supercrítico en el canal. Se coloca generalmente cuando no existe suficiente espacio para un aliviadero frontal. Desde el punto de vista hidráulico es ineficiente.

- Tipo embudo o vertical

Llamados también "Morning Glory", en estos aliviaderos el agua se aproxima de forma radial y aproximadamente horizontal, se utiliza cuando por problemas de espacio no se puede colocar otro aliviadero ya que hidráulicamente no es muy eficiente.

- Tipo alcantarilla

Consiste en un conducto cerrado que cruza el cuerpo o un estribo de la presa. Se utiliza en presas pequeñas o en aquellas cuya finalidad es de control de crecidas.

- Tipo sifón

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Necesita una carga suficiente para que el agua supere el punto más alto (control) del conducto. Tiene problemas con el almacenamiento de basura y la acumulación de aire en el conducto, necesitando una ventilación apropiada. Este tipo de aliviadero no es muy utilizado en el mundo, siendo recomendado solo para gastos muy pequeño.

- Tipo rápido disipador

Esta es otra modificación del tipo lámina vertiente, consistiendo en tener la rápida y el disipador de energía juntos, esto se logra colocando unos tacos de impacto en la rápida. El agua al chocar con los tacos disipa la energía. Se usa generalmente en presas bajas.

### **1.4 Factores técnico-económicos que determinan la ubicación y tipo de aliviadero**

En primer lugar, se debe destacar que en el proceso de selección y diseño de un aliviadero se debe comenzar por la selección del lugar adecuado para su ubicación; y posteriormente, el que más se adapta al lugar; pues el proceso en orden inverso conduce por lo general a soluciones excesivamente caras y/o con mal funcionamiento hidráulico. En consecuencia con lo anterior, para que el proyectista pueda definir la ubicación y el tipo de aliviadero, necesariamente tendrá que considerar un conjunto de factores técnico-económicos. Los más importantes se explican a continuación, destacando las peculiaridades que fundamentan su importancia (Pardo, 2001).

#### Topografía

Zonas de fuertes pendientes dificultarán y encarecerán las labores constructivas, además de incrementar las velocidades del flujo y su energía, imponiendo la necesidad de disipadores de mayor energía y más costosos. Por el contrario, zonas muy llanas impondrán la necesidad de construcción de diques laterales, que incrementarán los costos. Y al ser muy baja la velocidad del flujo, los tirantes de circulación serán grandes, y con ello, la altura de los muros laterales.

#### Geología

Suelos de roca con alta capacidad portante, disminuyen los volúmenes de las cimentaciones, pero incrementan los costos de excavaciones. Por el contrario, suelos

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

blandos facilitan las excavaciones, pero incrementan las dimensiones de las cimentaciones.

Categoría de la obra

Conjuntos hidráulicos de baja categoría por su finalidad y por las bajas consecuencias catastróficas derivadas de su fallo, por ejemplo, un embalse con fines recreativos y cercano a la costa, sin objetos de alto valor aguas abajo, no justifica el empleo de aliviaderos complejos o de alto costo.

Posibilidades de materiales de construcción a emplear

Los aliviaderos principales y auxiliares son siempre de hormigón, de ahí que su calidad depende directamente de los áridos disponibles en la región. En caso de ser áridos de baja calidad, el aliviadero a seleccionar no puede exigir hormigones de alta calidad.

### **1.5 Factores principales para el diseño de un aliviadero**

Según (Erazo, 2018), para el diseño de un aliviadero se requiere disponer de la siguiente información:

- Estudio hidrológico de caudales y crecidas.
- Estudio del tránsito de avenidas por el embalse (laminación de caudales de crecida).
- Estudio geológico de la sección de cierre y, en algunos casos, de otras secciones del embalse.
- Estudios de suelos y rocas de la sección en la que se ubicará el aliviadero.
- Topografía de detalle de la zona de emplazamiento del aliviadero.
- Curva característica Caudal vs Cota.
- Clasificación de riesgo de la presa.
- Otros, en concordancia con los requerimientos específicos del proyecto.

Por otra parte Espinosa (2010), plantea que ante un proyecto dado, en la selección del tipo de aliviadero más adecuado intervienen los siguientes factores principales, aparte de las consideraciones de índole socio-económicas y de los riesgos de vidas humanas que pudieran acontecer.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

- Confiabilidad y precisión de las crecientes de proyecto.
- Topografía y geología del sitio donde se implantará el proyecto.
- Tipo de presa y medidas ambientales correctoras previstas.
- Duración y grados de utilización.
- Sismicidad regional y confiabilidad de la operación del aliviadero.
- Condiciones o consignas de operación.

Un aliviadero es seleccionado de acuerdo a requerimientos de descarga, diseño y utilidad de la presa. La capacidad del aliviadero debe ser necesariamente igual aunque generalmente mayor al caudal máximo de descarga. El caudal máximo de salida corresponde a la creciente de diseño. Es el factor más importante en la determinación de la capacidad, pues el caudal y el régimen del flujo a transitar constituyen el patrón del dimensionamiento y configuración geométrica del aliviadero., término obtenido del aporte de la cuenca en eventos de alta ocurrencia de la precipitación.

De acuerdo a lo planteado por Delgado (2009), las crecientes en el aporte de la cuenca, son consideradas eventos aislados y ocasionales, y están relacionadas con una probabilidad de ocurrencia. Por ello, la determinación de estas se realiza por medio de un artificio matemático. Esta determinación se basa en seleccionar la capacidad del aliviadero en relación al riesgo de colapso e importancia de la presa. La selección del riesgo posible está relacionado con el período de retorno ( $T_r$ ), pues se evalúa la ocurrencia de la crecida máxima en un período de mil años. También tiene importancia en la determinación del embalse variables como el impacto de una ruptura, el material que se usó para la construcción y la función del embalse.

Por su parte Rodríguez (2010), hace énfasis que la ruptura de una presa, puede producir numerosos daños destacándose la posible pérdida de vidas humanas, y daños aguas abajo a la infraestructura y tierras cultivables, entre otros. Esto se produce por el daño directo ocasionado por la ruptura, en donde el efecto de su acción es inmediato. Por otra parte, el factor bajo el cual se determina la capacidad de un aliviadero, es aquel asociado al material de construcción de la presa, ya que una presa de concreto permite un mínimo vertido a través de la cresta de la presa,

sin que peligre su infraestructura. Esta acción no es permitida por una presa de tierra, bajo ningún punto de vista, debido a la erosión que esto provocaría sobre la presa. Finalmente, la función del embalse es un factor importante, dado que su ruptura puede alterar la función que lo hace indispensable, ya sea en el suministro de energía, agua, riego; o en el caso de control de inundaciones, la interrupción de esta función.

### **1.6 Fenómenos que afectan el funcionamiento de un aliviadero.**

Vibraciones:

Las vibraciones de las estructuras pueden estar asociadas con alguna inestabilidad del flujo y fluctuaciones en la presión, donde la cavitación es solo un ejemplo extremo. El mejor método para prevenir o al menos reducir vibraciones es mediante la disminución de la fluctuación de presiones y estabilizando el flujo.

Sedimentos:

Un problema que puede presentarse en la hidráulica de los aliviaderos es la distribución de sedimentos, ya que el sedimento no necesariamente se deposita en el fondo del embalse, sino que se distribuye a todos los niveles comprendidos dentro del vaso de almacenamiento, de acuerdo al proceso de sedimentación. Al penetrar al embalse, las partículas acarreadas por las corrientes fluviales están sometidas a la acción de una componente horizontal de la fuerza que ejerce el agua sobre la partícula en la dirección del escurrimiento y una fuerza vertical debida a la aceleración de la gravedad.

En el canal de aproximación al aliviadero, el caudal está caracterizado por velocidades bajas y por la ausencia de turbulencia, por las dimensiones y perímetros del canal. De esta manera las partículas caen al fondo de la estructura de aproximación y se consideran sedimentadas, ocasionando aumento en los niveles aguas arribas, afectando el diseño de la cresta del aliviadero, y alterando la curva de descarga.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

### Vórtices:

Se puede definir vorticidad, como la rotación de una masa diferencial de fluido, siendo esta igual al doble de la velocidad angular del elemento.

Los vórtices generalmente se producen por las siguientes condiciones:

- condición de aproximación asimétrica del flujo, que puede ser originada por la orientación geométrica de la entrada o canal de aproximación al aliviadero, por las irregularidades en los contornos, la acción del viento, separación de la capa límite, etc.
- existencia de planos de corte, originados por altos gradientes de velocidades.
- flujos rotacionales generados por objetos u obstrucciones en la vía del flujo de aproximación.

En algunos casos la presión en el núcleo del vórtice puede llegar a tener valores inferiores a la presión atmosférica, debido a las altas velocidades generadas en el movimiento circular, por tanto será en este punto donde probablemente se inicie el fenómeno de la cavitación.

### Abrasión:

El riesgo de abrasión debido al rozamiento de los sedimentos suspendidos en el agua, es inevitable e implica un mantenimiento en cuanto a la reparación periódica de la superficie del aliviadero. La suspensión de sedimentos en el flujo es peligrosa en la medida que según la naturaleza del sedimento. La turbulencia del flujo tiende a agravar la abrasión. El uso de concretos y recubrimientos especiales desarrollados actualmente disminuyen un poco el efecto abrasivo, pero no exime completamente al aliviadero de esta situación.

### Socavación:

La socavación al pie del vertedero por altas velocidades aguas abajo del mismo, como consecuencia de la caída debe ser llevada a su valor mínimo mediante la disipación de energía de carga cinética.

### Subpresión:

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

La subpresión es causada por la conversión intermitente de la energía cinética en energía de presión a través de infiltraciones que puedan existir en el canal de flujo. Este fenómeno propone una amenaza especial para altos números de Froude y es acentuada por la intensa turbulencia. Cuando las presiones se hacen negativas en un punto del fondo, puede haber una pequeña inestabilidad local si hay una continua subpresión, mayor que el peso sumergido de la roca suprayacente o concreto. Dicha subpresión es determinante en la estabilidad de la estructura, por cuanto, en la mayoría de los casos, produce una fuerza hacia arriba de considerable magnitud. La estabilidad del aliviadero debe ser garantizada con su correspondiente factor de seguridad en función del incremento del peso de la estructura y por reducción de subpresiones mediante el empleo de drenes u otros métodos.

### Cavitación:

El fenómeno de cavitación consiste en la creación de burbujas de vapor de agua en aquellos puntos del cuerpo del flujo donde la presión es igual o menor que la de vaporización. Una vez creadas las burbujas son arrastradas por la corriente del fluido, ingresando posteriormente a zonas de mayor presión donde sufren una implosión (se aplastan). Si la burbuja está en contacto con la superficie de concreto genera una fuerte presión puntual en la misma, y como consecuencia de esta repetida presión puntual queda una picadura en la pared o contorno. Miles de burbujas siguen el mismo proceso, creando picaduras que terminan por destruir el material de contorno, razón por la cual se justifica la no admisión de este fenómeno en el cimacio vertedor.

### 1.8 Conclusiones parciales

Durante el desarrollo de la investigación por diferentes fuentes bibliográficas se definió lo que es un conjunto hidráulico, mencionando sus partes componentes y centrando la mayor atención en el **objeto de la investigación**; así como las partes que lo conforman. El autor define esta importante obra; como las estructuras que permiten la evacuación del agua embalsada, en las presas, cuando estas sobrepasan el volumen de diseño de almacenamiento, previniendo la ocurrencia de fallas técnicas en la presa.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

La elección del tipo de aliviadero para un determinado embalse, consiste básicamente en seleccionar la estructura técnicamente más factible y segura, que se adapte a las características topográficas, geológicas y a las condiciones de funcionamiento del vertedor que se impongan. La correcta alusión a un aliviadero debe abarcar aspectos con todos los criterios de clasificación independientemente de los autores estudiados en el capítulo, ya que no son excluyentes entre sí. Por ejemplo, una presentación adecuada de un aliviadero sería: «aliviadero de servicio, frontal, de margen, con régimen de circulación libre, superficial y automático».

## CAPÍTULO 2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EMBALSE JOTURO Y MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA SECCIÓN VERTEDORA

El embalse se fundó en el año 1990. La cortina se construyó de materiales locales (homogéneos) con una altura de 19 m, revestida con capa vegetal. Localizada en la provincia de Santiago de Cuba, municipio Songo – La Maya, con coordenadas del cierre: 170.65 norte y 631.59 este. La presa en sus inicios estuvo destinada a la agricultura y después pasó a la administración del INRH, para el abastecimiento del poblado de La Maya, con un volumen de embalse de 2.381 hm<sup>3</sup>. Los datos oficiales, según documentos del INRH (ficha técnica del embalse), se muestran a continuación:

### 2.1 Características Técnicas del Embalse

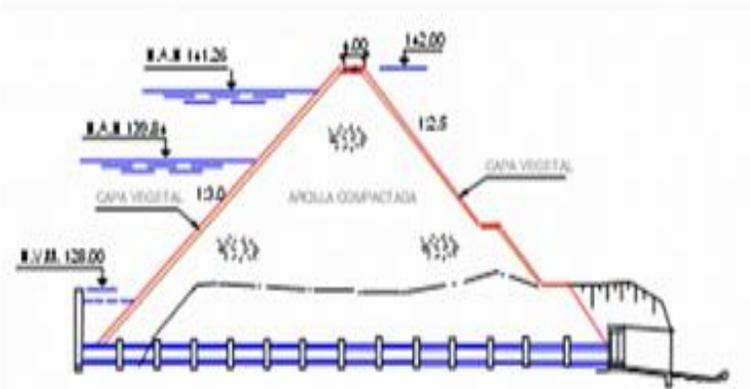
#### Datos Generales

Nombre del Embalse: Joturo, Objetivo: Abasto al poblado La Maya, Provincia: Santiago de Cuba, Cuenca: Joturo, Río: Joturo, Tipo de presa: Homogénea  
Coordenadas del cierre: N: 170.650      E: 631.590, Categoría: III  
Acceso: Carretera a los Reynaldos.



**Figura 2.1** Imagen de la presa Joturo y su aliviadero. Fuente: Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Santiago de Cuba.

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo



**Figura 2.2.** Esquema representativo de la presa Joturo.

## Datos de Investigaciones

Hidrológicas y Fisiográfica

Área de la cuenca: 20.1 Km<sup>2</sup>

Corriente que la capta: Joturo-Sabanilla

Altura media de la cuenca: 200m.

Pendiente media de la cuenca: 83 %

Longitud del río principal: 8.8Km

Densidad de drenaje: 1.4 Km / Km<sup>2</sup>

## Evaporación

Evaporación efectiva: 665 m

**Tabla 2.1** Escurrimiento hasta el cierre

**Tabla 2.3** Estudio de la lluvia por mes para distintas probabilidades

	Meses (mm)												Anual
	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	
Po	34.0	41.0	54.1	82.0	216.3	145.1	94.4	133.5	145.3	180.0	73.8	20.5	1230.0
50	33.4	40.3	53.1	90.4	212.6	143.0	92.7	131.2	142.8	176.9	72.5	20.1	1209.0
75	29.0	34.5	46.0	77.0	182.0	122.2	80.0	112.5	122.3	152.0	62.0	17.3	1037.0
85	26.2	31.6	41.7	71.0	166.8	111.9	73.0	103.0	112.0	138.8	57.0	16.0	94.9
95	23.0	27.0	36.2	62.0	145.0	97.2	63.2	89.4	97.3	120.6	49.4	13.7	824.0

**Tabla 2.4** Topografía de embalse

Tipo de Levantamiento		Escala	Equidistancia (m)
Vaso	Taquimétrico	1:2000	
Cierre	Taquimétrico	1:500	

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

### Parámetros del Embalse

Tipo de Regulación: Hiperanual

Coefficiente de Regulación: 0.55

Volumen de entrega garantizada: 2.300 hm<sup>3</sup>

Volumen Útil: 2.322 hm<sup>3</sup>

**Tabla 2.4** Cotas y volúmenes de los niveles característicos del embalse

	<b>Cota (m)</b>	<b>Volumen (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>Área del Embalse (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Observaciones</b>
NAM	141.26	2.860	0.51	-
NAN	139.84	2.381	0.46	-
NM	128.00	0.059	0.34	-

### Datos de los objetos de obra

#### - Datos del Aliviadero

Tipo de aliviadero: mexicano

Longitud sección vertedora: 66.5m

Cota cresta: 139.84m

Rápida: Ancho: 21.80m

Largo: 31.65 m

Pendiente: 0.06

Revestimiento: Losa de hormigón fundida in situ

Disipador de energía: Trampolín.

Canal de salida: Terreno Natural

**Tabla 2.5** Gastos de avenida para el diseño del aliviadero

<b>Probabilidad de Avenida en %</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Carga (m)</b>	<b>Gasto de Diseño (m<sup>3</sup> / s)</b>	<b>Observaciones</b>
1	139.84	1.42	325.35	

**Tabla 2.6** Datos de la cortina



## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

Gasto de entrega: 0.080 m<sup>3</sup>/s

**Tabla 2.7** Volúmenes de trabajos reales

Objeto de Obra	Miles de m <sup>3</sup>							
	Exc.	Terr.	Piedra	Arena	Grava	Horm.	Filtro	Enroc.
Cortina	21.703	90.352						
Obra de toma								
Aliviadero	97.771							
<b>Total</b>	<b>119.474</b>	<b>90.352</b>						

Datos sobre proyectos, construcción y costos:

Jefe del Proyecto:

Jefe técnico de la construcción:

Costo de la obra: Según presupuesto:                      Real: 282.00 Mp

Fecha de Inicio de la construcción:

Fecha de terminación: 1990

Fecha de comienzo del almacenamiento: Se desconoce

**Tabla 2.8** Pluviómetros de la cuenca

No.	Nombre	Nº Control	N	E	Altitud
1	Mata Indio	531	173.5	629.4	190
2	Pr. Joturo	1687	170.5	631.6	160

**Tabla 2.9** Datos de las observaciones hidrometeorológicas y de explotación

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

Tipo de observación	Instalación	Inicio de Observación	Equipo o instalación
Medición del gasto líquido de los aportes			
Medición de gasto sólido de los aportes			
Medición del nivel del embalse	2001	2001	Sección de escala
Medición de la sedimentación del vaso			
Temperatura del agua			
Control Hidroquímico		02/1999	
Control Bacteriológico		02/1999	
Medición de extracciones			
Medición de filtraciones			
Medición de las deformaciones de la cortina			
Red piezométrica			
Evaporación			
Precipitaciones			
Velocidad del Viento			
Oleaje			
Medición de Vertimientos			

**Tabla 2.10** Instalaciones hidrométricas para el control de las filtraciones

Tipo	Ubicación	Gasto de filtración (L/s)	Fecha de instalación	Tipo de Medición
Vertedor	Aguas debajo de la Est. bombeo en terreno natural	0.248	-	Vertedor triangular

Modelo VT-1

“Instalación o verificación topográfica de escalas o monumentos en embalses para el control de la explotación”

Empresa: Aprovechamiento Hidráulico

Provincia: Santiago de Cuba

Fuente: Embalse Joturo

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Ubicación de la sección de escala o monumentos: en el vaso, a la derecha de la obra de toma

Fecha de construcción de la presa: 1990

Sección de escala: x

Sección de monumentos:

Instalada en la cortina de la presa o canal en terraplén:

Instalada en terreno natural o canal en canal de aproximación:

Cantidad de escalas o monumentos instalados en el embalse: 10

Cota del monumento de apoyo no. 1: 140.731 m

Ubicación: el mon. – 1 tiene cota 140.731 m

Frecuencia de las verificaciones topográficas a realizar: anual

### **Breve fundamentación de la situación problemática**

El embalse Joturo ha venido afrontando problemas técnicos desde el año 2007, por una mala construcción de la estructura del aliviadero. En el año 2011 su situación ya pasa a ser catalogada como grave, quedando destrozado por completo el vertedor por intensas lluvias. El aliviadero que fue diseñado en los inicios de la construcción de la presa es de abanico o mexicano, el cual presenta afectaciones en su superficie vertedora. Al no contar con refuerzos de acero facilito la ocurrencia de un agrietamiento de esta superficie por la negativa acción de la fuerza de supresión (ver figura 2.3).



**Figura 2.3** Imagen del aliviadero de la presa Joturo en mal estado. **Fuente propia.**

Producto a esto se pierde un volumen de agua aproximado en el embalse de  $0.783 \text{ hm}^3$  según los especialistas del INRH. Volumen que pudiera ser utilizado con varios fines, como el abasto a otros poblados cercanos. Además, esta situación en el peor de los casos, podría ser la causa fundamental de un fallo en el conjunto hidráulico, con innumerables afectaciones aguas abajo del cierre. Por tanto, se plantea la necesidad de rediseñar el aliviadero actual y calculando otro tipo, por los métodos de los perfiles prácticos, que también se adapte a las condiciones topográficas y geológicas del terreno. Con esto se pueden obtener varias variantes, para proponer la más adecuada técnicamente.

### **2.2. Métodos de cálculo para determinar el perfil de la sección vertedora**

#### **2.2.1 Vertedores de perfil práctico sin vacío**

Se define como vertedor tipo perfil práctico sin vacío (PPsV) aquel cuya forma coincide con la forma de la superficie inferior del agua que es vertida desde un vertedor de pared delgada. Dicho en otras palabras, es como si al vertimiento de agua desde un vertedor de pared delgada, se le rellenase con hormigón el espacio que queda entre la lámina de agua y el vertedor (Pardo, 2001).

La carga a partir de la cual se obtiene el perfil del vertedor, es denominada carga perfilante  $H_{per}$ , en la mayoría de los casos se hace coincidir con la carga de diseño  $H_0$ . Para el gasto correspondiente a la carga de diseño, la lámina vierte suavemente sin interferencia de la superficie vertedora, y por tanto, el vertedor funciona con su máxima eficiencia. Si la carga es menor que la perfilante, la lámina de agua se apoya sobre el cimacio, produciendo fricción; y con ello, el retardamiento del flujo y un remanso aguas arriba que provoca una disminución de la eficiencia del vertedor. Si por el contrario, la carga es mayor que la perfilante, la lámina tiende a separarse del perfil vertedor; pero si no existe ventilación por debajo de dicha lámina, tal separación no tendrá lugar, por lo que se producirán presiones inferiores a la atmosférica o de vacío debajo de la lámina que favorece el flujo. Todo esto permite aumentar la eficiencia del vertedor.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Entre las formas del vertedor de perfil práctico sin vacío, se encuentran el perfil Creager, Creager modificado, Lane Davis, Samini, Smetana y Marchi, entre otros. A los autores anteriores se suman algunas instituciones, entre las que se destacan: el United States Bureau of Reclamation (USBR) y el US Army Corp. Of Engineers. Esta última, desarrolló en su estación experimental varias formas Standard, basadas en los datos del USBR, que dieron lugar a los denominados aliviaderos Standard WES.

Se recomienda el uso del perfil práctico sin vacío del tipo WES, teniendo en cuenta lo completa que resulta la información de que se dispone, la cual abarca el funcionamiento de esta sección vertedora, con vertimiento libre o regulado, aplicable tanto a paramentos bajos como altos, donde la velocidad de aproximación llega a ser despreciable.

Criterios para el diseño de un cimacio WES con vertimiento libre:

El diseño hidráulico de un cimacio debe resolver las interrogantes siguientes

- Altura
- Longitud
- Forma de la sección transversal

*Altura del paramento P:* Se establece desde la cota de la cresta hasta el firme, donde estará el fondo del canal de aproximación. Es posible que P se aumente para tener más profundidad de circulación en el canal de aproximación (y por tanto requiera menor ancho BCA); de este modo, queda satisfecho el requisito de la velocidad permisible.

Longitud del cimacio. Se obtiene a partir de la expresión fundamental de los aliviaderos:

$$Q = mL\sqrt{2gH_o^{3/2}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.1}$$

Donde el caudal Q es incógnita; el coeficiente de gasto m está afectado por condiciones de trabajo del cimacio que son directamente dependientes de Q; mientras que la carga hidráulica total se determina según:  $H_o = (NAM - NAN) - \Sigma hf$  y este último término depende de Q. Por lo anterior, está claro que se impone un proceso iterativo, el cual se resume como sigue:

1. Se asume un valor para m. Para los PPsV está entre 0,45 y 0,49.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

2. Se supone  $L$ .
  3. Teniendo como datos el hidrógrafo de la avenida de diseño, la curva del embalse y la ecuación de capacidad de servicio del aliviadero, se procede a transformarla según alguno de los métodos que se estudian en Hidrología, obteniéndose un primer valor del gasto transformado  $Q_t$ .
  4. Con  $Q_t$ ,  $m$  y  $L$  de la ecuación fundamental de los aliviaderos, se obtiene  $H_o$ . Y si es ligeramente menor que  $NAM - NAN$ , ello indica que  $L$  es la correcta. Si no es así, habrá que suponer otra  $L$ ; y así sucesivamente hasta lograr la condición indicada.
  5. Con  $Q_t$  ajustado, se determinan las condiciones hidráulicas de trabajo del cimacio y se obtiene la curva de capacidad de servicio, que incluye  $m$  variable, según procedimiento que se explica más adelante.
  6. Con la curva hallada en el paso anterior, se transforma nuevamente la avenida; y si  $H_o$  no cumple lo indicado en el paso 4, habrá que recomenzar en el 2.
- Cuando se logre el requerimiento de  $H_o$  entonces habrá que comparar el nuevo  $Q_t$  con el anterior. Si son aproximadamente iguales, habrá concluido el proceso y  $L$  será la última obtenida; pero si  $Q_t$  varía significativamente, habrá que repetir a partir del paso 5.

### *Coeficiente de gasto:*

Para obtener el coeficiente de gasto  $m$  deben tenerse en cuenta los factores que afectan su valor:

- Profundidad relativa de llegada ( $P/H_o$ ).
- Forma de la lámina real en relación con la de proyecto ( $H_e / H_o$ ).
- Inclinación del paramento superior.
- Posición de la solera o lavadero.

Para este último efecto, deben tenerse en cuenta los cinco posibles casos de condiciones de circulación aguas abajo de la cresta de un vertedor frontal.

- 1- Régimen supercrítico.
- 2- Salto hidráulico que aparece y desaparece indistintamente.
- 3- Salto hidráulico libre.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

- 4- Salto hidráulico ahogado.
- 5- Régimen supercrítico con vertedor de pequeña altura.

En los tres primeros casos, las afectaciones al coeficiente de gastos tienen su origen en la posición relativa de la solera respecto a la cresta del vertedor; es decir, el fenómeno que se manifiesta es de contrapresión del flujo, mientras que en los dos últimos predominan los efectos de ahogo o sumersión del cimacio, debido a los altos tirantes que tienen lugar inmediatamente aguas abajo de este. Matemáticamente se expresa como:

$$m = f\left(\frac{P}{H_0}, incP, \frac{H_e}{H_0}, \frac{P^*}{H_0}, \frac{h_d}{H_0}\right) \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.2}$$

La expresión anterior, a los efectos prácticos se convierte en:

$$m = m_0 * \sigma_1 * \sigma_2 * \sigma_3 * \sigma_4 \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.3}$$

$m_0$ : coeficiente de gasto nominal.

$\sigma_1$ : coeficiente de corrección por la ocurrencia de cargas  $H_e$  diferentes a la de proyecto  $H_0$ .

$\sigma_2$ : coeficiente de corrección por inclinación del paramento.

$\sigma_3$ : Coeficiente de corrección por efecto de la ubicación de la solera (lavadero) aguas abajo.

$\sigma_4$ : coeficiente de corrección por sumersión.

Como se puede ver a continuación, los coeficientes que intervienen en ecuación para determinar coeficiente de gasto se pueden determinar mediante ecuaciones o tablas.

$$m_0 = \frac{0,385+3,9206\left[\frac{P}{H_0}\right]}{1+7,8192\left[\frac{P}{H_0}\right]} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.4}$$

$$\sigma_1 = \frac{0,7917+0,7591\left[\frac{H_e}{H_0}\right]}{1+0,5490\left[\frac{H_e}{H_0}\right]} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.5}$$

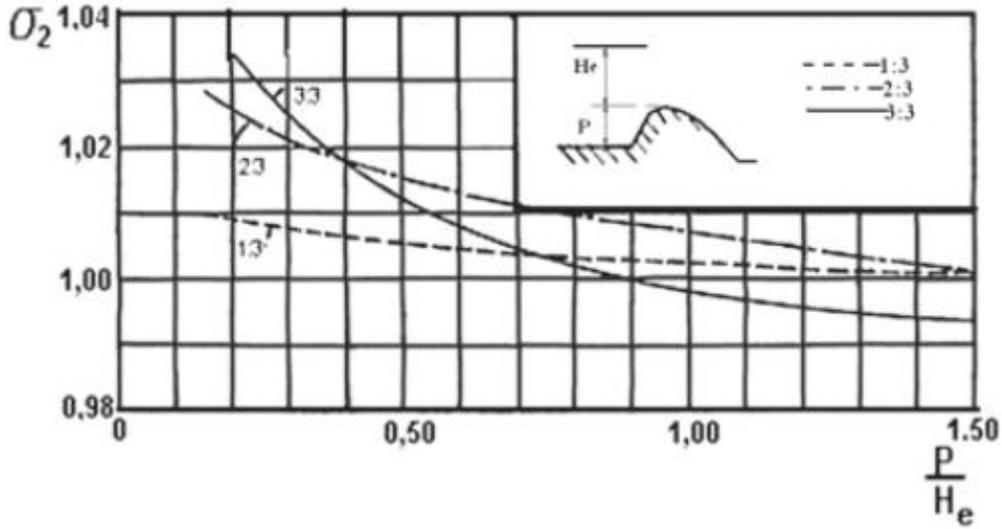


Figura 2.4 Corrección del coeficiente de gasto por inclinación del paramento superior. (USBR, 1972).

$$\sigma_3 = 0,77 + 1,115 \left[ \frac{P^*}{H_g} \right] - 1,197 \left[ \frac{P^*}{H_g} \right]^{1,5} + 0306 \left[ \frac{P^*}{H_g} \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.6}$$

$$\sigma_4 = 0,0047 + 16,6579 \left[ \frac{h_d}{H_g} \right] - 44,4645 \left[ \frac{h_d}{H_g} \right]^{1,5} + 44,6722 \left[ \frac{h_d}{H_g} \right]^2 - 15,8993 \left[ \frac{h_d}{H_g} \right]^{2,5} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.7}$$

Una vez conocidos todos los factores de corrección, se calcula el valor real de  $m$  mediante la ecuación 2.3.

*Forma de la sección transversal.*

Las secciones de la cresta cuya forma se aproxima a la de la superficie inferior de la lámina que sale de un vertedor de pared delgada, constituye la forma ideal para obtener descargas óptimas. La forma de la lámina depende de:

- La carga hidráulica total.
- La inclinación del paramento superior.
- La carga a velocidad de aproximación.

Para diseñar el cimacio (en lo relativo a su forma), existen varios métodos, recogidos en la literatura. Se puede afirmar que la mayoría de ellos coinciden conceptualmente y que las diferencias están dadas en las herramientas prácticas para los cálculos:

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

tablas, gráficos o ábacos; que incluso toman en cuenta los mismos tres factores mencionados anteriormente.

La forma de S alargada que aproximadamente tienen los cimacios vertedores, se puede considerar conformada por tres partes o cuadrantes: la porción que se encuentra aguas arriba de la cresta, la porción que se encuentra aguas abajo de la cresta y la unión del cimacio con la solera de aguas abajo.

*Trazado del cuadrante ubicado aguas arriba de la cresta:*

De las siguientes ecuaciones se obtienen los valores de  $R_2 / H_0$ ;  $R_1 / H_0$ ;  $Y_c/H_0$ ;  $X_c/H_0$ ;  $n$ ;  $K$ ; a partir de los cuales se pueden definir  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $Y_c$  y  $X_c$  que permiten el trazado del cuadrante ubicado aguas arriba de la cresta.

$$\frac{R_1}{H_0} = \left[ \frac{a + c \left( \frac{P}{H_0} \right) + e \left( \frac{P}{H_0} \right)^2}{1 + b \left( \frac{P}{H_0} \right) + d \left( \frac{P}{H_0} \right)^2} \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.8}$$

$$\frac{R_2}{H_0} = \left[ \frac{a + c \left( \frac{P}{H_0} \right)^2 + e \left( \frac{P}{H_0} \right)^4}{1 + b \left( \frac{P}{H_0} \right)^2 + d \left( \frac{P}{H_0} \right)^4} \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.9}$$

$$k = a + b \left( \frac{P}{H_0} \right) + \frac{c}{\left( \frac{P}{H_0} \right)} + d \left( \frac{P}{H_0} \right)^2 + \frac{e}{\left( \frac{P}{H_0} \right)^2} + f \left( \frac{P}{H_0} \right)^3 + \frac{g}{\left( \frac{P}{H_0} \right)^3} + h \left( \frac{P}{H_0} \right)^4 + \frac{i}{\left( \frac{P}{H_0} \right)^4} + j \left( \frac{P}{H_0} \right)^5 \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.10}$$

$$n = \left[ \frac{a + b \left( \frac{P}{H_0} \right) + e \left( \frac{P}{H_0} \right)^2}{1 + b \left( \frac{P}{H_0} \right) + d \left( \frac{P}{H_0} \right)^2 + f \left( \frac{P}{H_0} \right)^3} \right] \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.11}$$

$$\frac{Y_c}{H_0} = a + b \left( \frac{P}{H_0} \right) + c \left( \frac{P}{H_0} \right)^2 + d \left( \frac{P}{H_0} \right)^3 + \ln \left( \frac{P}{H_0} \right) + e \left( \frac{P}{H_0} \right)^{0.5} \text{Ecuación 2.12}$$

$$\left( \frac{Y_c}{H_0} \right) = a + b \left( \frac{P}{H_0} \right) + c \left( \frac{P}{H_0} \right)^{1.5} + d \left( \frac{P}{H_0} \right)^{2.5} + \frac{e}{\left( \frac{P}{H_0} \right)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.13}$$

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

**Tabla 2.8. Determinación de los parámetros de las ecuaciones anteriores.**

Parámetro	Variable					
	$R_1/H_0$	$R_2/H_0$	k	n	$X_c/H_0$	$Y_c/H_0$
a	0,275759336	0,196369198	0,724849751	1,838044437	0,252922138	-0,02247607
b	2,920248456	1,168449850	-0,19703464	-2,18579905	0,042031321	-0,06507629
c	1,648339435	0,238028420	-0,10688523	-4,03571084	-0,02179333	0,002788066
d	3,039944014	0,564029675	0,089103806	2,314627820	0,001229144	-0,00349575
e	1,586729829	0,128798935	0,022098071	4,270123298	-0,02051319	0,183847525
f	-	-	-0,02104500	-0,00616759	-	-
g	-	-	-0,00164858	-	-	-
h	-	-	0,002437727	-	-	-
i	-	-	-6,5276e-05	-	-	-
j	-	-	-0,00010563	-	-	-

La obtención de las coordenadas de los puntos A y B (para el trazado del cimacio aguas arriba) puede realizarse gráficamente o se puede obtener analíticamente mediante las ecuaciones que se muestran:

$$XA = - R1 \operatorname{sen} \alpha \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.14}$$

$$YA = R1 (1 - \operatorname{cos} \alpha) \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.15}$$

$$XB = - (R1 - R2) \operatorname{sen} \alpha \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.16}$$

$$YB = R1 - (R1 - R2) \operatorname{cos} \alpha \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.17}$$

Conocidos K y n, entonces se procede a suponer valores de Y para el cálculo de los valores correspondientes de X. Los valores de Y a suponer, deberán estar comprendidos entre 0 y el valor de la altura del paramento inferior P\*.

$$\sin \alpha^o = \frac{M - N\sqrt{1+N^2-M^2}}{1+N^2} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.18}$$

$$T = \frac{2Y_c R_1 - X_c^2 - Y_c^2}{2(R_1 - R_2)} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.19}$$

$$N = \frac{(R_1 - Y_c)}{|X_c|} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.20}$$

Trazado de la unión del cimacio con la solera:

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Para el trazado del arco que une el perfil del cimacio con la solera ubicada al pie de la estructura, se recomienda emplear las expresiones que se presentan a continuación, las cuales son válidas solo para aquellos casos en los que la solera es horizontal.

- Para  $P^*/H_0 \leq 19$

$$R_{ac}/H_0 = 1 + 0,25 P^*/H_0 - 0,0004 (P^*/H_0)^{2,5} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.21}$$

- Para  $P^*/H_0 > 19$

$$\frac{R_{ac}}{H_0} = 2.9 \left( \frac{P^*}{H_0} \right)^{0.128} \dots\dots\dots \text{Ecuación 2.22}$$

Siendo el término  $R_{ac}$  el radio de acuerdo entre el perfil y la losa de solera.

Finalmente, el diseño de un vertedor debe concluir con el cálculo de la curva de capacidad de servicio. Para ello, se recomienda organizar los cálculos en forma de tabla, como se muestra a continuación.

**Tabla 2.9 Organización de los cálculos de la curva de capacidad de servicio.**

$H_e/H_o$	$H_e$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_4$	$m$	$L$	$Q$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
0,2								
0,4								
0,6								
0,8								
1,0								
1,2								

Donde:

(1): valores supuestos por el proyectista.

(2): se obtiene a partir de (1) pues  $H_o$  es conocida.

(3), (4), (5) y (6): se obtienen a partir de las ecuaciones correspondientes arriba indicadas.

(7):  $m = m_o * \sigma_1 * \sigma_2 * \sigma_3 * \sigma_4$ ..... Ecuación 2.22

(8)  $L = L_t - n_t - 2(n_{kp} + K_e)H_e$ .....Ecuación 2.23

(9)  $Q = mL\sqrt{2gH_e^{3/2}}$

### 2.2.2 Vertedores de perfil práctico con vacío

Características generales de los perfiles prácticos con vacío de tipo elíptico:

Los vertedores de perfil práctico con vacío (PPcV) tienen su origen, a diferencia de los perfiles prácticos sin vacío, en la configuración más angosta del cimacio, de forma tal que no coincida con la parte inferior de la lámina libre que vierte sobre un vertedor de pared delgada aireada, pues de esta manera se crean las condiciones necesarias para la formación del vacío (presiones negativas) en la zona cercana a la cresta del vertedor (Pardo, 2001).

Al consultar la literatura relacionada con el tema, resulta interesante el planteamiento acerca de la estrecha relación que existe entre la capacidad de descarga del cimacio y las presiones de vacío que tienen lugar en este, de manera tal que en la medida en que aumentan estas últimas, se produce también un incremento en la capacidad de descarga del cimacio vertedor. Precisamente en este aspecto, radica la ventaja

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

principal de este tipo de perfil sobre los ya conocidos y ampliamente difundidos perfiles prácticos sin vacío.

No obstante, al proyectar un perfil práctico con vacío deberá tenerse en cuenta la posibilidad de ocurrencia de dos fenómenos que atentan contra la integridad del cimacio vertedor: *la cavitación y la ruptura del vacío*.

Criterios para el diseño.

El diseño hidráulico de un PPcV debe resolver las interrogantes siguientes:

- Altura
- Longitud
- Forma de la sección transversal

Altura del paramento P. Tiene total validez para estos cimacios lo expresado para los vertedores WES.

Longitud del cimacio. Se obtiene a partir de la expresión fundamental de los aliviaderos.

$$Q = mL\sqrt{2g} H^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 2.24}$$

*Procedimiento para obtener el radio ficticio:*

Calcular el coeficiente de vacío  $\sigma_0$  según:

$$\sigma_0 = \frac{h_{vac.max.}}{H_0} \dots \dots \dots \text{Ecuación 2.25}$$

Entrar a la tabla 6.1 que se encuentra en el libro “Diseño Hidráulico de Aliviaderos y Obras de Tomas para Presas” del profesor Rafael P. Gómez por la columna correspondiente a la relación  $a/b$  seleccionada (se recomienda  $a/b = 2$ ) hasta encontrar el valor de  $\sigma_0$  obtenido en el paso anterior o uno inmediatamente inferior a él. Debe recordarse la consideración planteada en cuanto a que la relación  $H_0/R\phi$  no debe superar el valor 3,6; de manera que si el valor  $\sigma_0$  obtenido es mayor que todos los valores de la tabla, esta no debe extrapolarse, sino, seleccionar  $H_0/R\phi = 3,6$ .

*Coefficiente de gasto:*

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Los factores que afectan el valor del coeficiente de gasto de los cimacios elípticos con vacío son:

- La carga hidráulica total H.
- La velocidad del flujo en el canal de aproximación, condicionada, entre otros factores, por la altura del paramento superior P.
- La inclinación del paramento superior del cimacio.
- La relación de semiejes a/b de la elipse que configura la cresta.
- El radio ficticio  $R\phi$ .

Matemáticamente se expresa:

$$m = m_0 * \sigma_2 * \sigma_3 * \sigma_4 \dots \dots \dots \text{Ecuación 2.26}$$

Donde  $m_0$  es el coeficiente de gasto nominal, correspondiente a un cimacio con paramento superior vertical y libre aguas abajo, es decir, sin contrapresión ni ahogo. Y los coeficientes  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  y  $\sigma_4$  toman en cuenta las afectaciones por inclinación del paramento superior, por contrapresión de la solera y por ahogo, respectivamente.

El coeficiente  $m_0$  se obtiene mediante la tabla 6.2 o la figura 6.4 que se encuentran en el libro “Diseño Hidráulico de Aliviaderos y Obras de Tomas para Presas”

Las correcciones al coeficiente de gasto nominal para cimacios elípticos con  $a/b=2$  se obtienen de la siguiente manera:

- Con los valores de las relaciones  $HO/R\phi$ ;  $P/HO$  y la inclinación del paramento superior P, se obtiene el valor de  $\sigma_2$  como se explica en la tabla 6.3 del libro “Diseño Hidráulico de Aliviaderos y Obras de Tomas para Presas”
- Los coeficientes  $\sigma_3$  y  $\sigma_4$  se obtiene a partir de la tabla 6.4 y 6.5 del libro antes mencionado.

Cálculo de las longitudes vertedoras L y Lt total:

$$L = \frac{Q}{M \sqrt{2g H_0^{3/2}}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 2.27}$$

$$L_t = L + nt + 2 (nK_p + K_s) H_0 \dots \dots \dots \text{Ecuación 2.28}$$

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

### Forma de la sección transversal:

La forma de la sección transversal de un cimacio elíptico con vacío, de relación de semiejes  $a/b = 2$  se logra mediante la tabla 6.6 y la figura 6.7 del libro “Diseño Hidráulico de Aliviaderos y Obras de Tomas para Presas”.

*Curva de capacidad de servicio:* Se recomienda realizar los cálculos con el apoyo de una tabla como la que se muestra a continuación.

**Tabla 2. 1.** Cálculo de la curva de capacidad de servicio

H <sub>0</sub>	P/H <sub>e</sub>	H <sub>e</sub> /R <sub>φ</sub>	m <sub>0</sub>	σ <sub>2</sub>	σ <sub>3</sub>	σ <sub>4</sub>	m	L	Q

*Dimensionamiento de los estribos:* Debido a que los estribos pueden introducir contracciones del flujo, y por tanto, propiciar la penetración de aire bajo la lámina vertiente, y con ello el rompimiento del vacío, es aconsejable alargarlos aguas arriba. La longitud de los estribos, medida a partir del paramento superior del cimacio, no debe ser inferior a  $4,41 R_{\phi}$  y deben tener un radio de redondeo  $=1,5R_{\phi}$ ; es decir:

$$A_{est} \geq 4,41R_{\phi} \dots \dots \dots \text{Ecuación 2.29}$$

$$R_{est} = 1,5R_{\phi} \dots \dots \dots \text{Ecuación 2.30}$$

### 2.3 Conclusiones parciales

En el presente capítulo se hace una caracterización del embalse, donde está ubicado el aliviadero objeto de estudio, y una descripción detallada de los métodos que se utilizan para el cálculo de la sección vertedora. El embalse caracterizado por su altura, tipo de cimentación, volumen de almacenamiento y otros parámetros se clasifica según la NC 974 del 2013 como categoría III. El tránsito de avenida para el que se diseño es de 1% de probabilidad y cuenta con una regulación hiperanual.

Los métodos de cálculo presentados tienen una estrecha relación entre ellos, ambos parten de la expresión fundamental de los aliviaderos, que determina los criterios de diseño de cada método.

### **CAPÍTULO 3. CÁLCULO DE LAS DE LAS VARIANTES PARA EL DISEÑO DEL ALIVIADERO DEL EMBALSE JOTURO.**

#### **3.1. Cálculo de las variantes de aliviadero**

Para el diseño del aliviadero del embalse Joturo se analizaron tres variantes. La primera de ellas está relacionada con el diseño del aliviadero en forma de abanico o mexicano, teniendo en cuenta que fue el diseño original de la obra y que las características topográficas e hidráulicas fueron las que mejores se ajustaron a este tipo de diseño. Las otras dos variantes corresponden a un vertedor frontal convencional, es un tipo de diseño común en varios aliviaderos por su facilidad constructiva y otras ventajas en el propio diseño, esta variante desde el punto de vista estructural, está concebida de la misma forma (canal de acceso, sección vertedora, transición, rápida y dissipador de energía), pero se diferencian en su sección de control, en un caso es un perfil práctico sin vacío tipo WES y en el otro un perfil práctico con vacío.

##### **3.1.1. Parámetros utilizados en el diseño del aliviadero de abanico o mexicano.**

Para su diseño se mantuvieron los parámetros originales del embalse, Gasto ( $Q_0$ ), Nivel de Aguas Normales (NAN), Nivel de Aguas Máximas (NAM) y Carga de Diseño ( $H_0$ ). Se calculan partes del aliviadero con ayuda del software profesional ALIV, introduciendo todos los datos preconcebido al programa.

##### Canal de acceso

Longitud= 100.0m

Taludes verticales= 1:1

Velocidad de circulación= 0.9m/s

Coefficiente por la colocación de estribos ( $K_e$ )= 0,1

Rugosidad de Manning= 0.025

##### Cimacio

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup>/

Carga de diseño ( $H_0$ )=1.42m

Altura del paramento aguas arriba= 1m

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Nota: se acordó para reducir la longitud vertedora y así garantizar un aumento de la eficiencia del vertedor utilizar  $P_1 = 1.0$  m, para responder a la cota de vertimiento necesaria. Cabe mencionar además que la transición, en este tipo de aliviadero se diseña en conjunto con la sección vertedora, lo cual es una ventaja ante otro tipo de aliviadero.

### Rápida

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s

Pendiente de la rápida ( $S_0$ )= 0.1

Longitud= 100m

Rugosidad= 0.017

Talud= 1:1

Velocidad máxima admisible= 15m/s

Longitud del frente vertedor (B)= 93.5m

Ancho de la rápida (b)= 21.30m

Tirante al inicio de la rápida= 2.56m

### Trampolín

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s

Tirante a la entrada del trampolín=1.052m

Ancho del trampolín= 21.30m

Altura de la caída del chorro= 2.0m

Tirante del agua en el canal de salida= 2.0m

Cohesión del material aguas abajo del trampolín= 3.8t/m<sup>2</sup>

Peso específico de las partículas del suelo= 1.5t/m<sup>3</sup>

### **3.1.2. Parámetros utilizados en el diseño del Perfil Práctico sin Vacío**

El cálculo de esta variante se realizó con auxilio del software profesional ALIV, introduciendo todos los datos preconcebido al programa, manteniendo los parámetros en el embalse ( $Q_0$ , NAN, NAM y  $H_0$ ).

Los parámetros introducidos al software para el diseño de cada parte del aliviadero son los siguientes:

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

## Canal de acceso

Longitud= 100.0m

Taludes verticales= 1:1

Velocidad de circulación del agua= 0.9m/s

Coeficiente por la colocación de estribos ( $K_e$ )= 0,1

Rugosidad de Manning= 0.025

## Sección vertedora

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s

Nivel de aguas normales= 139.84m

Nivel de aguas máximas= 141.26m

Paramento aguas arriba ( $P_1$ )= 1.0m

Paramento aguas abajo ( $P_2$ )= 1.6m

## Característica de la transición

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s

Carga de diseño ( $H_0$ )=1.42m

Paramento aguas arriba ( $P_1$ )= 1.0m

Paramento aguas abajo ( $P_2$ )= 1.6m

Ancho inicial ( $B$ )= 93.5m

Ancho final ( $b$ )= 66.5m

Longitud = 70.0m

Pendiente de la rápida= 6.0%

Pendiente subcrítica del fondo de la transición= 0.0%

Rugosidad de la transición= 0.017

## Transición

Ancho inicial ( $B$ )= 93.5m

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s

Ancho final ( $b$ )= 66.5m

Tirante en la entrada de la transición= 0.527m

No se prefija la relación  $Y_3 / Y_1$

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

### Rápida

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s

Pendiente= 6.0%

Longitud= 100m

Rugosidad= 0.014

Talud= 1:1

Velocidad máxima permisible= 15m/s

Longitud del frente vertedor= 93.5m

Prefijar el ancho de la rápida = 66.5m

### Trampolín

Gasto de diseño ( $Q_0$ ) = 325.35m<sup>3</sup>/s

Tirante a la entrada= 0.501m

Ancho del canal a la entrada del trampolín= 66.5m

Altura de la caída del chorro= 2.0m

Tirante del agua en el canal de salida= 2.0m

Cohesión del material aguas abajo del trampolín= 3.8t/m<sup>2</sup>

Peso específico de las partículas del suelo= 1.5t/m<sup>3</sup>

Peso específico del agua aireada= 0.5t/m<sup>3</sup>

### **3.1.3. Parámetros utilizados en el diseño del Perfil Práctico con Vacío**

El cálculo de esta variante se realizó también con auxilio de la Hoja de Cálculo Excel, manteniendo además los parámetros en el embalse ( $Q_0$ ,  $H_0$ ,  $NAN$  y  $NAM$ ).

### Canal de aproximación

Longitud= 100.0m

Taludes verticales= 1:1

Velocidad de circulación del agua= 0.9m/s

Coeficiente por la colocación de estribos ( $K_e$ )= 0,1

Rugosidad de Manning= 0.025

### Sección vertedora

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Nivel de aguas normales= 139.84m

Nivel de aguas máximas= 141.26m

Paramento aguas arriba ( $P_1$ )= 1.0m

Paramento aguas abajo ( $P_2$ )= 2.6 m

Se asumió un valor de presión de vacío máxima = 5m

### Característica de la transición

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35 m<sup>3</sup>/s

Carga de diseño ( $H_0$ )=1.42m

Paramento aguas arriba ( $P_1$ )= 1.0m

Paramento aguas abajo ( $P_2$ )= 2.6m

Ancho inicial ( $B$ )= 78.4m

Ancho final ( $b$ )= 55.0m

Longitud = 80m

Pendiente de la rápida= 6%

Pendiente subcrítica del fondo de la transición= 0%

Rugosidad de la transición= 0.017

### Transición

Ancho inicial ( $B$ )= 78.4m

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s

Ancho final ( $b$ )= 55.0m

Tirante en la entrada de la transición= 0.52m

Se prefija la relación  $Y_3 / Y_1 = 2$

### Rápida

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s

Pendiente= 6%

Longitud= 100m

Rugosidad= 0.014

Talud= 1:1

Velocidad máxima permisible= 15m/s

Longitud del frente vertedor= 78.4m

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Prefijar el ancho de la rápida = 55m

Tirante al inicio de la rápida= 1.04m

### 3.1.3.6 Trampolín

Gasto de diseño ( $Q_0$ )= 325.35m<sup>3</sup>/s

Tirante a la entrada= 0.573m

Ancho del canal a la entrada del trampolín= 55m

Altura de la caída del chorro= 2.0m

Tirante del agua en el canal de salida= 2.0m

Cohesión del material aguas abajo del trampolín= 3.8t/m<sup>2</sup>

Peso específico de las partículas del suelo= 1.9t/m<sup>3</sup>

Peso específico del agua aireada= 0.5t/m<sup>3</sup>

Nota: Todos estos resultados están avalados por una hoja cálculo programada en el paquete Office, Microsoft Excel para el diseño del canal de aproximación y la sección vertedora

## 3.2. Resultado del cálculo de las variantes de diseño

### 3.2.1 Aliviadero de Abanico o mexicano

#### Canal de aproximación

Longitud del canal de acceso ( $L_{CA}$ )= 100m

Ancho transversal del canal de acceso ( $B_{CA}$ )= 93.5m

Radio de redondeo hacia el cimacio ( $r_0$ )= 1.24m

Longitud transversal de acuerdo ( $l_0$ )= 0.71m

#### Sección Vertedora

Altura del cimacio aguas abajo ( $P_1$ ) = 2.11m

Longitud del vertedor por la cresta = 92.60m

Longitud del vertedor por el param. aguas arriba =93.5m

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

## Sección de Control no Vertedora

Ancho ( $L_k$ )= 51.0m (ancho inicial de la transición (B))

Long. Transversal de la sección vertedora ( $l_1$ )= 33.70m

## Transición

Longitud ( $L_2$ )=30m      Ancho (b)= 21.30m      Pendiente ( $S_0$ )= 6%

**Tabla 3.2** Tirantes del agua en la transición

X (m)	Y (m)
0	2.43
15	2.94
30	2.56

## Rápida

Ancho de la rápida= 21.30m

Longitud de la rápida= 100.0m

El tirante normal de circulación no se alcanzó en la rápida.

El tirante (sin airear) al final de la rápida es de 1.052m.

La velocidad al inicio de aireación es de 5.653m/s.

La velocidad de circulación no alcanzo la velocidad máxima admisible. Por tanto, no es necesario el uso de rugosidad.

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

**Tabla 3.3** Altura de los muros en la rápida

Sección	Tirante Y (m)	Longitud X (m)	Alt. Muro(m)
1	2.56	0	3.799
7	2.03	14.77	2.95
13	1.16	115.34	1.991

## Trampolín

Longitud del trampolín plano= 2.05 m

Ancho del trampolín = 21.33 m

Número de dientes deflectores= 11 dientes

Altura de los dientes deflectores= 0.45 m

Longitud de los dientes deflectores= 0.9 m

Angulo de caída del chorro ( $\beta$ )= 30.28°

Prof. del cono de socavación por Mirtjulsava= 18.8 m

Longitud de vuelo del chorro ( $L_v$ )= 46.86 m

Longitud de vuelo por el cono ( $L_{vc}$ )= 14.65 m

*Nota:* Los resultados del diseño fueron validados por el software profesional ALIV.

Ver anexo # 1

## **3.2.2. Perfil Práctico sin Vacío**

### Canal de aproximación

Longitud del canal de acceso ( $L_{CA}$ )= 100.0m

Ancho del canal de acceso (B)= 150.8m

Perdidas de carga en el canal de acceso ( $h_{fca}$ )=0.021m

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

## Cimacio

Datos para la obtención del perfil del cimacio

$R1 = 0.7201\text{m}$ ;  $R2 = 0.3054\text{m}$ ;  $Xc = 0,3760\text{m}$ ;  $Yc = 0,1594\text{m}$ ;  $n = 1,8569$ ;  $K = 0,5073$

Carga de diseño= 1.399m

Coeficiente de eficiencia del vertedor (m)= 0.477

Longitud de la sección vertedora (B)= 93.5m

## Transición

Régimen de circulación: Supercrítico

Ancho (B)= 93.5 m Ancho (b)= 66.5 m Longitud ( $L_t$ )= 95.1m

Valor del ángulo cita ( $\Phi$ )=  $8^\circ$

Valor del Angulo  $B_1=27.65^\circ$

Valor del Angulo  $B_2= 33.14^\circ$

**Tabla 3.5** Tirantes del agua en la transición

X (m)	Y (m)	Froude
93.5	0.53	0.53
68.42	2.23	0.77
66.5	1.56	1.00

## Rápida

Ancho de la rápida= 61.29m

Longitud de la rápida= 100m

El tirante normal de circulación no se alcanzó en la rápida.

Tirante al inicio de la rápida= 0.527m.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

Tirante (sin airear) al final de la rápida= 0.501m.

Velocidad al final de la rápida= 3.774m/s.

La velocidad de circulación no alcanzo la velocidad máxima admisible. Por tanto no es necesario el uso de rugosidad.

**Tabla 3.6** Altura de los muros en la rápida

Sección	Tirante Y (m)	Longitud X (m)	Alt. Muro (m)
1	1	0	1.775
8	0.81	17.53	1.505
14	0.53	204.49	1.092

### Trampolín

Longitud del trampolín plano= 2.05m

Ancho del trampolín = 66.5m

Número de dientes deflectores= 67 dientes

Altura de los dientes deflectores= 0.25m

Longitud de los dientes deflectores= 0.5m

Angulo de caída del chorro ( $\beta$ )= 37.31°

### Según Martiuslava:

Profundidad del cono de socavación ( $t_0$ )= 8.03m

Longitud de vuelo del chorro ( $L_v$ )= 8.14m

Longitud de vuelo por el cono ( $L_{vc}$ )= 18.68m

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

*Nota:* Los resultados del diseño fueron validados por el software profesional ALIV.  
Ver anexo # 2

### 3.2.3. Perfil Práctico con Vacío

#### Canal de aproximación

Longitud del canal de acceso ( $L_{CA}$ )= 100m

Ancho del canal de acceso (B)= 151.98m

Perdidas de carga en el canal de acceso ( $h_{fca}$ )=0.009m

#### Cimacio

Tiente de agua al pie del cimacio ( $h_c$ )= 0.58m

Radio según el pie del cimacio ( $R_{ac}$ )= 1.91m

Coefficiente de eficiencia del vertedor ( $m$ )= 0.561

Longitud de la sección vertedora (B)= 78.4m

**Tabla 3.8** Cálculo de la curva de capacidad de servicio del aliviadero

He(m)	$m_0$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_4$	$m$	L(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)
0,50	0,529	1	1	1	0,529	78,30	64,87
0,80	0,542	1	1	1	0,542	78,24	134,48
1,00	0,549	1	1	1	0,549	78,20	190,23
1,20	0,554	1	1	1	0,554	78,16	252,03
1,40	0,559	1	1	1	0,559	78,12	320,30
1,50	0,561	1	1	1	0,561	78,10	356,77

#### Transición

Régimen de circulación: Supercrítico

Ancho (B)= 78.4m Ancho (b)= 55m Longitud ( $L_t$ )= 95.8m

Pendiente ( $S_0$ )= 0% Altura de los muros= 1.56m

**Tabla 3.9** Tirantes del agua en la transición

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

X(m)	Y (m)
0	0.52
94.9	0.77
95.8	1.04

### Rápida

Ancho de la rápida= 64.73m

Longitud de la rápida= 100m

El tirante normal de circulación no se alcanzó en la rápida.

Tirante al inicio de la rápida= 1.04m.

Tirante (sin airear) al final de la rápida= 0.573m.

Velocidad al final de la rápida= 3.989m/s.

La velocidad de circulación no alcanzo la velocidad máxima admisible. Por tanto no es necesario el uso de rugosidad.

Tabla 3.6. Altura de los muros en la rápida.

Sección	Tirante Y (m)	Longitud X (m)	Alt. Muro (m)
1	1.36	0	1.86
18	0.51	26.98	1.01
21	0.36	144.27	1.1

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

### Trampolín

Longitud del trampolín plano= 2.3m

Ancho del trampolín = 55m

Número de dientes deflectores= 55 dientes

Altura de los dientes deflectores= 0.25m

Longitud de los dientes deflectores= 0.5m

Angulo de caída del chorro ( $\beta$ )=  $36.26^\circ$

### Según Martjusslava:

Profundidad del cono de socavación ( $t_0$ )= 9.23m

Longitud de vuelo del chorro ( $L_v$ )= 8.23m

Longitud de vuelo por el cono ( $L_{vc}$ )= 21.41m

*Nota:* Los resultados de este diseño del canal de acceso y la sección vertedora, fueron validados por un software profesional (hoja de cálculo programada en el paquete Office, Excel,) y el cálculo de las demás partes del aliviadero se realizó con ayuda del software profesional ALIV. Ver anexos# 3.

### **3.3. Análisis de los resultados**

Los resultados alcanzados a partir de la fundamentación teórica y la metodología aplicada, permitieron dar cumplimiento a las restricciones planteadas en uno de los objetivos específicos de la investigación.

En el diseño se tomaron varias alturas del paramento aguas arriba del cimacio, con el objetivo de obtener una longitud vertedora similar a la existente.

Las dimensiones de un aliviadero deben determinarse en función de los datos del embalse donde se vaya a proyectar este. En la tabla 3.8 se le da total validez a lo antes dicho. Obtenidos los resultados por variantes, se procede hacer un análisis de ellos. Por lo que se observa que, las longitudes o seccion vertedora calculadas en las 3 variantes son grandes; pero como no todas tienen las mismas características solo

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

la primera arroja resultados favorables, mientras que los otros dos métodos maximizan los valores con respecto a sus dimensiones en planta.

Las secciones curvas tienen como principal característica, que en un reducido espacio de una franja del terreno pueden llegar a tener grandes superficies vertedoras, lo que la convierte en una ventaja sobre los otros dos métodos. Un valor del vertedor de 93.5 m en forma de arco, se reduce a una longitud de lineal de 51.0 m. Por otro lado, al tener los perfiles prácticos valores de ancho final de transición relativamente grandes con respecto a la variante de un aliviadero mexicano, se provoca un sobredimensionarían de los elementos que la siguen (rápida elementos disipadores).

En la tabla siguiente se puede observar además que las dos últimas variantes calculadas tienen mayor longitud total que la primera. Los perfiles prácticos en este caso necesitan tener longitudes mayores en 30 m, para poder controlar el flujo de agua que circula por ellos.

**Tabla 3.8.** Métodos y sus resultados

Resultados													
Métodos	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	L <sub>CA</sub>	B <sub>CA</sub>	L <sub>Vert</sub>	L <sub>trans</sub>	b <sub>trans</sub>	AM <sub>trans final</sub>	L <sub>rap</sub>	AM <sub>rap final</sub>	L <sub>tramp</sub>	No. Dient	L <sub>total Aliv.</sub>
<b>Abanico</b>	1.0	2.11	100.0	93.5	93.5	30.0	21.30	3.8	100.0	1.99	4.25	11	268.0
<b>PPsV</b>	1.0	1.60	100.0	150.8	93.5	96.1	66.50	1.5	100.0	1.00	2.05	67	298.0
<b>PPcV</b>	1.0	2.60	100.0	152.0	78.4	95.8	64.70	1.54	100.0	1.25	2.30	55	298.1

Nota: Todos los resultados mostrados en la tabla para cada método, se expresan en metros (m).

### 3.4. Conclusiones parciales

1. En este capítulo se dan a conocer las variantes utilizadas para el diseño del aliviadero objeto de estudio. Así como los parámetros que fueron usados en los cálculos en las diferentes partes componentes, para cada variante. Además, se mantuvieron los niveles característicos del embalse y el gasto de diseño del aliviadero anterior ( $Q_0$ ,  $NAN$ ,  $NAM$  y  $H_0$ ) en cada una de ellas.

2. Después de analizados los resultados, se toma como variante definitiva la del aliviadero con sección vertedora en forma de abanico. El mismo se adapta de forma favorable a las características geográficas del emplazamiento de la obra y mantiene cierta similitud con el diseño anterior. A su vez, cumple con las restricciones planteadas en el último objetivo específico de esta investigación.

## **CONCLUSIONES**

1. Se hace una descripción detallada del embalse Joturo, donde está ubicado el aliviadero objeto de estudio, así como los métodos que se utilizan para el diseño de este con la ayuda de la revisión bibliográfica consultada. Se logró realizar una búsqueda bibliográfica detallada sobre el diseño de aliviaderos en el mundo y en nuestro país que permitió tener una idea bien detallada de esta actividad.
2. Se diseñó el aliviadero objeto de estudio por tres variantes concebidas (aliviadero de abanico o mexicano, perfil práctico con vacío y perfil practico sin vacío), con ayuda del software profesional ALIV y la hoja de cálculo programada en el paquete Office, Excel.
3. Después de hacer un análisis de los diseños, se escoge la variante de un aliviadero con sección vertedora en forma de abanico, por ser la más adecuada técnicamente a la topografía del terreno, mantener cierta similitud con el diseño anterior y cumple con las restricciones planteadas en el último objetivo específico de esta investigación.

### **RECOMENDACIONES**

1. Entregar este documento a los directivos del INRH y las empresas afines en la provincia encargados de diseñar el aliviadero del embalse Joturo.
2. Continuar una segunda parte de esta investigación, con un análisis estructural y económico a las variantes calculadas para la reconstrucción de aliviadero.
3. Rehabilitar lo más rápido posible el aliviadero del embalse Joturo para aumentar la eficiencia del embalse y eliminar los aspectos negativos que acarrea un aliviadero defectuoso o en mal estado técnico en un embalse.
4. Construir una solera en el canal de acceso para evitar que el mismo se erosione.

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Armas, R. N. and E. M. Horta (1987). "Presas de tierra." Editorial ISPJAE. CUJAE, Marianao, Ciudad de la Habana
2. Bustamante, I. D. *et al*, (2004). *Trabajo Especial de Grado Presentado Ante la Universidad Católica Andrés Bello como Parte de los Requiridos Para Optar Por el Título de Ingeniero Civil. "Análisis de los Vertederos Tipo Laverinto en Aliviaderos como Alternativas, para Incrementar las Capacidades útiles en Embalses"*. Caracas, Venezuela.
3. Conza, R. V. (2019). [https:// usaac, academia, edu/ ramirovega conza](https://usaac.academia.edu/RamirovegaConza). *Desagües- aliviaderos*.
4. Erazo, W. R. (julio de 2018). *Aliviaderos*. [https://www.researchgate. net/ pubication/ 326561046](https://www.researchgate.net/publication/326561046).
5. Espinosa, M. E, *et al*, (2010). *Ingeniería de Presas de Escollera*.
6. García, F. G. (2017). <https://edoc.site/tipos-de-aliviaderos-pdf-free.html>.
7. Guerrero, T. J. (2014). *Tesis previa a la obtención. "Metodología Para la Determinación de la Capacidad de Descarga del Vertedero de Exesos en Presas de Tierra"*. Cuenca- Ecuador.
8. <https://www.academia.edu/16754670/141596881-Aliviaderos-en-Presas-de-Embalse>.
9. Londoño Palacio, O. Lucía. Maldonado Granados, L. Facundo. Calderón Villafañez, L. Catalina "Guía para Construir Estados del Arte", Bogotá, 2014.
10. NC 974-2013. Presas, diques de protección, canales y obras asociadas. Categoría para nuevos proyectos o para el rediseño de estructuras existentes en escenario climático cambiante., Habana: Oficina Nacional de Normalización, Habana: s.n., 2013.
11. Norma Ramal. Tramos de Aproximación. Habana: Habana, 2006.
12. Pardo, Rafael. "Diseño Hidráulico de Aliviaderos y Obras de toma para Presas", La Habana, 2001.
13. Sepúlveda, F. E. (2013). Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero hidráulico "Estudio de la influencia de aproximaciones hidrodinámicas a los

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

---

ápices de aliviaderos en laberinto, en su coeficiente de descarga” . Valdivia, Chile.

14. Te Chow. V. *Open Channel Hydraulics* (1959); (Hidráulica de los Canales Abiertos). Editorial Diana, México, 1983. ISBN 968-13-1327-5.
15. Velazco, Ing. Eduardo. *“Diseño hidráulico de aliviadero”*. Sección vertedora, capítulo III. Habana: Habana, 2016.
16. Velazco, Ing. Eduardo. *Diseño Hidráulico de aliviadero*, Transición. La Habana, 2016.
17. Velazco, Ing. Eduardo. *Norma Ramal, Aireación en Rápidas*. Habana: Habana, 2006.
18. Wikipedia, 2006. [http://es.wikipedia.org/wiki/Presa\\_%28hidr%C3%A1ulica%29](http://es.wikipedia.org/wiki/Presa_%28hidr%C3%A1ulica%29)  
Día de consulta: 14 marzo 2019.

## ANEXOS

### Anexo 1. Diseño de la variante de un aliviadero de abanico o mexicano.

**ABANICO**

Coordenadas del cimacio

X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
0.00	0.00	3.89	4.40
0.97	0.40	4.09	4.80
1.45	0.80	4.28	5.20
1.84	1.20	4.47	5.60
2.17	1.60	4.65	6.00
2.47	2.00		
2.74	2.40		
3.00	2.80		
3.24	3.20		
3.46	3.60		
3.68	4.00		

$X_m = 0.321$  m  
 $Y_m = 0.109$  m  
 $r_1 = 0.737$  m  
 $r_2 = 0.210$  m

**ABANICO**

Entrada de datos

Gasto de diseño (m <sup>3</sup> /s)	325.35
Carga de diseño (m)	1.42
Alt. paramento aguas arriba (m)	1

$U_{max}$  permisible en el canal de acceso(m/s)= 0.9\_

## ABANICO

### RESULTADOS DEL ALIVIADERO EN PLANTA

#### Radios de curvatura y angulos en planta del cimacio

R1= 20.69 m                      alfa1=80 grados  
R2= 54.47 m                      alfa2=34 grados

#### Arcos de abanico

r1= 20.26 m                      alfa3=30 grados  
r2= 38.39 m                      alfa4=42.5 grados

#### Seccion de control no vertedora

lk= 51.05 m                      l1= 33.77 m

#### Transicion

l2= 30.00 m    b= 21.33 m    So=6 ‰

## ABANICO

### CIMACIO

Altura del Cimacio aguas abajo (P1)= 2.11  
Longitud del vertedor por la cresta= 92.67  
Longitud por el param. aguas arriba= 93.50

### CANAL DE ACCESO

Ancho transv. del canal de acceso = 93.50  
Radio de redondeo hacia cimacio(ro)= 1.24  
Longitud transversal de acuerdo(lo)= 0.71

Su canal de acceso se erosiona

### ABANICO

#### Tirantes en la transicion

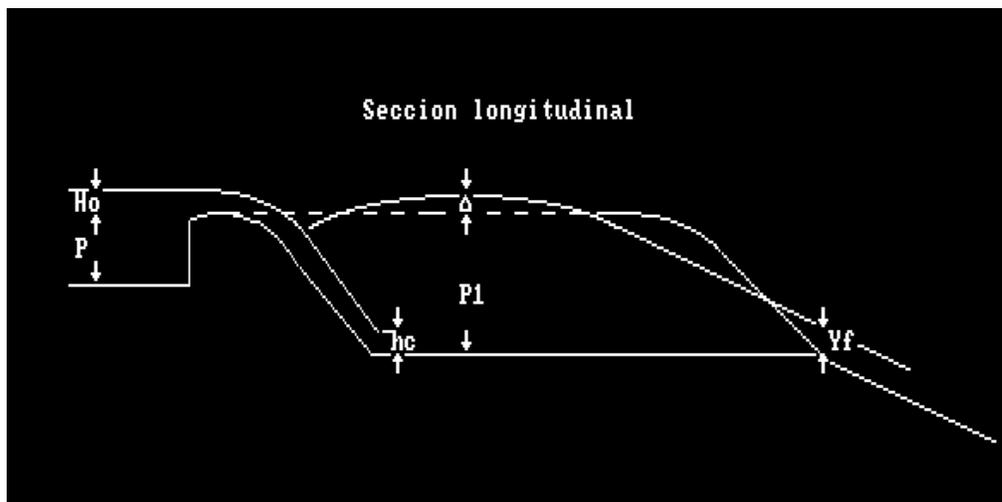
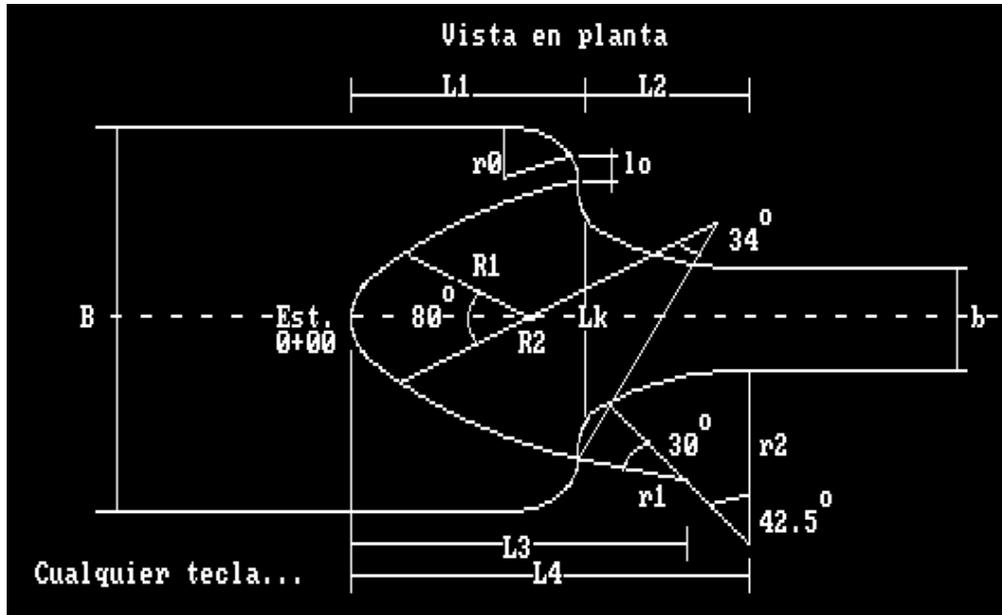
X(m)	Y(m)
0.00	2.43
3.00	2.69
6.00	2.83
9.00	2.84
12.00	2.95
15.00	2.94
18.00	2.89
21.00	2.84
24.00	2.75
27.00	2.66
30.00	2.56

### ABANICO

#### Curva de capacidad de servicio

He/Ho	He (m)	m	Lef (m)	Q(m <sup>3</sup> /s)
0.10	0.14	0.385	92.61	8.44
0.20	0.28	0.398	92.56	24.71
0.30	0.43	0.411	92.50	46.78
0.40	0.57	0.422	92.44	73.93
0.50	0.71	0.432	92.39	105.69
0.60	0.85	0.441	92.33	141.72
0.70	0.99	0.449	92.27	181.73
0.80	1.14	0.456	92.21	225.51
0.90	1.28	0.463	92.16	272.84
1.00	1.42	0.468	92.67	325.35
1.10	1.56	0.475	92.04	377.68
1.20	1.70	0.480	91.99	435.04

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo



## RÁPIDA

### Opciones

- 1- (P)refijar el ancho de la rápida.
- 2- (O)btenerlo en función de los requerimientos de gasto específico para el canal de salida.

Escoja uno de ellos ( O / P )

Ancho de la rápida (en metros)= 21.33

## RÁPIDA

### Entrada de datos

Diga el gasto de diseño (m <sup>3</sup> /s)	325.35
Diga la pendiente de la rápida (tanto por uno)	0.1
Longitud de la rápida (metros)	100
Rugosidad de la rápida (n de Manning)	0.017
Talud de la rápida	1
Velocidad máxima admisible (m / s)	15
Longitud del frente vertedor (metros)	93.5

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

**RÁPIDA**

**$Y_c$  2.747 m**

**Tirante al inicio de la rápida (m) = 2.56**

**RÁPIDA**

La velocidad de circulación no ha sobrepasado la máxima admisible.  
Por tanto no es necesario el uso de rugosidades

**RÁPIDA**

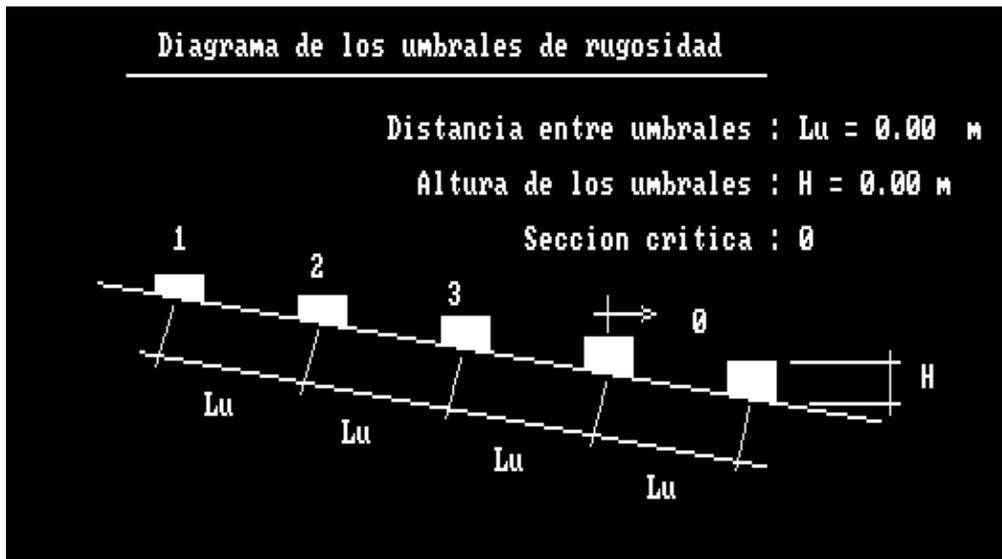
Curva superficial natural en la rápida

Seccion	Y(m)	A(m <sup>2</sup> )	U(m/s)	R(m)	S	Sprom.	E	Dtx	X(m)
1	2.560	61.16	5.32	2.14	0.003	0.000	4.00	0.0	0.00
2	2.432	57.78	5.63	2.05	0.004	0.003	4.05	0.5	0.47
3	2.303	54.43	5.98	1.95	0.004	0.004	4.12	0.8	1.26
4	2.175	51.12	6.36	1.86	0.005	0.005	4.24	1.2	2.47
5	2.046	47.84	6.80	1.76	0.006	0.006	4.40	1.7	4.22
6	1.918	44.59	7.30	1.67	0.008	0.007	4.63	2.4	6.66
7	1.790	41.38	7.86	1.57	0.010	0.009	4.94	3.4	10.06
8	1.661	38.20	8.52	1.47	0.013	0.011	5.36	4.7	14.77
9	1.533	35.05	9.28	1.37	0.016	0.015	5.93	6.6	21.39
10	1.405	31.93	10.19	1.26	0.022	0.019	6.70	9.5	30.92
11	1.276	28.85	11.28	1.16	0.030	0.026	7.76	14.4	45.31
12	1.148	25.80	12.61	1.05	0.043	0.037	9.25	23.6	68.91
13	1.019	22.78	14.28	0.94	0.064	0.053	11.41	46.4	115.34

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

<b>RAPIDA</b>						
<b>Curva superficial aireada sin umbrales de rugosidad</b>						
Sección	Ya (m)	U (m/s)	Ua (m/s)	X (m)	BL (m)	Alt. muro (m)
1	2.56	5.32	5.32	0.00	1.24	3.799
2	2.43	5.63	5.63	0.47	1.21	3.640
3	2.30	5.98	5.98	1.26	1.18	3.479
4	2.47	6.36	5.54	2.47	1.22	3.686
5	2.32	6.80	5.92	4.22	1.18	3.504
6	2.18	7.30	6.36	6.66	1.14	3.320
7	2.03	7.86	6.85	10.06	1.10	3.136
8	1.89	8.52	7.43	14.77	1.06	2.950
9	1.74	9.28	8.10	21.39	1.02	2.762
10	1.59	10.19	8.90	30.92	0.98	2.573
11	1.45	11.28	9.86	45.31	0.93	2.381
12	1.30	12.61	11.03	68.91	0.88	2.187
13	1.16	14.28	12.50	115.34	0.83	1.991

<b>RAPIDA</b>	
<b>Resultados Finales</b>	
1)- El régimen normal de circulación no se alcanzó en la rápida.	
1b)- El tirante (sin airear) al final de la rápida es <b>1.052 mts .</b>	
2)- La velocidad de inicio de aireación es <b>5.653 m/s .</b>	

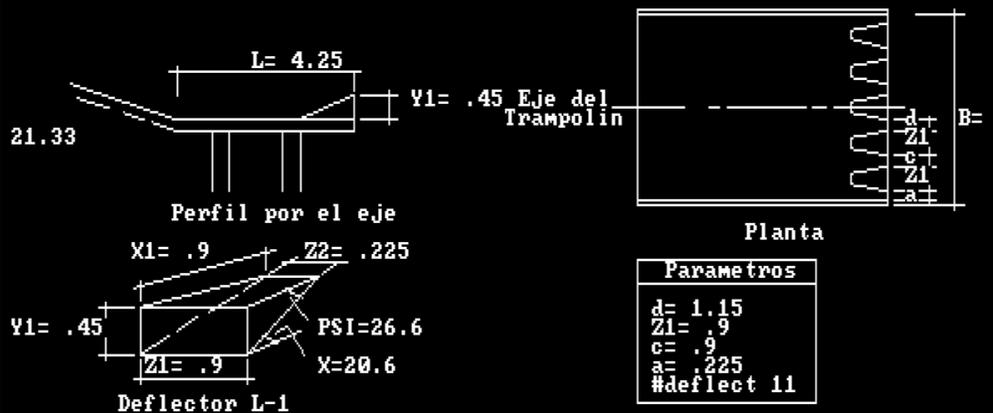


## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

### TRAMPOLIN CIH

Entrada de datos	
Gasto de diseño del trampolín (m <sup>3</sup> /s)	325.35
Tirante a la entrada del trampolín (m)	1.052
Ancho del canal a la entrada del trampolín (m)	21.33
Altura de la caída del chorro (m)	2
Tirante del agua en el canal de salida (m)	2

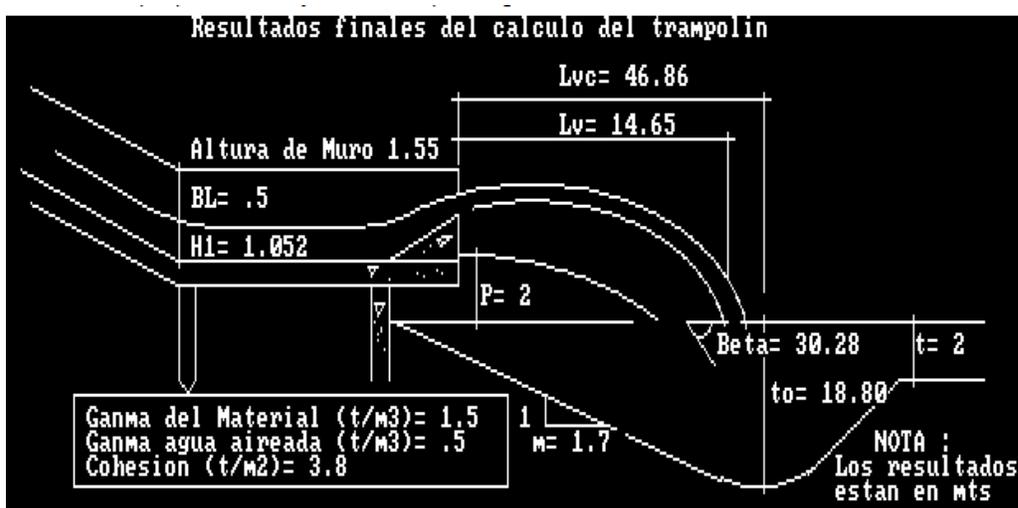
#### Dimensionamiento del trampolín con deflectores L-1



### TRAMPOLIN CIH

Cohesión del material (t/m <sup>2</sup> )	3.8
Peso especif. saturado de la partícula (t/m <sup>3</sup> )	1.5
Peso específico del agua aireada (t/m <sup>3</sup> )	0.5

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo



Anexo 2. Diseño de la variante de aliviadero frontal, PPsV.

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

### CIMACIO

Entrada de datos	
Gasto transformado ( $m^3/s$ )	325.35
Nivel de Aguas Normales (cota)	139.84
Nivel de Aguas Maximas (cota)	141.26
Altura del paramento aguas arriba (m)	1
Altura del paramento aguas abajo (m)	1.6

### CIMACIO

El ancho total del vertedor es de 93.40 m

El ancho final de la transicion debe estar entre 36.89 y 81.26

Datos de la transicion	
Ancho final de la transicion (m)	66.5
Longitud de la transicion (m)	70
Pendiente de la rápida (parte de uno)	0.06
Rugosidad de la transicion	0.017
Talud de la transicion	90_

**CIMACIO**

**Curva capacidad de servicio del vertedor**

He/Ho	He(m)	m	Lef (m)	Qi(m <sup>3</sup> /s)
0.80	1.12	0.466	93.18	227.96
0.83	1.16	0.468	93.17	241.72
0.85	1.19	0.469	93.16	251.07
0.90	1.26	0.472	93.15	275.01
0.93	1.30	0.473	93.14	289.77
0.95	1.33	0.474	93.13	299.78
0.97	1.36	0.475	93.13	309.91
1.00	1.40	0.477	93.12	325.35
1.05	1.47	0.479	93.11	351.72
1.10	1.54	0.481	93.09	378.89
1.15	1.61	0.484	93.08	406.85
1.20	1.68	0.486	93.06	435.61
1.25	1.75	0.488	93.05	465.16
1.30	1.82	0.490	93.04	495.52
1.35	1.89	0.492	93.02	526.70

**CIMACIO**

**Curva capacidad de servicio del vertedor**

He/Ho	He(m)	m	Lef (m)	Qi(m <sup>3</sup> /s)
0.20	0.28	0.419	93.34	25.64
0.25	0.35	0.423	93.33	36.14
0.30	0.42	0.428	93.32	48.10
0.35	0.49	0.433	93.30	61.35
0.40	0.56	0.438	93.29	75.80
0.45	0.63	0.443	93.27	91.36
0.50	0.70	0.447	93.26	107.98
0.55	0.77	0.451	93.25	125.62
0.60	0.84	0.454	93.23	144.25
0.65	0.91	0.457	93.22	163.82
0.67	0.94	0.459	93.21	171.90
0.70	0.98	0.461	93.20	184.31
0.72	1.01	0.462	93.20	192.76
0.75	1.05	0.464	93.19	205.70
0.77	1.08	0.465	93.19	214.50

**CIMACIO**

**Resultados del canal de acceso**

Ancho del canal de acceso .....	150.799	m
Perdidas de carga en canal de acceso .....	0.021	m
Velocidad en el canal de acceso .....	0.901	m/s
Talud del canal de acceso .....	1.000	
Rugosidad del canal de acceso.....	0.025	

## CIMACIO

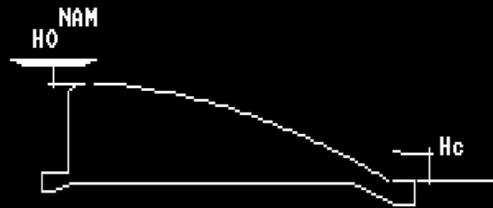
### Resultados del cimacio

Carga de diseño .....	1.399	m
Coficiente de gasto .....	0.477	
Longitud efectiva de cimacio .....	93.121	m
Longitud total del vertedor .....	93.500	m
Alt. paramento aguas arriba .....	1.00	m
Alt. paramento aguas abajo .....	1.60	m
Tirante al pie del cimacio .....	0.527	m
Gasto Supercritico final .....	526.992	m <sup>3</sup> /s
Gasto Subcritico inicial .....	700.932	m <sup>3</sup> /s

No existe ahogo sobre el vertedor



Seccion del canal de aproximacion



Perfil del cimacio

R = 2.293    B = 150.799  
 P = 157.467    AM = 361.099  
 hf = 0.021    Z = 1.000  
 Y = 2.358

HC = 0.527  
 H = 1.399  
 HO = 1.399  
 mo = 0.477

Para continuar oprima una tecla...

## CIMACIO

### Simbología utilizada

R:radio hidraulico del canal (m)  
 P:perimetro mojado del canal (m)  
 hf:perdidas de carga en el canal de aproximacion (m)  
 Y:tirante de circulacion (m)  
 B:ancho de plato (m)  
 A:area mojada de la seccion (m)  
 Z:cotangente del talud  
 Hc:tirante contraido en la seccion al pie del cimacio (m)  
 H0:carga total sobre el cimacio(no incluye hv)(m)  
 H:carga estatica sobre el cimacio (m)  
 mo:coeficiente de gasto adimensional del vertedor



## CIMACIO

### Resultados del calculo del perfil vertedor

Coord X	Coord Y	Coord X	Coord Y	Otros parametros
0.264	0.032	1.816	1.152	$X_c = 0.3760$ $Y_c = 0.1594$ $R_1 = 0.7201$ $R_2 = 0.3054$ $K = 0.5073$ $N = 1.8569$
0.383	0.064	1.843	1.184	
0.476	0.096	1.870	1.216	
0.556	0.128	1.896	1.248	
0.627	0.160	1.922	1.280	
0.692	0.192	1.948	1.312	
0.752	0.224	1.973	1.344	
0.808	0.256	1.998	1.376	
0.861	0.288	2.023	1.408	
0.911	0.320	2.048	1.440	
0.959	0.352	2.072	1.472	
1.005	0.384	2.096	1.504	
1.049	0.416	2.120	1.536	
1.092	0.448	2.144	1.568	
1.133	0.480	2.158	1.587	

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

### REGIMEN EN TRANSICIONES

Bloque de entrada de datos	
Gasto de diseño de la obra (en m <sup>3</sup> /s)	325.35
Carga total de diseño sobre el vertedor (en m)	1.42
Altura del paramento aguas arriba del vertedor (en m)	1
Altura del paramento aguas abajo del vertedor (en m)	1.6
Se prevé construir pilas sobre el vertedor...(S/N)	

### REGIMEN EN TRANSICIONES

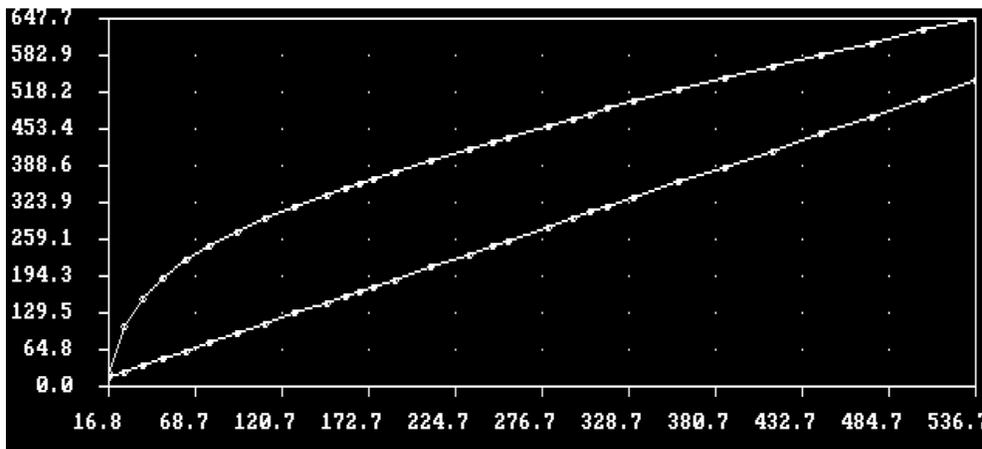
Bloque de entrada de datos ...(Cont)	
Ancho inicial de la transición (en m)	93.5
Ancho final de la transición (en m)	66.5
Longitud de la transición (en m)	70
Pendiente de la rápida (tanto por uno)	0.06
Rugosidad de la transición	0.017
Pendiente Subcrítica del fondo de la transición	0

Sc=0.003

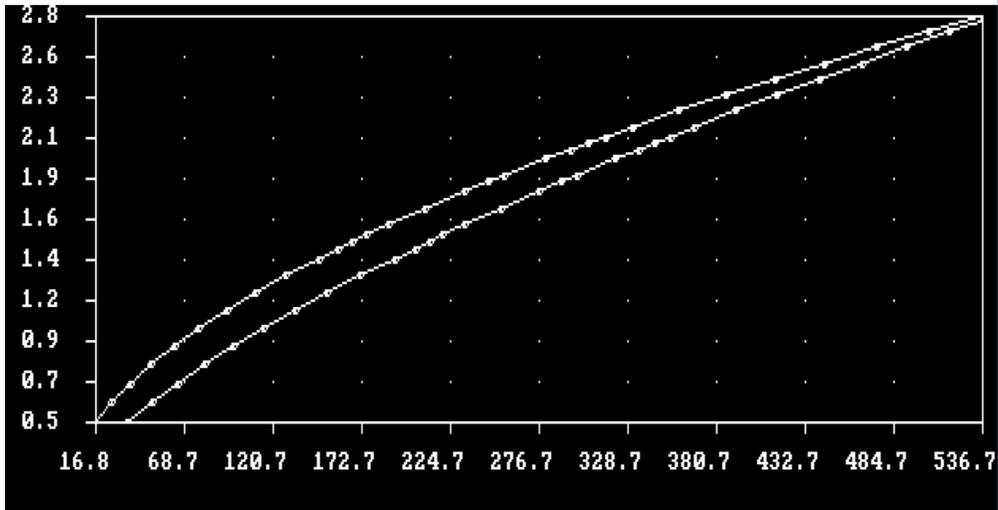
## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

REGIMEN EN TRANSICIONES				
Elementos del Salto Hidraulico para intervalo transicional				
Q	h1	h2	b2	E2
62.72	0.11	0.86	91.35	0.89
77.48	0.14	0.96	91.15	1.00
93.36	0.16	1.05	90.95	1.10
110.33	0.19	1.14	90.77	1.20
128.33	0.22	1.23	90.59	1.30
147.32	0.25	1.32	90.41	1.40
159.18	0.27	1.37	90.31	1.46
167.28	0.28	1.41	90.24	1.50
175.53	0.29	1.44	90.17	1.54
188.18	0.31	1.49	90.07	1.59
209.98	0.34	1.58	89.91	1.69
232.67	0.38	1.66	89.75	1.79
246.69	0.40	1.71	89.66	1.84
256.21	0.41	1.74	89.60	1.88
280.61	0.45	1.82	89.45	1.97

A continuación Ud verá la construcción gráfica de las curvas de Q (eje x) vs Qcrit (eje y), para imprimirlas pulse [Shift] + [PrtScr] y para continuar pulse cualquier tecla.



A continuación Ud verá la construcción gráfica de las curvas de E2 (eje x) vs Q (eje y), para imprimirlas pulse [Shift] + [PrtScr] y para continuar pulse cualquier tecla.



## REGIMEN EN TRANSICIONES

### Resultados Finales

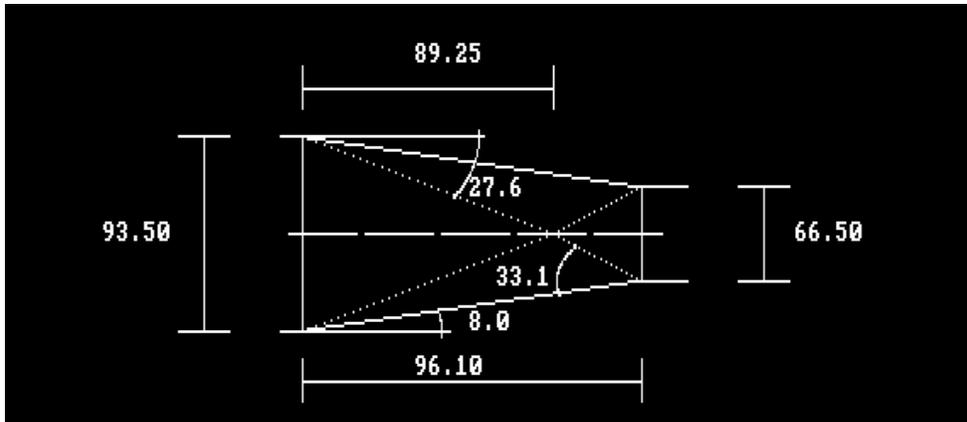
Gasto Supercrítico final ( $m^3/s$ )..... 528.32  
 Gasto Subcrítico inicial ( $m^3/s$ )..... 626.91  
 Para gastos menores que 528.32  $m^3/s$  existe reg. Supercrít. estable.  
 Para gastos entre 528.32  $m^3/s$  626.91  $m^3/s$  hay reg. dudoso.  
 Para gastos mayores que 626.91  $m^3/s$  el reg. sera Subcrítico puro.  
 Para el gasto de diseño el reg. en la transición es **SUPERCRITICO** .

## TRANSICIONES SUPERCRITICAS

Entrada de datos	
Ancho inicial de la transición (metros)	93.5
Gasto de diseño de la contracción (en $m^3/s$ )	325.35
Tirante a la entrada de la contracción (metros)	0.527
Ancho final de la transición (en metros)	66.5
Desea prefijar la relacion $Y3/Y1$ .....(s/n)?	n

Ud. debe responder N a menos que tenga un proposito especifico

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo



### TRANSICIONES SUPERCRÍTICAS

#### R E S U L T A D O S

Sección	Ancho (m)	Froude	Tirante (m)
1	93.50	2.90	0.53
2	68.42	2.23	0.77
3	66.50	1.56	1.00

Valor del ángulo $\theta$ (grados)	= 8.00
Valor del ángulo $\beta_1$ (grados)	= 27.65
Valor del ángulo $\beta_2$ (grados)	= 33.14
Distancia de choque (m)	= 89.25
Longitud de la transición (m)	= 96.10
Relación de $Y_3/Y_1$	= 1.90

### RÁPIDA

Entrada de datos	
Diga el gasto de diseño ( $m^3/s$ )	325.35
Diga la pendiente de la rápida (tanto por uno)	0.06
Longitud de la rápida (metros)	100
Rugosidad de la rápida (n de Manning)	0.014
Talud de la rápida	1
Velocidad máxima admisible (m / s)	15
Longitud del frente vertedor (metros)	93.5

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

RAPIDA

Opciones

- 1- (P)refijar el ancho de la rápida.
- 2- (O)btenerlo en función de los requerimientos de gasto específico para el canal de salida.

Escoja uno de ellos ( O / P )

Ancho de la rápida (en metros)= 66.5\_

RAPIDA

$Y_c$  1.337 m

Tirante al inicio de la rápida (m) = 1

RAPIDA

La velocidad de circulación no ha sobrepasado la máxima admisible.  
Por tanto no es necesario el uso de rugosidades

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

<b>RAPIDA</b>									
<b>Curva superficial natural en la rápida</b>									
Seccion	Y(m)	A(m <sup>2</sup> )	U(m/s)	R(m)	S	Sprom.	E	Dtx	X(m)
1	1.000	67.50	4.82	0.97	0.005	0.000	2.18	0.0	0.00
2	0.959	64.69	5.03	0.93	0.005	0.005	2.25	1.2	1.17
3	0.918	61.88	5.26	0.90	0.006	0.006	2.33	1.5	2.62
4	0.877	59.07	5.51	0.86	0.007	0.007	2.42	1.8	4.42
5	0.836	56.27	5.78	0.82	0.009	0.008	2.54	2.2	6.67
6	0.795	53.47	6.08	0.78	0.010	0.009	2.68	2.8	9.47
7	0.754	50.68	6.42	0.74	0.012	0.011	2.85	3.5	13.01
8	0.712	47.88	6.79	0.70	0.015	0.013	3.07	4.5	17.53
9	0.671	45.09	7.21	0.66	0.018	0.016	3.32	5.9	23.44
10	0.630	42.31	7.69	0.62	0.022	0.020	3.64	8.0	31.41
11	0.589	39.53	8.23	0.58	0.027	0.025	4.04	11.3	42.68
12	0.548	36.75	8.85	0.54	0.035	0.031	4.54	17.4	60.07
13	0.507	33.97	9.58	0.50	0.045	0.040	5.18	32.1	92.16
14	0.466	31.20	10.43	0.46	0.060	0.053	6.01	112.3	204.49

<b>RAPIDA</b>						
<b>Curva superficial aireada sin umbrales de rugosidad</b>						
Sección	Ya(m)	U(m/s)	Ua(m/s)	X(m)	BL(m)	Alt.muro(m)
1	1.00	4.82	4.82	0.00	0.77	1.775
2	1.09	5.03	4.42	1.17	0.81	1.897
3	1.04	5.26	4.62	2.62	0.79	1.833
4	1.00	5.51	4.84	4.42	0.77	1.768
5	0.95	5.78	5.08	6.67	0.75	1.703
6	0.90	6.08	5.35	9.47	0.74	1.638
7	0.86	6.42	5.65	13.01	0.72	1.572
8	0.81	6.79	5.98	17.53	0.70	1.505
9	0.76	7.21	6.35	23.44	0.68	1.438
10	0.72	7.69	6.77	31.41	0.66	1.371
11	0.67	8.23	7.24	42.68	0.63	1.302
12	0.62	8.85	7.79	60.07	0.61	1.233
13	0.58	9.58	8.43	92.16	0.59	1.163
14	0.53	10.43	9.18	204.49	0.56	1.092

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

## RÁPIDA

### Resultados Finales

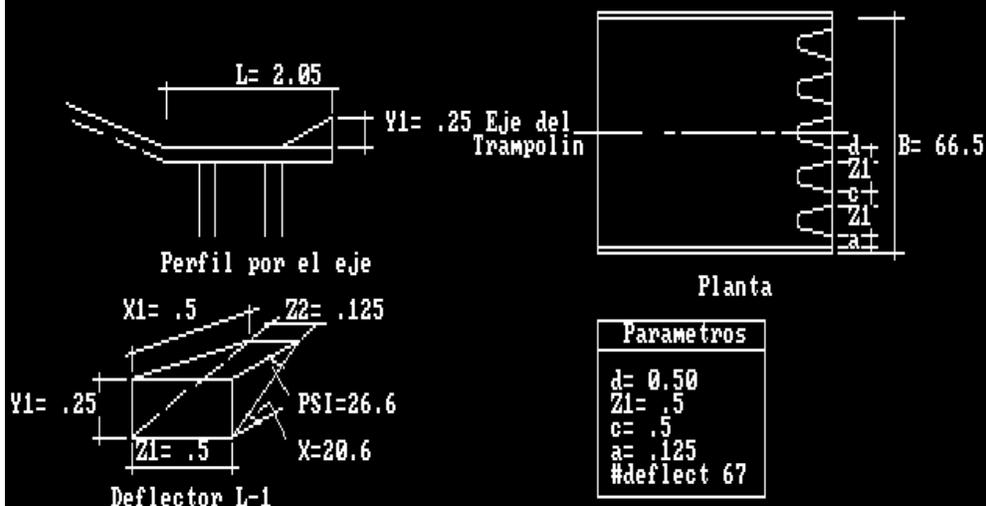
- 1)- El régimen normal de circulación no se alcanzó en la rápida.
- 1b)- El tirante (sin airear) al final de la rápida es **0.501** mts .
- 2)- La velocidad de inicio de aireación es **3.774** m/s .

## TRAMPOLIN CIH

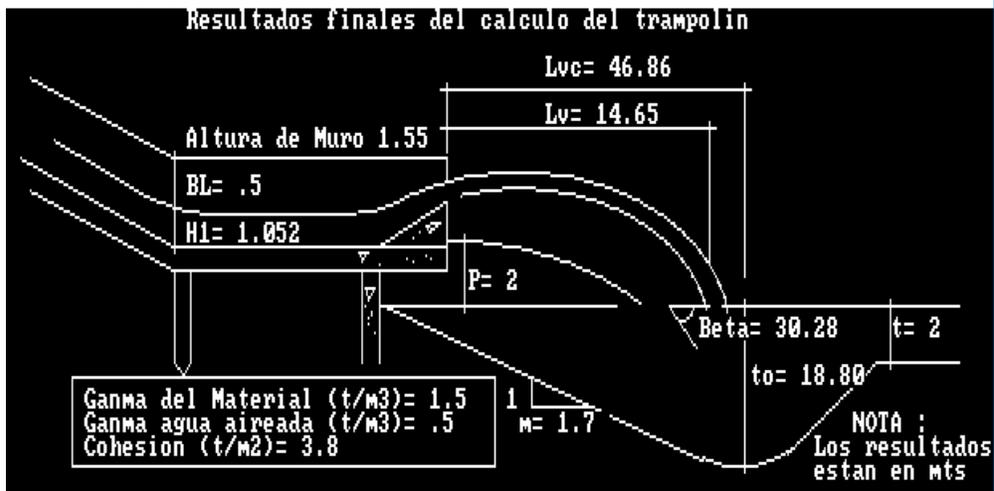
### Entrada de datos

Gasto de diseño del trampolín (m <sup>3</sup> /s)	325.35
Tirante a la entrada del trampolín (m)	0.501
Ancho del canal a la entrada del trampolín (m)	66.5
Altura de la caída del chorro (m)	2
Tirante del agua en el canal de salida (m)	2

### Dimensionamiento del trampolín con deflectores L-1



## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo



Para un suelo cohesivo

TRAMPOLIN CIH

Cohesión del material (t/m <sup>2</sup> )	3.8
Peso especif. saturado de la partícula (t/m <sup>3</sup> )	1.5
Peso específico del agua aireada (t/m <sup>3</sup> )	0.5

TRAMPOLIN CIH

La profundidad del cono de socavación por Mirtjuslava es de 18.80 m

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo



### Anexo 3. Diseño la variante de aliviadero frontal, PPcV.

#### Diseño del cimacio vertedor y el canal de acceso

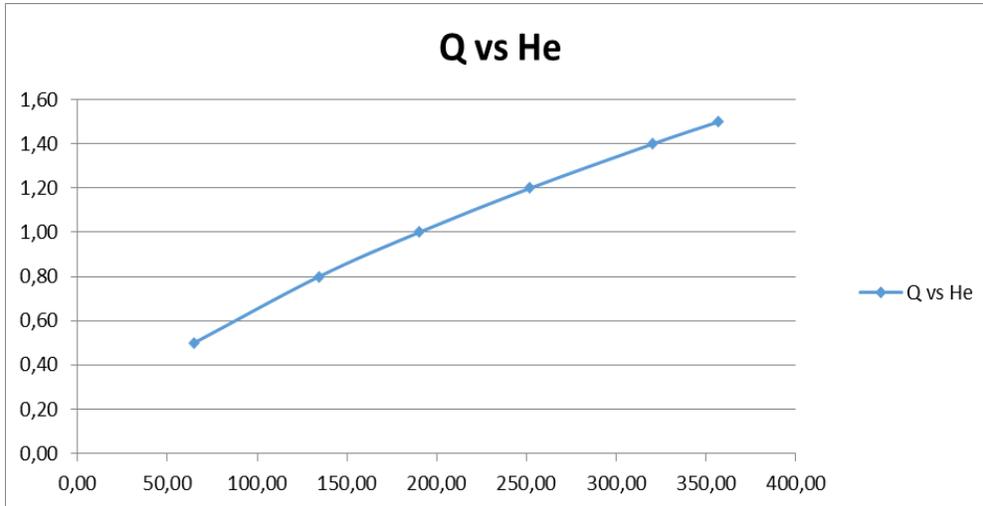
DATOS		
NAN =	139,8	m
NAM =	141,3	m
Q =	325,4	m3/s
Lca =	100	m
Vmáx.perm =	0,9	m/s
kent =	0,1	
n =	0,014	
g =	9,81	m/s2
Resultado:		
Ho =	1,41	m
Bca =	152,6	m
hfT =	0,01	m

#### Obtención de La curva de capacidad de servicio de aliviadero

He	P/He	Ho/RΦ	mo	σ2	P*/He	σ3	hd	hd/He	σ4	m	L	Q
0,50	2,00	1,28	0,529	1	5,20	1	2,82	5,63	1	0,529	78,30	64,87
0,80	1,25	2,04	0,542	1	3,25	1	2,99	3,74	1	0,542	78,24	134,48
1,00	1,00	2,55	0,549	1	2,60	1	3,10	3,10	1	0,549	78,20	190,23
1,20	0,83	3,06	0,554	1	2,17	1	3,20	2,67	1	0,554	78,16	252,03

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

1,40	0,71	3,57	0,559	1	1,86	1	3,29	2,35	1	0,559	78,12	320,30
1,50	0,67	3,83	0,561	1	1,73	1	3,33	2,22	1	0,561	78,10	356,77



### REGIMEN EN TRANSICIONES

Bloque de entrada de datos	
Gasto de diseño de la obra (en m <sup>3</sup> /s)	325.35
Carga total de diseño sobre el vertedor (en m)	1.42
Altura del paramento aguas arriba del vertedor (en m)	1
Altura del paramento aguas abajo del vertedor (en m)	2.6
Se prevee construir pilas sobre el vertedor...(S/N)	

### REGIMEN EN TRANSICIONES

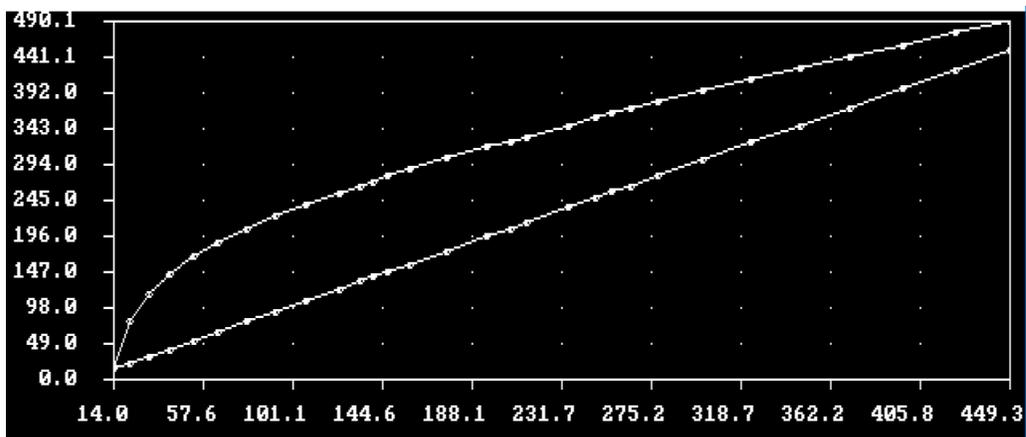
Bloque de entrada de datos ...(Cont)	
Ancho inicial de la transición (en m)	78.4
Ancho final de la transición (en m)	55
Longitud de la transición (en m)	80
Pendiente de la rápida (tanto por uno)	0.06
Rugosidad de la transición	0.017
Pendiente Subcrítica del fondo de la transición	0_

Sc=0.003

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

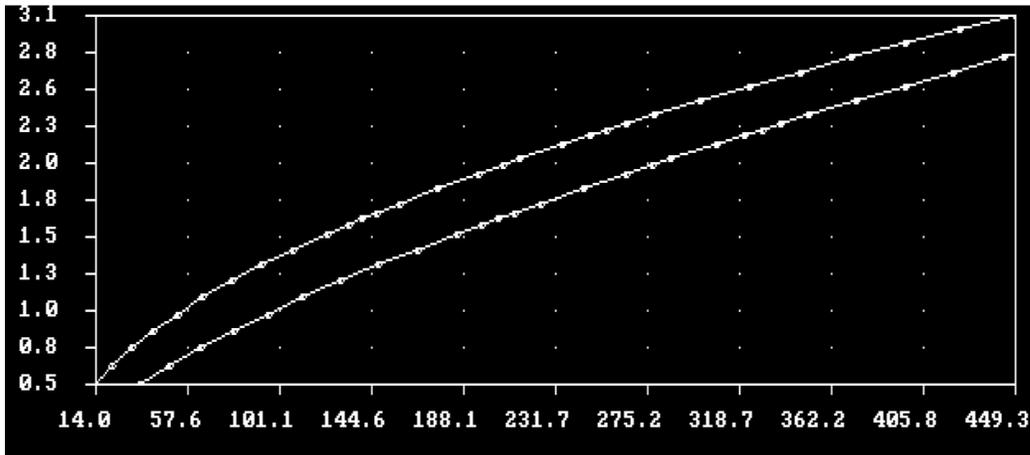
REGIMEN EN TRANSICIONES				
Elementos del Salto Hidraulico para intervalo transicional				
Q	h1	h2	b2	E2
52.57	0.09	0.97	76.53	1.00
64.93	0.11	1.08	76.36	1.11
78.24	0.13	1.19	76.19	1.22
92.45	0.15	1.29	76.02	1.33
107.53	0.18	1.39	75.86	1.44
123.44	0.20	1.49	75.71	1.55
133.38	0.22	1.55	75.62	1.62
140.16	0.23	1.59	75.56	1.66
147.07	0.24	1.63	75.50	1.70
157.66	0.26	1.68	75.41	1.76
175.91	0.28	1.78	75.26	1.87
194.91	0.31	1.87	75.12	1.97
206.65	0.33	1.93	75.04	2.03
214.62	0.34	1.97	74.98	2.07
235.04	0.37	2.06	74.84	2.18

A continuación Ud verá la construcción gráfica de las curvas de Q (eje x) vs Qcrit (eje y), para imprimirlas pulse [Shift] + [PrtScr] y para continuar pulse cualquier tecla.



A continuación Ud verá la construcción gráfica de las curvas de E2 (eje x) vs Q (eje y), para imprimirlas pulse [Shift] + [PrtScr] y para continuar pulse cualquier tecla.

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo



## REGIMEN EN TRANSICIONES

### Resultados Finales

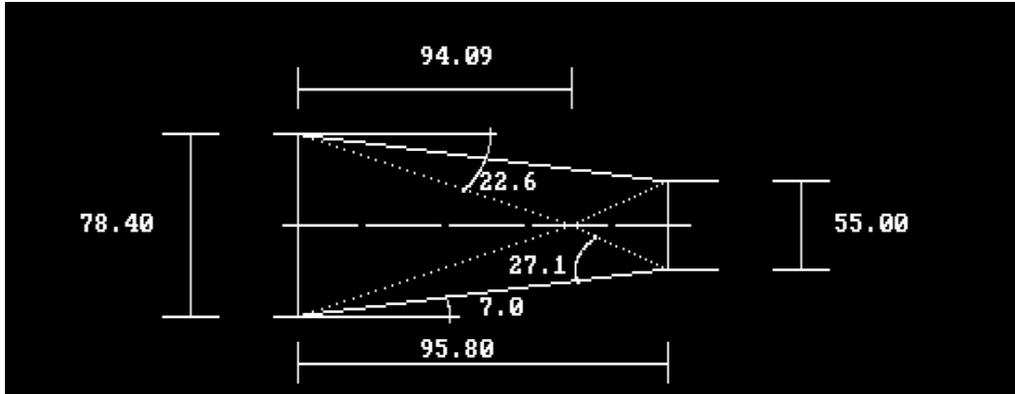
Gasto Supercrítico final ( $m^3/s$ )..... 547.88  
 Gasto Subcrítico inicial ( $m^3/s$ )..... 540.56  
 Para gastos menores que 540.56  $m^3/s$  existe reg. Supercrít. estable.  
 Para gastos entre 540.56  $m^3/s$  547.88  $m^3/s$  hay reg. dudoso.  
 Para gastos mayores que 547.88  $m^3/s$  el reg. sera Subcrítico puro.  
 Para el gasto de diseño el reg. en la transición es SUPERCRITICO .

## TRANSICIONES SUPERCRTICAS

Entrada de datos	
Ancho inicial de la transición (metros)	78.4
Gasto de diseño de la contracción (en $m^3/s$ )	325.35
Tirante a la entrada de la contracción (metros)	0.52
Ancho final de la transición (en metros)	55
Desea prefijar la relacion $Y3/Y1$ .....(s/n)?	s
Valor de $Y3/Y1$	2

El valor de  $Y3/Y1$  debe estar entre 2 y 3 variando de 0,1 en 0,1

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo



### TRANSICIONES SUPERCRITICAS

#### RESULTADOS

Sección	Ancho (m)	Froude	Tirante (m)
1	78.40	3.53	0.52
2	55.42	2.76	0.77
3	55.00	1.78	1.04

Valor del ángulo  $\theta$  (grados) = 6.96  
 Valor del ángulo  $\beta_1$  (grados) = 22.62  
 Valor del ángulo  $\beta_2$  (grados) = 27.08  
 Distancia de choque (m) = 94.09  
 Longitud de la transición (m) = 95.80  
 Relación de  $Y_3/Y_1$  = 2.00

### RÁPIDA

Entrada de datos	
Diga el gasto de diseño ( $m^3/s$ )	325.35
Diga la pendiente de la rápida (tanto por uno)	0.06
Longitud de la rápida (metros)	100
Rugosidad de la rápida (n de Manning)	0.014
Talud de la rápida	1
Velocidad máxima admisible (m / s)	15
Longitud del frente vertedor (metros)	78.4_

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

RÁPIDA

Opciones

- 1- (P)refijar el ancho de la rápida.
- 2- (O)btenerlo en función de los requerimientos de gasto específico para el canal de salida.

Escoja uno de ellos ( O / P )

Ancho de la rápida (en metros)= 55

RÁPIDA

$Y_c$  1.514 m

Tirante al inicio de la rápida (m) = 1.04

La velocidad de circulación no ha sobrepasado la máxima admisible.

Por tanto no es necesario el uso de rugosidades

## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

RÁPIDA									
Curva superficial natural en la rápida									
Seccion	Y(m)	A(m <sup>2</sup> )	U(m/s)	R(m)	S	Sprom.	E	Dtx	X(m)
1	1.040	58.28	5.58	1.01	0.006	0.000	2.63	0.0	0.00
2	1.000	56.01	5.81	0.97	0.007	0.006	2.72	1.7	1.71
3	0.960	53.74	6.05	0.93	0.008	0.007	2.83	2.1	3.77
4	0.921	51.48	6.32	0.89	0.009	0.008	2.96	2.5	6.26
5	0.881	49.21	6.61	0.86	0.011	0.010	3.11	3.0	9.28
6	0.841	46.96	6.93	0.82	0.012	0.011	3.29	3.7	12.98
7	0.801	44.70	7.28	0.78	0.014	0.013	3.50	4.6	17.56
8	0.761	42.45	7.66	0.74	0.017	0.016	3.76	5.8	23.31
9	0.721	40.20	8.09	0.70	0.020	0.019	4.06	7.4	30.70
10	0.682	37.95	8.57	0.67	0.025	0.023	4.43	9.8	40.52
11	0.642	35.71	9.11	0.63	0.030	0.027	4.87	13.7	54.21
12	0.602	33.47	9.72	0.59	0.037	0.034	5.42	20.8	75.04
13	0.562	31.23	10.42	0.55	0.047	0.042	6.09	37.9	112.92

RÁPIDA						
Curva superficial aireada sin umbrales de rugosidad						
Sección	Ya(m)	U(m/s)	Ua(m/s)	X(m)	BL(m)	Alt. muro(m)
1	1.04	5.58	5.58	0.00	0.79	1.830
2	1.14	5.81	5.10	1.71	0.83	1.961
3	1.09	6.05	5.32	3.77	0.81	1.899
4	1.04	6.32	5.56	6.26	0.79	1.837
5	1.00	6.61	5.81	9.28	0.77	1.774
6	0.95	6.93	6.09	12.98	0.76	1.711
7	0.91	7.28	6.40	17.56	0.74	1.648
8	0.86	7.66	6.74	23.31	0.72	1.584
9	0.82	8.09	7.12	30.70	0.70	1.520
10	0.77	8.57	7.54	40.52	0.68	1.455
11	0.73	9.11	8.01	54.21	0.66	1.390
12	0.68	9.72	8.55	75.04	0.64	1.324
13	0.64	10.42	9.16	112.92	0.62	1.257

RÁPIDA
Resultados Finales
1)- El régimen normal de circulación no se alcanzó en la rápida.
1b)- El tirante (sin airear) al final de la rápida es <b>0.573</b> mts .
2)- La velocidad de inicio de aireación es <b>3.989</b> m/s .

# Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

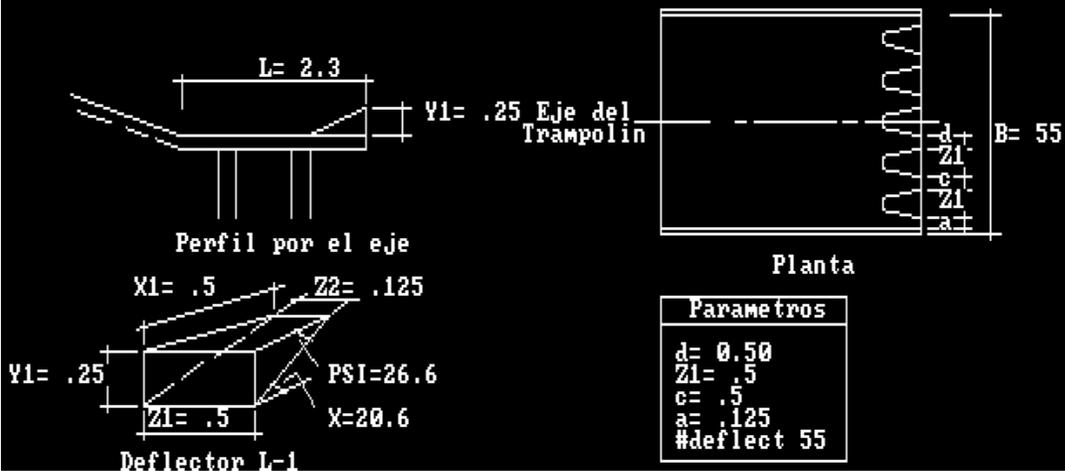
## TRAMPOLIN CIH

Entrada de datos	
Gasto de diseño del trampolín (m <sup>3</sup> /s)	325.35
Tirante a la entrada del trampolín (m)	0.573
Ancho del canal a la entrada del trampolín (m)	55
Altura de la caída del chorro (m)	2
Tirante del agua en el canal de salida (m)	2

Para el cálculo de la altura de las paredes

Qué bordo libre va a utilizar 0.5

### Dimensionamiento del trampolín con deflectores L-1



## Diseño Hidráulico del Aliviadero del Embalse Joturo

Cohesión del material ( $t/m^2$ )	3.8
Peso especif. saturado de la partícula ( $t/m^3$ )	1.9
Peso específico del agua aireada ( $t/m^3$ )	0.5

### TRAMPOLIN CIH

La profundidad del cono de socavación por Mirtjulsava es de 9.23 m

