

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**“CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS OBRAS DE TOMA Y DESCARGA EN
PRESAS”**

REALIZADO POR:

**FIGUERA FIGUERA, ANA KATHERINE
ROBLES RUIZ, MARIANGEL DEL VALLE**

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

Puerto La Cruz, Junio de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**“CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS OBRAS DE TOMA Y DESCARGA EN
PRESAS”**

Prof. Luis González

Asesor Académico

Puerto La Cruz, Junio de 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**“CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS OBRAS DE TOMA Y DESCARGA EN
PRESAS”**

Prof. Luis González
Asesor Académico

Prof. Luisa Torres
Jurado Principal

Prof. Enrique Montejo
Jurado Principal

Puerto La Cruz, Junio de 2009

ARTÍCULO 44

De acuerdo con el reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente:

“Los trabajos de Grado son propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso.

A mis Padres: Isaac y Dorina, a quienes amo.

A mis Hermanas: Daniela, Lorena y Antonella.

A mi Amada Bisabuela Vicenta.

A mis Abuelos: Ezequiel y Albertina, Rafael y Elena.

A mis Tíos: Carmen Elena, Argenis, Ayarit, Olivia, Baldo, Daniel, Abner y Yajaira.

A mis Primos: Eber, Yarilenis, Argenis, Gabriel, Genesis, Daniel y Sebastian.

Ana Katherine Figuera Figuera

A mis padres Angel y María porque esto es gracias a ellos.

A mis Hermanos Angel Rafael, Angel Luis y Luis Carlos.

A mis sobrinos Rafael Angel, Heleanna, Angel, Arianna, Angélica y Valeria.

Mariangel del Valle Robles Ruiz.

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien en su Gran Misericordia me ha dado, a su tiempo, cuanto he pedido y he necesitado, primeramente la salvación en Cristo Jesús.

“...Hasta aquí nos ayudo DIOS” 1ra Samuel 7:12

“Mas a DIOS GRACIAS, el cual nos lleva siempre en triunfo en Cristo Jesús...” 2da Corintios 2:14

A mis Padres, Isaac y Dorina, quienes con amor y paciencia me han dado su apoyo incondicional, no solo a lo largo de mi carrera sino durante toda mi vida.

A mi Grupo de Amigos: Mariangel “Mi Compañera”, Gaby, Franci, Lourdes, Elianny, Gianna, Mirgre, Katy, Delimar, Cruz y Reinaldo, Gracias por toda la ayuda.

A todos mis Familiares, Amigos y Profesores, que de una u otra forma fueron partícipes de este logro tan grande en mi vida.

Gracias a Todos

Ana Katherine Figuera Figuera
logro en mi vida...

A Dios sobre todas las cosas por darme fortaleza y guiarme en mi camino.

A mis padres Angel Luis Robles y María Ruiz por brindarme su apoyo y amor durante toda mi vida y por creer en mí.

A mis hermanos Angel Rafael, Angel Luis, Luis Carlos y Norki por estar pendiente de mí y desearme lo mejor.

A mi tía Violeta y al señor José Tabata por darme su confianza.

A mis primas Patricia y Maireli por estar conmigo en las buenas y en las malas.

A mis amigas Ana, Mirgre, Gabriela, Katy, Lourdes, Franci, Elianny, Gianna, Delimar y a mis amigos Mayattis, Reinaldo, Cruz y Juan por compartir todos los lindos y no tan gratos momentos conmigo, por su ayuda, por hacerme reír y estar ahí cuando los necesite.

Mariangel del Valle Robles Ruiz.

RESUMEN

Para el diseño de las obras de toma se debe ejecutar el balance hídrico y así tener los aportes y diseñarla con los gastos medios mensuales para un periodo de retorno determinado y para las descargas se debe realizar el estudio hidrológico pertinente y su diseño se realiza con el caudal máximo instantáneo para un periodo de retorno determinado y de esta manera poder realizar un diseño adecuado de dichas obras que satisfagan los propósitos para las cuales fueron ideadas. En la hidráulica de estas obras rige en su diseño generalmente el flujo libre y el flujo a presión y debido a estos son aplicables todas las formulas empleadas para estos tipos de flujo. Es por ello que los pasos a seguir para el diseño de las obras de toma y descarga se centran en los criterios de un buen estudio hidrológico, de una hidráulica bien definida y del diseño adecuado de los propios componentes de estas obras, es por ello que se deben hacer una buena selección de los elementos que las constituyen y a su vez que estos también cumpla con un diseño correcto ya que de ellos depende en gran medida el funcionamiento de las obras a las cuales pertenecen.

CONTENIDO

PÁGINA DE TÍTULO	i
ARTÍCULO 44	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN.....	ix
CONTENIDO	x
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE FIGURAS.....	xv
CAPITULO I.....	16
INTRODUCCIÓN	16
1.1. Planteamiento del problema.....	17
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Objetivo general.....	19
1.2.2. Objetivos Específicos.....	19
1.3. Sistema de variables.....	20
1.3.1. Definición conceptual	20
1.3.2. Definición operacional.....	21
CAPITULO II	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Funciones de las tomas y descargas.....	27
2.1.1. Generación de energía.....	27
2.1.2. Abastecimiento urbano	28
2.1.3. Riego	28
2.1.4. Control de inundaciones.....	28
2.1.5. Mantenimiento de una corriente permanente en el río.....	29
2.1.6. Vaciado del embalse	30

2.1.7. Extracción de sedimentos.....	30
2.1.8. Aliviadero.....	30
2.2. Fundamentos teóricos y formulas empleadas	31
2.2.1. Obras de toma	31
2.2.2. Tipos de obras de toma según Irwin (2002).....	32
2.2.2.1. Obras de toma superficiales	32
2.2.2.2. Obras de toma de derivación directa.....	33
2.2.2.3. Obras de toma con canal de limpieza.....	34
2.2.2.4. Obra de toma frontal	35
2.2.2.5. Obras de toma en solera	36
2.2.2.5.1. Obra de toma tipo tirol	36
2.2.3. Medios de captación del agua embalsada	37
2.2.3.1. Túneles	38
2.2.3.1.1. Selección del emplazamiento del túnel.....	38
2.2.3.1.2. Construcción de túneles	39
2.2.3.2. Conductos a través de presas de tierra	40
2.2.3.2.1. Las Causas de falla más frecuentes en este tipo de estructuras según Suarez (1982).....	41
2.2.3.2.2. Cargas para el diseño estructural son	41
2.2.3.3. Conductos a través de presas de concreto	42
2.2.3.4. Canales a través de las presas.....	42
2.2.3.5. Bombeo sobre presas	43
2.2.3.6. Torres de captación (toma selectiva).....	44
2.2.3.7. Tomas inclinadas (toma selectiva).....	44
2.2.3.8. Toma obhídra (toma selectiva).....	44
2.2.4. Diseño de las obras de toma de acuerdo al tipo de presa según Torres (1981)	45
2.2.4.1. Obra de toma a través de cortina de concreto	45

2.2.4.2. Obras de toma a través de cortina de tierra o de tierra y enrocamiento: según Torres (1981)	46
2.2.5. Obras de control y excedencias.....	48
2.2.6. Tipos de obra de excedencia según Gómez (2002) son:	50
2.2.6.1. Vertederos de caída libre.....	50
2.2.6.2. Vertederos con caída en rápido	50
2.2.6.3. Vertederos con tiro vertical.....	50
2.2.6.4. Vertederos con descarga directa en canal	51
2.2.6.5. Vertedero con canal lateral.....	51
2.2.6.6. Descarga de los vertederos.....	52
2.2.6.7. Orificios	53
2.2.7. Sedimentos y su influencia en el diseño de tomas y descargas	53
2.2.7.1. Determinación del nivel muerto.....	54
2.2.7.2. Algunos diseños de tomas relativos al nivel muerto.....	55
2.2.7.3. Las descargas de fondo en los embalses	57
2.2.7.4. Técnicas para la extracción de sedimentos en los embalses	58
2.2.7.4.1. El Método español	58
2.2.7.4.2. Método de las ondas de expulsión o crecientes artificiales.....	59
2.2.7.4.3. Método de captación de las corrientes de densidad	59
2.2.8. Hidráulica de las obras de tomas y descargas según Suarez (1982)	59
2.2.8.1. Flujo con superficie libre	60
2.2.8.2. El flujo a presión	60
2.2.8.3. Circulación libre en la obra de toma	61
2.2.8.4. Flujo en conducto cerrado.....	61
2.2.8.5. Conducto parcialmente lleno.....	61
2.2.9. Formulas empleadas.....	62
2.3. Elementos estructurales que constituyen las obras de toma y descarga.....	71
2.3.1. Obras de toma	72
2.3.1.1. La estructura de entrada	72

2.3.1.1.1. Rejillas	73
2.3.1.1.2. Pérdidas de carga por entrada	75
2.3.1.1.3. Localización de la obra de toma en planta	76
2.3.1.1.4. Compuertas de emergencia o de control	76
2.3.1.2. Conductos.....	77
2.3.1.3. Mecanismos de regulación y emergencia	77
2.3.1.4. Dispositivos para disipación de energía.....	78
2.3.2. Obras de descarga	79
2.3.2.1. Estructuras de control.....	79
2.3.2.2. Conductos de descarga.....	80
2.3.2.4. Estructura terminal	81
2.3.2.5. Controles de entrada y salida	81
2.4. Pasos a seguir para el cálculo según los criterios de diseño	82
CAPITULO III	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
3.1. Conclusiones	84
3.2. Recomendaciones.....	85
BIBLIOGRAFÍA	86
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Identificación y operacionalización de las variables.....	21
Tabla 1.2. Operacionalización de las variables.....	22
Tabla 2.1. Valores del coeficientes n de Manning. Fuente: Ingeniería de Presas, p. 71, Suarez.....	64
Tabla 2.2. Coeficiente de Descargas de orificio circulares de pared delgada. Fuente: Manual de Hidráulica, p. 55, Azevedo y Acosta.....	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Definición de términos. Fuente: Ingeniería de Presas, p. 2, Suarez.	27
Figura 2.2. Obras de toma con desviadores y desfogue.....	34
Figura 2.3. Obra de toma frontal con limpieza continúa.....	35
Figura 2.4. Orificio y Vertedero respectivamente. Fuente: Manual de Hidráulica, p. 51, Azevedo y Acosta.	53
Figura 2.5. Conductos de descarga a través de una presa de concreto. Fuente: Ingeniería de Presas, p. 63, Suarez.....	58
Figura 2.6. Perdidas en una obra de toma con tubería a presión a través de una cortina de concreto. Fuente: Obras Hidráulicas, p. 87. Torres.....	64
Figura 2.7. Rejillas. Fuente: Obras Hidráulica, p. 91, Torres.	65
Figura 2.8. Valores del coeficiente K_e para diferentes casos. Fuente: Ingeniería de Presas, p. 86, Suarez.....	66
Figura 2.9. Valores del coeficiente K_c . Fuente: Ingeniería de Presas, p. 87, Suarez..	67
Figura 2.10. Separadores en la rejillas. Fuente: Obras hidráulica, p. 91. Torres	74
Figura 2.11. Entradas en las obras de Toma. Fuente: Obras Hidráulica, p. 84, Torres.	75
Figura 2.12. Esquema para el cálculo 1/2.	82
Figura 2.13. Esquema para el cálculo 2/2.	83

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Una presa o represa es una estructura de retención de agua, por lo que debe ser impermeable y estable; construida en la cuenca de un río, con múltiples facilidades como la de abastecimiento de agua, generador de energía hidroeléctrica, riego, así como otras aplicaciones. Esta obra hidráulica consta de estructuras básicas e indispensables como lo son las obras de toma y las de descarga.

Las obras de toma están conformadas por un conjunto de elementos los cuales varían dependiendo del tipo de toma pero los más típicos son la entrada o toma, un túnel o conducto a través de estribo de la presa y una salida, cuyo principal objetivo es de tomar las aguas del embalse y pasarlas al canal principal para así satisfacer la zona a la cual se desea abastecer, teniendo la suficiente capacidad para cumplir con la demanda y tomando en cuenta los requerimientos del suelo para los niveles mínimos del embalse. Uno de los factores condicionantes para el diseño es el material de la presa y su tamaño, ya que en grandes presas se pueden colocar varias tomas y en presas de concreto puede ir dentro del cuerpo del embalse mientras que en las presas de tierra las toma van por los estribos.

Las obras de descarga tienen como finalidad evacuar los excedentes que llegan al embalse. Existen 2 tipos de descarga: como aliviadero y descarga de fondo. Como aliviadero su característica más importante es la de descargar con toda la facilidad las máximas crecientes que llegan al vaso de almacenamiento, su insuficiencia provoca el desborde del agua por encima de la cresta de la presa en el caso de ser una presa de

concreto y podría producir el posible colapso de esta estructura mientras que si se tratara de una presa de tierra o enrocado el aliviadero debe estar fuera del cuerpo de la presa. Mientras que en la descarga de fondo su finalidad es extraer los sedimentos (Nivel Muerto) acumulados en el fondo de la presa, con el objeto de aumentar la vida útil de la presa. En estas obras deben tomarse en cuenta ciertos criterios de diseño en cuanto al estudio hidrológico pertinentes en cada caso tanto para de toma como para la descarga, la hidráulica de estas obras y diseño de los elementos que la integran

Para que todo lo anterior se cumpla, es decir, que tanto las tomas como las descargas trabajen en óptimas condiciones debe llevarse una secuencia lógica de los pasos para el cálculo de su diseño el cual se representara en la información aquí expuesta.

1.1. Planteamiento del problema

Las Presas se encuentran constituidas por varios componentes relevantes para su funcionamiento, entre los cuales tenemos las obras de toma y descargas, en donde la primera es la estructura hidráulica de mayor importancia de un sistema de aducción, y tiene como objetivo fundamental alimentar un sistema Hidráulico, pudiendo ser éste generador de energía hidroeléctrica, riego, agua potable, etc. A partir de la obra de toma, se tomarán decisiones respecto a la disposición de los demás componentes de la Obra, mientras que la segunda son estructuras que tienen como función permitir la salida de los volúmenes de agua excedentes a los de aprovechamiento y los volúmenes del nivel muerto del embalse.

El Diseño de las Obras de Toma va a depender de varios factores entre los cuales se encuentran la topografía, la oferta y la demanda en cuanto al gasto, Tipo de presa que pueden ser: por su material (concreto, tierra o enrocado), por su tamaño

(Grandes, medianas o pequeñas) estos factores ayuda a determinar el tipo de toma, después de esto se procede a su diseño con el caudal medio mensual. Sin embargo, en las Obras de Descarga unos de los parámetros esenciales es el Caudal Máximo de excedencia, y al igual que las tomas el tipo de Presa.

El Diseño Hidráulico de las Obras de Toma es el proceso en donde se obtiene el diámetro del conducto o tamaño del canal, el cual es determinado en función del gasto de extracción normal y del almacenamiento mínimo de operación, el cual depende de la topografía y la energía disponible. Mientras que para las obras de descargas se debe determinar el caudal máximo de descarga que pasa por la obra de excedencias en un periodo de retorna determinado dicha obra depende de la avenida de diseño (Hidrograma de Aportaciones al vaso), así como las características del embalse, del almacenamiento disponible y del programa de operación de la propia obra.

En general, se debe ser sumamente cauteloso al evaluar la seguridad de una obra de excedencias en una presa de tierra o de enrocado, aunque esta obra en este tipo de presa se encuentra ubicada en los estribos de la misma al tener una operación defectuosa produce una avenida mayor a la establecida y el nivel del agua sobrepasa la elevación de la corona de la cortina y puede haber graves consecuencias tanto para la presa como para la vida y bienes materiales localizados aguas abajo de la misma; no así en presas de concreto en donde las consecuencias de tales condiciones pueden ser menores.

El Propósito de esta Investigación, se basa en el análisis de los criterios de diseño de las obras de toma y descarga en presas, ya que un adecuado diseño de la obra de toma permite captar apropiadamente el agua y realizar un buen abastecimiento así como también es importante el diseño en las obras de descarga ya que a la hora de una crecida no se desborda la presa y protege la zona agua abajo,

como también prolonga la vida útil del embalse. Con este material lo que se busca es tener un resumen de los criterios usados en el diseño de estas obras, debido a que el material informativo es muy disperso y de esta manera implementarlo como guía de apoyo a todo aquel que lo necesite.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar los criterios de diseño de las obras de toma y descarga en presas.

1.2.2. Objetivos Específicos

1. Explicar sobre la finalidad de las obras de toma y descarga en presas.
2. Describir los fundamentos teóricos: conceptos, definiciones y formulas empleadas.
3. Identificar los elementos estructurales que las constituyen.
4. Establecer los pasos a seguir para el cálculo según los criterios de diseño.

1.3. Sistema de variables

Las Variables se pueden definir como todo aquello que se va a medir, controlar y estudiar en una investigación. Un sistema de variables consiste, por lo tanto, en una serie de características por estudiar, definidas de manera operacional, es decir, en función de sus indicadores o unidades de medida. El Sistema puede ser desarrollado mediante un cuadro, donde además de variables, se especifiquen sus dimensiones e indicadores, y su nivel de medición.

En esta sección se dará a conocer la Definición Conceptual y Operacional de las variables con relación a la Descripción de los Criterios de Diseño de las Obras de Toma y Descarga en Presas, siguiendo a lo largo del desarrollo de la Monografía con la misma definición de cada variable.

1.3.1. Definición conceptual

Una definición conceptual define una variable mediante otros conceptos. Estas son las definiciones que conocemos a través de los diccionarios o textos especializados. El Siguiendo cuadro presenta las Definiciones Conceptuales de cada Variable.

Tabla 1.1 Identificación y operacionalización de las variables

OBJETIVO ESPECÍFICO	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL
Explicar sobre la finalidad de las Obras de Toma y Descarga en Presas.	Finalidad de las Obras de Toma y Descarga en Presas.	Obras de Toma: Extraer agua de la presa para abastecer la población. Obras de Descarga: Evacuar el agua excedente y los sedimentos
Describir los Fundamentos teóricos: Conceptos, Definiciones y Formulas Empleadas.	Fundamentos teóricos: Conceptos, Definiciones y Formulas Empleadas.	Son todos aquellos términos básicos utilizados en la descripción de los criterios establecidos para el diseño.
Identificar los elementos estructurales que las constituyen.	Elementos estructurales que las constituyen.	Son aquellos elementos o partes por las cuales se encuentran constituidas cada una de estas obras.
Establecer los pasos a seguir para el cálculo según los Criterios de Diseño.	Pasos a seguir para el cálculo según los Criterios de Diseño.	Son todos aquellos parámetros establecidos llevando una secuencia lógica de los criterios y condiciones de Diseño.

1.3.2. Definición operacional

Luego de definir las variables la Definición Operacional se encarga de señalar las actividades u operaciones que se deben realizar para medir esas variables. Una definición operacional es, esencialmente, aquella que indica que un cierto fenómeno existe, y lo hace especificando de manera precisa y, preferiblemente, en qué unidades puede ser medido dicho fenómeno. A continuación se presentara la Operacionalización de las Variables desglosándolas en indicadores y subindicadores para así tener una idea más clara de lo estudiado.

Tabla 1.2. Operacionalización de las variables

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	SUBINDICADOR
Finalidad de las Obras de Toma y Descarga en Presas.	Hidráulica	Obras de Toma Obras de Descarga	
Fundamentos teóricos: Conceptos, Definiciones y Formulas Empleadas.	Hidráulica	-Obras de Toma -Obras de Control y excedencias de Captación. -Hidráulica de las Obras de Toma y Descarga -Problema de los Sedimentos.	
Elementos estructurales que las constituyen.	Hidráulica	Para las Obras de Toma: Para las Obras de Descarga:	-Entradas -Conductos de regulación -Mecanismos de disipación de energía. -Estructuras de Control -Conductos de Descarga. -Estructura Terminal. -Controles de Entrada y Salida
Pasos a seguir para el Cálculo según los Criterios de Diseño.	Hidráulica	Obras de Toma Obras de Descarga	

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

Suarez (1982) destaca ciertos términos para permitir una mejor comprensión del tema en cuestión, algunos de los cuales se encuentran ilustrados en la Figura 2.1.

- Aliviadero: Vertedero, conducto, canal, túnel u otra estructura diseñada para permitir descargar con seguridad los caudales de la creciente cuando el embalse está lleno.
- Borde libre: Distancia vertical entre el nivel normal del embalse y la cresta de la presa.
- Canal: Estructura abierta al aire libre, natural o artificial, que sirve para la conducción o desalojo del agua.
- Compuerta: Barrera móvil utilizada en presas y canales para regular el paso del agua a través de una sección dada.
- Conducto a presión: Conducto cerrado que lleva el agua a una presión mayor que la atmosférica, generada por carga hidráulica o de bombeo.
- Conducto cerrado: Tubo o túnel por el que circula el agua. Puede funcionar a superficie libre o a presión.

- Corona: Parte superior de la cortina, cuando sea posible y conveniente, se utilizará como tramo de un camino o vía.
- Cortina: Estructura de una presa que cierra el paso al agua de la corriente para provocar su almacenamiento.
- Cresta: Punto más alto de un vertedor.
- Cuenca: Extensión de terreno de limitada por el lugar geométrico de los puntos más altos del mismo (“parteaguas”), que define la zona de captación de las aguas pluviales.
- Descarga de Fondo: Abertura o conducto más bajo, bien sea a través o por los lados de la presa, que permite desaguar el embalse.
- Gasto: Volumen de agua que pasa por una sección en una unidad de tiempo.
- Gasto de diseño: El que se prevé que circulará en condiciones críticas en un sistema, conducto o estructura, y con base en el cual se realiza el diseño de éste.
- Golpe de ariete: Fenómeno transitorio que se presenta en los conductos a presión ante un cierre abrupto de válvulas, presentándose aumentos y reducciones bruscas de presión en el agua que pueden llevar a la falla del sistema.
- Hidrograma: Representación gráfica que describe el comportamiento del agua, con respecto al tiempo, al entrar o salir de algún almacenamiento.

- Instalaciones hidráulicas: En las edificaciones, es el conjunto de tuberías y muebles que distribuyen el agua potable.
- Obra de excedencias: Estructura que permite la salida de los excedentes de agua en el vaso de almacenamiento restituyéndola al río sin peligro de daños para la presa ni para las poblaciones de aguas abajo.
- Obra de toma: Estructura que permite enviar a voluntad el agua del embalse hacia canales de riego, conducciones para abastecimiento a plantas generadoras de energía eléctrica o potabilizadora.
- Nivel normal: Nivel de Agua cuando el embalse está lleno.
- Nivel máximo: Nivel máximo de agua previsto en el diseño.
- Nivel mínimo de operación: Nivel más bajo hasta el cual puede descender el embalse y aun seguir prestando los servicios funcionales previstos.
- Nivel muerto: Nivel mínimo hasta donde puede vaciarse el embalse.
- Período de diseño: Tiempo en el que se estima que las estructuras alcanzarán su máxima capacidad; “vida útil” de diseño.
- Período de retorno: Término que se refiere al recíproco de la probabilidad ($Tr=1/P$) de que un evento sea igualado o superado en un año cualquiera.

- Presa: Estructura o conjunto de estructuras que se construyen sobre un río con objeto de regular su caudal o embalsar el agua para aprovecharla en distintos fines.
- Vaso: Depósito natural formado por la configuración topográfica de un sitio; generalmente, el término se refiere al que se forma al cerrar el paso a un río por medio de una presa.
- Tubería: Conducto fabricado de diferentes materiales, generalmente de sección circular; puede trabajar a presión o como canal.
- Tubificación: Fenómeno que se da en estratos de suelos finos en los que empiezan a formarse pequeños tubos debido a las fuerzas de filtración del agua que circula por ellos y que origina el movimiento de partículas de este.
- Túnel: Estructura excavada en el terreno, de sección cerrada, por la que se puede conducir agua, o alojar un camino, ferrocarril u otro conducto.

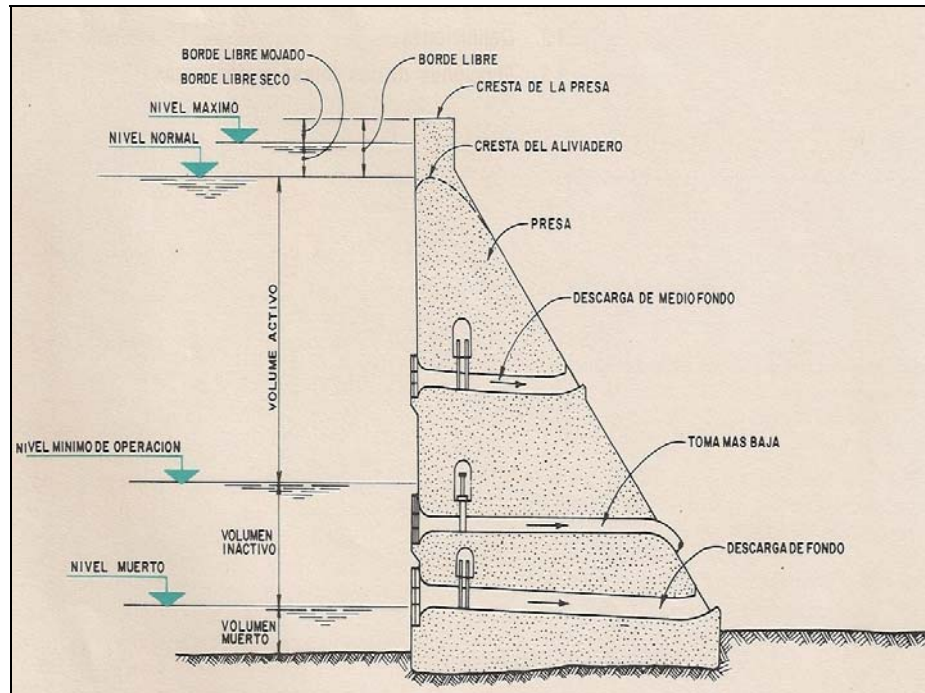


Figura 2.1 Definición de términos. Fuente: Ingeniería de Presas, p. 2, Suarez.

2.1. Funciones de las tomas y descargas

En 1982 Suarez señaló que la función principal de estas obras en las presas es la de permitir la extracción del agua embalsada para satisfacer los propósitos de la obra. De acuerdo a sus funciones se pueden clasificar las tomas y las descargas de la siguiente manera:

2.1.1. Generación de energía

La obra de toma se utiliza para conducir el agua hasta las turbinas de una central hidroeléctrica, donde se transforma la energía hidráulica en energía eléctrica

para el consumo residencial e industrial. Lo más recomendable es que la toma o conducción sean a presión.

2.1.2. Abastecimiento urbano

En este caso la toma capta agua del embalse para la conducción a una ciudad o centro poblado, donde esa agua es utilizada, generalmente previo tratamiento o depuración, para el abastecimiento de la población. En este caso la toma y conducción suele ser conductos a presión.

2.1.3. Riego

Estas tomas sirven para abastecer un sistema de riego. La conducción a la zona de regadío puede hacerse de varias maneras:

- Descargando agua del río, donde será tomada aguas abajo por una obra de captación, para ser llevada a la zona de riego.
- Mediante una turbina a presión que, con o sin bombeo, conduzca el agua al sistema de riego, el cual en este caso podría ser por aspersión.

2.1.4. Control de inundaciones

En este caso el embalse permanece vacío o con un nivel bajo durante la mayor parte del año. Para almacenar temporalmente los volúmenes de aguas que aportan las

crecientes en la épocas de lluvias. Esos volúmenes son descargados al río en forma controlada a través de las obras de descarga de las presas, de manera que no produzcan daños aguas abajo.

2.1.5. Mantenimiento de una corriente permanente en el río

Las obras de descargas se utiliza algunas veces para mantener un caudal en el cauce aguas abajo de la presa, y así lograr los siguientes objetivos:

- Mantener la vida silvestre (peces y otros animales).
- Controlar la contaminación, principalmente aguas debajo del embalse existen zonas pobladas que descargas sus aguas servidas al río. En estos casos se trata de mantener un caudal mínimo sanitario o de la dilución de los efluentes de la zona poblada.
- Control de la intrusión salina, cuando la presa está ubicada cerca de la desembocadura del río al mar. Manteniendo un cierto caudal en el río se impide la progresiva intrusión del agua salada en el acuífero de la zona de la desembocadura, lo cual puede afectar en ciertos casos extensas zonas agrícolas que podrían arruinarse salinización de sus suelos.
- Mantenimiento de una profundidad mínima en el río, aguas debajo de la presa para permitir la navegación fluvial.

2.1.6. Vaciado del embalse

Por diversas razones, tales como: necesidades de reparación, emergencia causada por falla parcial de la presa, estribos u otras obras anexas, filtraciones imprevistas, etc., puede ser necesario vaciar el embalse. Para ello es deseable, siempre que sea posible, contar con las obras de descargas que permitan efectuar esta operación.

2.1.7. Extracción de sedimentos

Las obras de descargas pueden cumplir en ciertos casos una labor de gran importancia en la prolongación de la vida útil de los embalses, ya que al ser diseñadas y operadas según ciertos criterios pueden permitir la expulsión de grandes cantidades de sedimentos que de otra forma se quedarían en el embalse.

2.1.8. Aliviadero

En algunos proyectos se utilizan las obras de descarga en lugar del aliviadero o en combinación con un vertedero de emergencia. En estos casos, el diseño debe permitir el cumplimiento de estas funciones junto con las propias de su carácter de obra de descarga para los fines ya mencionados.

2.2. Fundamentos teóricos y formulas empleadas

2.2.1. Obras de toma

Irwin (2002) sostiene que la Obra de Toma es la estructura hidráulica de mayor importancia de un sistema de aducción, que alimentará un sistema de generación de energía hidroeléctrica, riego, agua potable, etc. A partir de la obra de toma, se tomarán decisiones respecto a la disposición de los demás componentes de la Obra.

Los diferentes tipos de obras de toma han sido desarrollados sobre la base de estudios en modelos hidráulicos, principalmente en aquellos aplicados a cursos de agua con gran transporte de sedimentos.

En el caso de sistemas en cuencas de montaña, debido a las condiciones topográficas, las posibilidades de desarrollo de embalses son limitadas. Por tal motivo, es usual la derivación directa de los volúmenes de agua requeridos y conducirlos a través de canales, galerías y/o tuberías, para atender la demanda que se presenta en el sistema de recepción (agua potable, riego, energía, etc.).

Cada intervención sobre el recurso hídrico, origina alteraciones en el régimen de caudales, aguas abajo de la estructura de captación, por lo que su aplicación deberá considerar al mismo tiempo la satisfacción de la demanda definida por el proyecto y los impactos sobre sectores ubicados en niveles inferiores.

2.2.2. Tipos de obras de toma según Irwin (2002)

La obra de toma adquirirá una conformación según la naturaleza del recurso que se pretende utilizar. En general se pueden considerar tres tipos: recurso superficial, recurso subsuperficial y recurso subterráneo.

2.2.2.1. Obras de toma superficiales

La obra de toma superficial es el conjunto de estructuras que tiene por objeto desviar las aguas que escurren sobre la solera hacia el sistema de conducción.

Considerando al río como parte del sistema ecológico, la obra de toma se constituirá en un obstáculo para el libre escurrimiento del agua o en una intervención sobre un medio natural, que dará lugar a modificaciones del estado de equilibrio.

Para la toma, el curso natural es un medio que satisface las necesidades de agua del sistema receptor. El primer concepto se limita únicamente a la naturaleza y sus leyes, el segundo presenta al hombre y sus objetivos.

Esto significa, que la utilización del agua a través de la obra toma tendrá consecuencias sobre el curso natural en cuanto a su morfología, régimen de escurrimiento y sobre el área de influencia en cuanto al equilibrio de sus suelos, nivel de aguas subterráneas, etc.

Por lo tanto, es necesario tener conocimiento previo de las características y condiciones que ofrece el río o quebrada que se piensa aprovechar. El diseño de la obra de toma deberá ser realizado en asociación a las condiciones naturales

existentes, a los procesos que están en desarrollo y a los impactos posteriores que se generarán a consecuencia de la intervención.

2.2.2.2. Obras de toma de derivación directa

Estas formas de toma son de las más antiguas y cuyo concepto aún se mantienen en vigencia como alternativa primaria para el riego de parcelas aledañas al río o quebrada. El diseño más rudimentario consiste en una simple apertura en el curso natural, orientando el flujo hacia el sistema de conducción (normalmente un canal).

Para proteger la toma de caudales en exceso y materiales de arrastre durante crecidas, la toma se orienta aproximadamente de manera perpendicular a la dirección de flujo.

Las obras de tomas tradicionales que se utilizan para el riego de pequeñas parcelas, incorporan además bloques de piedra, alineados diagonalmente cubriendo en muchos casos toda la sección. En estos casos, la toma es ubicada frecuentemente utilizando los accidentes naturales del terreno de manera que pueda servir de ayuda frente a las crecidas. Por ejemplo, este podría ser ubicado detrás o debajo de un sector rocoso (peña).

En muchos casos las “obras complementarias” tienen carácter temporal, por cuanto su duración se limita a la época de estiaje; en la época de lluvias aquellas serán deterioradas o destruidas.

Cuando no es posible orientar la toma de manera aproximadamente perpendicular al flujo o cuando se requiere proteger la pequeña toma, se construye un

muro transversal sobre un sector de la sección del río inmediatamente aguas arriba de la toma. Las técnicas para lograr la derivación no se diferencian de gran manera en los casos de tomas para aducción de agua potable, para riego o energía hidráulica.

2.2.2.3. Obras de toma con canal de limpieza

En este caso se permite el ingreso de sedimento a la toma, el mismo que es evacuado posteriormente. La obra de toma se diseña de manera que se logre, a través de un sistema de limpieza, separar el sedimento del caudal líquido.

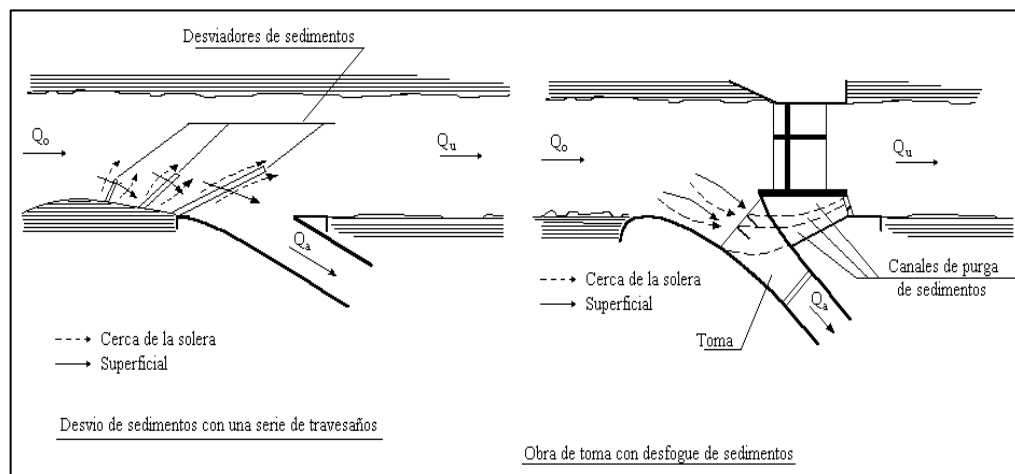


Figura 2.2. Obras de toma con desviadores y desfogue.

Una condición importante para el funcionamiento del sistema de limpieza es la diferencia de energía entre la entrada y la zona de evacuación del sedimento. Sobre esta base se deberá prever entre la entrada y la salida del material granular una zona de sedimentación temporal, la misma que deberá tener las condiciones suficientes para una rápida evacuación durante la limpieza.

los mismos. Los principios de este tipo de toma fueron desarrollados por ÇeÇen y Garbrecht , muchos de ellos fueron construidos en la República de Turquía.

2.2.2.5. Obras de toma en solera

2.2.2.5.1. Obra de toma tipo tirol

El principio de este tipo de obra de toma radica en lograr la captación en la zona inferior de escurrimiento. Las condiciones naturales de flujo serán modificadas por medio de una cámara transversal de captación.

Esta obra puede ser emplazada al mismo nivel de la solera a manera de un travesaño de fondo. Sobre la cámara de captación se emplazará una rejilla la misma que habilitará el ingreso de los caudales de captación y limitará el ingreso de sedimento. El material que logre ingresar a la cámara será posteriormente evacuado a través de una estructura de purga.

La obra de toma en solera se denomina también azud de solera u obra de toma tipo Tirolés y puede ser empleada en cursos de agua con fuerte pendiente y sedimento compuesto por material grueso.

Este tipo de obra de toma ofrece como ventajas, la menor magnitud de las obras civiles y ofrece menor obstáculo al escurrimiento. Por otro lado, no juega un papel fundamental la ubicación de la obra, tal como sucede en las obras de toma con azud derivador.

La hidráulica del sistema diferencia dos estados de flujo a saber:

- Flujo a través de las rejillas
- Flujo en la cámara de captación.
- El cálculo del caudal de captación del sistema comprende la definición del desarrollo del espejo de agua y la distribución de los caudales a lo largo de las rejillas.
- Para tal efecto se considera dos hipótesis:
- Nivel de energía constante = Línea de energía horizontal.
- Altura de energía constante = Línea de energía paralela a la superficie de la rejilla.

2.2.3. Medios de captación del agua embalsada

Según Echeverri (2001) sostiene que los primeros tipos de captaciones son utilizados principalmente en obras como hidroeléctricas o sistemas de riego, en los cuales, a diferencia de obras para abastecimiento humano, el agua no necesita ser captada con un alto nivel de calidad. También se cuenta con medios de captación selectivos con los cuales es posible captar el agua de mejor calidad para el consumo humano.

2.2.3.1. Túneles

Los túneles son utilizados en valles estrechos con ríos caudalosos, ya que resulta complicado desviar el río de su cauce dentro del mismo valle durante la construcción de la presa debido al poco espacio disponible. La solución en estos casos es construir un túnel a través de uno de los estribos y, una vez terminada la presa, éste pasa a cumplir funciones de toma permanente mediante la instalación de compuertas y equipos necesarios. Este sistema se usa generalmente en presas altas de tierra y roca, ya que resulta más económico que la construcción de un terraplén.

La principal diferencia entre un túnel y un conducto enterrado radica en las cargas que actúan sobre cada uno. En un conducto enterrado, a mayor altura de la presa, mayor será la carga que actúa sobre la estructura, mientras que en un túnel, la altura del material colocado encima de la estructura influye muy poco.

2.2.3.1.1. Selección del emplazamiento del túnel

Según Suarez (1982), La elección del estribo en el cual se va a construir el túnel depende principalmente de tres factores: geología, topografía y arquitectura hidráulica.

En el diseño de un túnel, un aspecto importante a considerar es la geología del sitio que atraviesa su alineamiento. El costo será función del tipo de roca que se encuentra en excavación.

No suele importar en la mayoría de los casos hacer un túnel algo más largo si se tiene la certeza de que quedara en roca de calidad superior a otra ubicación para la cual resulte más corta; la diferencia en costo de excavación compensa en general la

mayor longitud. Un aspecto importante es la elección de los sitios donde quedarán ubicados los portales de entrada y salida. En las inmediaciones de los portales se tendrán los mínimos recubrimientos o techo de roca sobre el túnel. Si la roca en esta zona no es competente, se podrá tener una carga similar a la de un conducto enterrado, es decir, el peso total de la masa de roca ubicada sobre el túnel.

Se puede afrontar esta situación de dos maneras distintas:

Existe una regla práctica, sacada de la experiencia la cual establece que es necesario tener un techo mínimo de 3 diámetros para asegurarse de que la excavación se comporte estructuralmente como túnel y no como conducto enterrado.

La otra solución es una excavación a cielo abierto. Cuando se utiliza esta solución se debe tener en cuenta que al ejecutar la excavación del portal se puede desestabilizar el talud, y para evitar el derrumbe puede ser necesario la construcción de una pantalla con anclajes, cuyo costos superan el del túnel calculado como conducto enterrado.

2.2.3.1.2. Construcción de túneles

La Excavación según Suarez (1982). Existen diferentes técnicas para excavar túneles:

Para cambios bruscos de temperatura: un método muy utilizado en la antigüedad, consiste en hacer una hoguera junto al frente de avance para calentar la roca a altas temperatura y luego se procedería a lanzar agua fría contra el frente, de esta manera la roca se agrietaba y es excavada manualmente.

Por perforación y voladura: se conoce como el método convencional. Mediante barreros neumáticos se perfora una serie de orificios en el frente de ataque del túnel. Estos orificios cambian de diámetro y separación de acuerdo al tipo de roca y las dimensiones de la sección del túnel. Una vez terminadas las perforaciones se coloca dinamita en los huecos y se detonan en forma defesada, primero la centrales y luego la periferias.

Perforación a sección completa: Las máquinas de excavación de túneles comenzaron a ser utilizadas en los años 60. Estas máquinas consisten en un disco giratorio del mismo diámetro de túnel, en el cual se encuentran unos salientes abrasivos de gran dureza, el disco al girar ejerce presión en la roca del frente de la excavación. La máquina gira a unas 10 revoluciones por minuto automáticamente va expulsando hacia atrás el material que va desgarrando, el cual es recogido en forma continua por correas transportadoras que, lo van sacan del túnel directamente.

Excavación con rozadoras: La máquina rozadora consiste en brazo hidráulico articulado que tiene en su extremo dos ruedas paralelas con salientes abrasivos que giran impulsada por un accionamiento electromecánica.

Técnicas futuras algunas de estas pueden ser: métodos térmicos (consiste en lanzar llamas a altas temperaturas contra el frente del túnel hasta fundirlo), y los rayos laser.

2.2.3.2. Conductos a través de presas de tierra

Según Echeverri (2001) se utiliza este tipo de captaciones cuando se tiene alguna de las siguientes situaciones:

- Condición geológica de los estribos no apropiada para hacer un túnel.
- El diámetro necesario hidráulicamente es más pequeño que el mínimo requerido constructivamente para hacer un túnel.
- El conducto enterrado resulta más económico que el túnel.
- El tiempo disponible para la construcción de la obra es limitado.

2.2.3.2.1. Las Causas de falla más frecuentes en este tipo de estructuras según Suarez (1982)

- Agrietamiento o colapso de la estructura causado por las cargas exteriores o asentamientos excesivos.
- Agrietamiento o fractura de la estructura por efectos de la presión interior.
- Tubificación entre el terraplén y el exterior del ducto. Se puede dar por una compactación deficiente o por la formación de grietas causadas por asentamientos diferenciales. Una de las ventajas que presentan los túneles es que si falla la estructura no necesariamente falla la presa, mientras que en este tipo de estructuras en presas de tierra se dan las dos fallas simultáneamente.

2.2.3.2.2. Cargas para el diseño estructural son

- Las cargas verticales del terraplén

- Las laterales del terraplén.
- Reacción de la fundación (la cual será igual a la carga vertical del terraplén más el peso del conducto).
- Cargas del agua exterior (la presión hidrostática que se produce en exterior del conducto).
- Cargas del agua del interior.

2.2.3.3. Conductos a través de presas de concreto

Según Echeverri (2001), Son mucho más simples y fáciles de construir que los dos anteriores. Usualmente se emplean tuberías de acero con anillos o anclajes para garantizar su unión al concreto. La tubería de acero evita que se transmitan las presiones del agua al concreto, especialmente cuando la válvula de regulación está ubicada en el extremo de aguas abajo. Se debe tener especial cuidado de limpiar bien la superficie de la tubería para así garantizar la unión acero – concreto.

2.2.3.4. Canales a través de las presas

Se utilizan en presas de pequeña altura, principalmente en obras de derivación. La obra de captación consiste en dejar un canal a través del cuerpo de la presa y regular el caudal mediante compuertas radiales o planas. Este sistema presenta la ventaja de que la estructura de toma puede construirse antes de la presa y utilizarse

para desviar el río a través de ella durante su construcción. Además, en una misma estructura pueden combinarse las obras de toma y aliviadero, lo que disminuye los costos notoriamente.

2.2.3.5. Bombeo sobre presas

Según Echeverri (2001), este tipo de estructuras se utiliza en casos en los que se desea enviar el agua a una cota superior a la del embalse. En abastecimiento de poblaciones puede ser necesario bombear aunque la presa esté ubicada en una cota inferior a la del embalse. Esto con el fin de compensar pérdidas y proporcionar una presión residual suficiente. En tomas para abastecimiento urbano se requiere de un diseño especial de las estructuras. Se debe asegurar que la población pueda consumir el agua sin problemas para la salud, lo cual se logra mediante su tratamiento en plantas de depuración. La calidad del agua tomada en el embalse influye notoriamente en los costos de tratamiento. Son múltiples los factores por los cuales se puede ver afectada el agua en un embalse: desarrollo de organismos en el embalse, penetración de la luz en el agua, elementos químicos presentes en el agua, forma del embalse, fluctuaciones del nivel del agua embalsada, entre otros. Estos factores son dinámicos, es decir, cambian con el tiempo y existen profundidades en un embalse, a las cuales es posible captar el agua de mejor calidad durante cierto periodo de tiempo. Para esto se emplean las tomas selectivas, que son tomas con dispositivos de entrada a varios niveles que permiten la captación a la profundidad más adecuada.

2.2.3.6. Torres de captación (toma selectiva)

Son estructuras esbeltas de concreto armado, con compuertas ubicadas a distintas profundidades. La sección generalmente es circular, ya que presenta mejor comportamiento estructural ante sismos y presiones hidrostáticas.

Sus compuertas son ubicadas en espiral alrededor de la misma. Las compuertas o válvulas son operadas mediante vástagos cuyos mecanismos se controlan desde una plataforma superior.

2.2.3.7. Tomas inclinadas (toma selectiva)

Se utilizan cuando las presas están ubicadas en zonas montañosas de fuertes pendientes, o en cañones escarpados de roca sólida, estables y de buena calidad. La ventaja de este tipo de estructuras es que se encuentran prácticamente libres de los efectos de sismos por carácter de esbeltez.

2.2.3.8. Toma obhidra (toma selectiva)

Este sistema novedoso fue creado en Venezuela y consiste en una estructura flexible, formada por una especie de manguera, unida en su extremo inferior al túnel o conducto de toma y en el extremo aguas arriba a un cable o cadena que permite subir o bajar la boca de la manguera desde una balsa flotante en la superficie del embalse.

2.2.4. Diseño de las obras de toma de acuerdo al tipo de presa según Torres (1981)

2.2.4.1. Obra de toma a través de cortina de concreto

Cuando las obras de las tomas se instalan cruzando cortinas de concreto los conductos comúnmente se colocan atravesando la sección de concreto, a lo largo de las líneas horizontales o con pendiente hacia aguas abajo, con el objeto de que en ningún caso de la línea de gradiente hidráulico interprete dicho conducto.

La posición de la línea de presiones se debe investigar para el fluido máximo y para las condiciones de golpe de ariete negativa.

Las descargas directas al río se pueden localizar en las descargas de los vectores o muy cerca de ellos. Las obras de toma con descargas directas a los sistemas de conducción se deben localizar de manera que cumpla satisfactoriamente con esta condición. Asimismo, tanto el número de conducto y sus dimensiones como otros detalles de las obras de tomas se deben planear en tal forma que los gastos requeridos se pueden extraer para cualesquiera elevaciones en el embalse y en la descarga.

Los conductos a través del cuerpo de una cortina de concreto generalmente son de forma circular, aun cuando se pueden requerir secciones rectangulares para la instalación de ciertos tipos de válvulas o compuertas. En estos casos se deberá prever la ejecución de transiciones.

Los conductos para bajas descargas se pueden construir simplemente con un hueco en el concreto; para altas cargas por lo general se requiere el revestimiento con las placas de acero en toda su longitud. En todos los casos se deben investigar los

efectos de concentración de esfuerzos, para diseñar el refuerzo de acuerdo en el concreto.

En la gran mayoría de los casos las descargas de las obras de toma se localizan en la zona no vertedora de las cortinas, por lo necesario prever algún dispositivo para disipar la energía cinética del agua, antes de regresar el agua al río o a los canales de conducción.

En los casos de que el sistema de conducción sea una tubería forzada, no será necesario este último dispositivo.

2.2.4.2. Obras de toma a través de cortina de tierra o de tierra y enrocamiento: según Torres (1981)

Las obras de toma con conductos de concreto a través de cortinas de tierra o tierra y enrocamiento se deben construir en la superficie de desplante, en roca firme, en trincheras excavada en terreno firme. Ninguna parte de las obras de toma se deberá cimentar arriba de la superficie de desplante, sobre relleno, donde pueden dañar los asentamientos diferenciales.

En cortinas altas es conveniente que los conductos de las tomas queden cimentados en rocas firmes; y en las cortinas bajas solo se deben aceptar cimentaciones en terrenos suaves, cuando se considere adecuado después de la investigación de resistencia correspondiente.

En presas de mucha altura con cortinas de tierra o de tierra y enrocamiento es frecuente que las compuertas a válvulas de emergencias queden localizadas en cámara o tiros verticales que coincidan en el eje de la cortina, para eliminar la

necesidad de construir torres de toma muy alta, al pie del talud de aguas arriba, así como puentes de acceso a la sala de control de los mecanismos.

Los tramos de conductos que queden aguas arriba de la cámara o los tiros verticales deberán siempre conducir el agua con la presión interna provocada por las cargas del embalse, con el objeto de evitar que la variación en dicha presión haga variar al diámetro del conducto y, por consiguiente, favorezcan la formación de tubificaciones a lo largo del contacto entre superficies exteriores del conducto y en el terraplén. Hacia aguas debajo de la cámara de válvulas las descargas se pueden efectuar a través de las tuberías a presión, dentro del conducto del concreto o libremente para que el conducto trabaje como canal abierto. En ambos casos la válvula o compuertas de regulación se instalan en el lado de las aguas debajo de las de emergencia, pueden haber necesidad de prever la construcción de dispositivos de disipación de energía en el extremo de salida.

En el primer caso, de descarga a través de tuberías a presión, se debe prever los accesos para inspección y mantenimiento. La forma de la sección de los conductos puede ser circular o de herradura; la circular es preferible para la sección bajo presión, en el lado de las aguas arriba de la cámara. En el cambio, la sección herradura puede resultar más conveniente para el lado de aguas debajo de dicha cámara.

Todos los conductos se deben diseñar y reforzar para soportar, sin agrietamientos las cargas del terraplén de la cortina. En ningún caso de deben permitir filtraciones a los conductos hacia el terraplén. Por otra parte hay que diseñar collares en la superficie exteriores de los conductos para prevenir filtraciones peligrosas en el contacto concreto-tierra que puedan favorecer la formación de tubificaciones.

Estos collares pueden ser de 0.30m a 0.50m de espesor, penetrando de 0.50m a 1.50m en el terraplén, espaciados de 6m a 12m.

En presas de pequeña altura con frecuencia se instalan las compuertas de emergencia y servicios en una estructura en torre, aguas arriba del cuerpo de la cortina, habiendo necesidad de un puente acceso y haciendo trabajar el conducto como canal abierto.

2.2.5. Obras de control y excedencias

Para Gómez (2002) las obras de control y excedencia son estructuras que forman parte de una presa, ya sea de almacenamiento o derivación y cuya función es la de permitir la salida de los volúmenes de agua excedentes a los de aprovechamiento.

Lo anterior establece de manera tácita la condición de que previamente se haya satisfecho la capacidad de aprovechamiento de la presa, o sea que el embalse se encuentre lleno hasta su nivel de conservación o máximo de operación antes de que se inicien los desfuegos por la obra de excedencias.

Las obras de excedencia deben ser concebidas como verdaderas válvulas de seguridad de las presas. Ha habido muchas fallas de presas debido a insuficiente capacidad de descarga o defectos en el diseño de la propia obra. La capacidad de una obra de excedencia la determinan la avenida de diseño, las características del embalse y el programa de operación de la propia obra.

En general, el ingeniero proyectista debe ser sumamente cauteloso al evaluar la seguridad de una obra de excedencia en una presa de tierra o de tierra y roca debido a

que si por una operación defectuosa o por la presencia de una avenida mayor a la supuesta el nivel del agua sobrepasa la elevación de la corona de la cortina puede haber graves consecuencias tanto para la presa como para la vida y bienes materiales localizados aguas abajo de la misma; no así en presas de concreto en donde las consecuencias de tales condiciones pueden ser menores.

Además de tener suficiente capacidad, la obra de excedencias debe ser hidráulica y estructuralmente adecuada y con las descargas localizadas de manera que no erosionen el pie de la cortina u otras estructuras existentes aguas abajo.

Los materiales que formen los revestimientos de la estructura deben ser resistentes a la erosión y tener un acabado liso, con el fin de que sean capaces de resistir las altas velocidades que frecuentemente se presentan en ellas, así como para evitar fenómenos de cavitación y presiones diferenciales en las caras del revestimiento.

Cuando sea necesario deberá prever la construcción de algún dispositivo para disipar la energía cinética del agua en el extremo inferior de la descarga.

Otro aspecto importante es que se debe considerar en el diseño de una obra de excedencias es la frecuencia con que funcione, es decir el número de veces por año que vaya a trabajar. Se puede afirmar que en general el incremento en costo de una obra de excedencias no es directamente proporcional al incremento de capacidad de descarga, por lo que con frecuencia el costo de una obra de excedencia muy amplia será solo moderadamente mayor a la de otra con una capacidad reducida. Esta es la razón para proyectar obras con descarga amplia.

2.2.6. Tipos de obra de excedencia según Gómez (2002) son:

2.2.6.1. Vertederos de caída libre

Están asociados a presas de arco o de contrafuertes donde el espesor del concreto y la geometría general no sean favorables para guiar la vena líquida desde la cresta hasta la parte inferior; si la roca de cimentación es resistente a la erosión, el agua se puede dejar caer libremente sin protección; pero en caso contrario se debe prever alguna estructura para disipar energía cinética del agua y amortiguar el impacto.

2.2.6.2. Vertederos con caída en rápido

Se localizan en una sección reducida de la presa de tipo gravedad, sobre la cual se permite el paso del flujo del agua. La cresta se forma para ajustarse a la vena líquida en las condiciones de descarga máxima. Si la roca de cimentación es compacta y de buena calidad, la parte inferior de la descarga se puede diseñar como un deflector o un salto de esquí; si la cimentación es erosionable se requerirá de la construcción de un tanque disipador de energía.

2.2.6.3. Vertederos con tiro vertical

Tienen una entrada de embudo que conecta a un túnel en cuyo extremo inferior puede existir un deflector o una estructura disipadora de energía. Esta forma de vertederos se adapta a presas de embalses muy encañonados, gastos relativamente

pequeños y en el que el agua que fluya a través de ellos esté libre de objetos que pueda obstruirlos.

2.2.6.4. Vertederos con descarga directa en canal

Están asociados a presas de tierra, enrocado o concreto cuando por alguna razón no conviene que sean vertedoras. Se considera buena práctica de ingeniería no ubicar este tipo de vertederos sobre presas de tierra o tierra enrocado debido a que estas estructuras están sometidas a algún grado de asentamientos después de terminada la construcción; tales asentamientos podrían provocar movimientos verticales y agrietamientos en el canal de descarga del vertedor.

El agua que fluye en dichas descargas puede adquirir velocidades del orden de 40 o 50 m/s dependiendo del desnivel, la pendiente y la rugosidad del canal.

Con estas velocidades, cualquier desalineamiento de los planos de revestimiento puede provocar muy altas presiones hidrostática en la cara inferior de la losa y levantarla, trayendo como consecuencia el fracaso de la estructura y de la misma presa.

2.2.6.5. Vertedero con canal lateral

Estos vertederos tienen la particularidad de que el eje del canal de descarga es paralelo o casi paralelo al eje de la sección vertedora, la cual a su vez es paralela o casi paralela al eje de la corriente.

Los elementos que lo conforman se pueden mencionar como sigue: acceso, sección de control, canal colector, canal de descarga y deflector o estructura

disipadora de energía. Generalmente están asociados a presas de tierra o tierra enrocada construidas en ríos encañonados y con grandes avenidas, o donde se requieren grandes longitudes de cresta.

2.2.6.6. Descarga de los vertederos

Excepto para los vertederos con descarga en tiro vertical, el que se puede ahogar en ciertas condiciones de trabajo, la descarga de los vertederos de excedencias se efectúa en conductos abiertos, ya sea en canal o en túnel.

En vertederos con descarga directa con frecuencia la longitud de la cresta vertedora tiene la misma longitud que el ancho de descarga y del tanque amortiguador en el extremo inferior.

La longitud de la cresta se determina en función de la operación del embalse, el costo de la cortina y de si se instalaran o no compuertas en la cresta. El ancho del tanque amortiguador se relaciona con los niveles de aguas abajo de la descarga.

Y el ancho del canal puede depender de las condiciones topográficas y de la economía.

Si por las condiciones anotadas anteriormente, no son iguales la longitud de la cresta, el ancho del canal y del tanque amortiguador, se debe tener cuidado de que las transiciones se hagan gradualmente, debido a que se pueden desarrollar ondas estacionarias indeseables o incluso brincar el agua fuera de los muros guía laterales.

2.2.6.7. Orificios

Según Azevedo y Acosta (1996) los Orificios son perforaciones, generalmente de forma geométrica y perímetro cerrado, hechos por debajo de la superficie libre del líquido, en las paredes de los depósitos, tanques, canales o tuberías. Las aberturas hechas hasta la superficie libre del líquido constituyen los vertederos como se muestra en la siguiente figura.

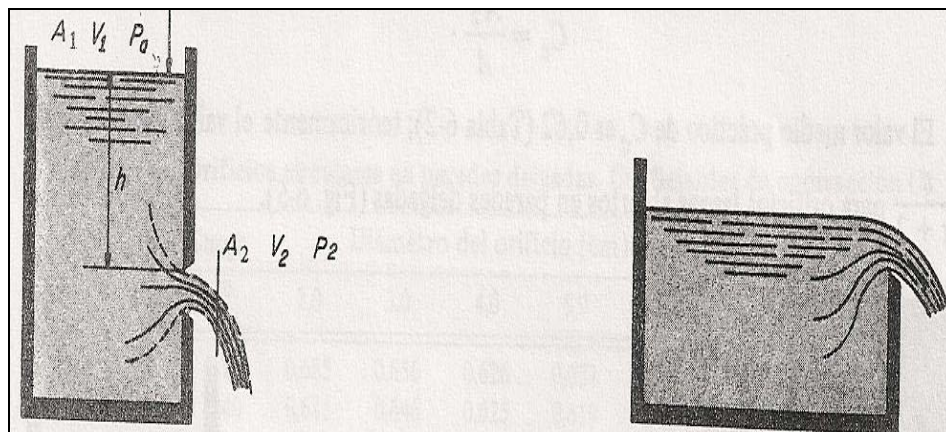


Figura 2.4. Orificio y Vertedero respectivamente. Fuente: Manual de Hidráulica, p. 51, Azevedo y Acosta.

2.2.7. Sedimentos y su influencia en el diseño de tomas y descargas

Según Suarez (1982) las corrientes de aguas naturales transportan materiales sólido por diferentes mecanismos:

- Transporte en solución. Al escurrir por la superficie de la cuenca e infiltrarse en diversas formaciones del suelo y rocas las aguas de lluvias va

disolviendo minerales tales como sal común, carbonato de calcio, yeso, etc., que luego transporta en solución a lo largo del río.

- Transporte en suspensión. Las partículas más finas de los suelos (arcillas, limos y arenas) son transportadas en suspensión por las corrientes fluviales. La tendencia de estos materiales a sedimentar es contrarrestada por la turbulencia, cuyos componentes verticales dirigidos hacia arriba son capaces de vencer el peso sumergido de los sedimentos más finos arrancados a la cuenca y mantenerlo en suspensión. De esta forma los materiales son transportados por los ríos en un estado de agitación permanente.
- Arrastre de fondo. Las partículas de mayor tamaño (arena gruesa, canto rodado, grava, peñones) son transportados como arrastre de fondo. La turbulencia no posee la energía suficiente para mantener esas partículas en suspensión, pero la fuerza cortante del flujo en el fondo es capaz de mover las partículas, haciéndola rodar y saltar unas sobre otras, especialmente durante las crecientes.

2.2.7.1. Determinación del nivel muerto

Enfrentar el problema de los sedimentos ha sido y es muy utilizada en los Estados Unidos y América Latina. En Venezuela se emplea casi en forma exclusiva en la mayoría de los embalses construidos hasta el presente.

El método consiste en estimar el volumen medio anual de sedimentos que transporta el río. Esto se hace normalmente mediante mediciones durante un cierto número de años.

Conocido este volumen medio anual se fija lo que se ha denominado la vida útil del embalse, es decir, el periodo de tiempo durante el cual la obra prestara sus servicios, considerándose que una vez terminada la vida útil el embalse dejara de operar, debiendo ser remplazado por otro.

Multiplicando el número de años de la vida útil por el volumen medio anual de sedimentos que transporta el rio se obtiene el volumen total que ocuparan los sedimentos en el embalse al final de la vida útil. Este volumen se suma al volumen de agua que es necesario almacenar para satisfacer la demanda del proyecto, obteniéndose así la capacidad total del embalse.

Se procede entonces a estimar la forma en que se distribuirán los sedimentos en el embalse, colocándose las tomas de agua por encima del nivel que alcanzaran los sedimentos en la presa, el cual se denomina el nivel muerto.

Cuando los sedimentos hayan alcanzado el nivel de las tomas y comiencen a entrar en ellas, además de la reducción del volumen de agua disponible, el cual no será suficiente para satisfacer la demanda, se tendrá que la calidad del agua que se capte se irá deteriorando por la presencia del sedimento, por lo cual se considera que el embalse ya no opera en las condiciones para las cuales fue diseñado, habiendo terminado su vida útil.

2.2.7.2. Algunos diseños de tomas relativos al nivel muerto

Algunas soluciones que se han adoptado en el diseño de tomas para resolver el problema de fijar el nivel muerto en el embalse se presentan a continuación. La solución más simple consiste en ubicar la entrada del túnel o conducto de toma a la

cota que alcanza al nivel muerto. En las presa de concreto esto suele hacerse colocando los conductos de toma a través del cuerpo de la presa.

Cuando el conducto o túnel de toma se utiliza en primera etapa para desviar el rio durante la construcción de la presa y el nivel muerto es relativamente elevado respecto al lecho del rio, la solución anterior no es práctica, pues al estar la toma más alta que el cauce sería necesario elevar el agua hasta su entrada. Esto puede hacerse por bombeo o construyendo una ataguía suficientemente alta. Ambas soluciones son complicadas y costosas.

Durante la construcción de la presa se desvía el rio a través del conducto colocado a ras de fondo. Una vez construida la presa se coloca una compuerta en la entrada del desvío y se vacía un tapón de concreto, con lo que el conducto del desvío queda clausurado definitivamente.

El agua es obligada a entrar a través de la rejilla ubicada sobre el nivel muerto. Este diseño es utilizado en embalses de riego, los cuales normalmente tienen una toma única, ya que la calidad del agua (a diferentes niveles) no es tan importante como en el caso del abastecimiento urbano. En estos últimos casos se utilizan torres-tomas con compuertas a diferentes niveles, en la base de estas torres se dejan aberturas durante el desvío que posteriormente se taponan con concreto.

Cuando no se conoce bien el volumen de sedimento o se desea aprovechar el máximo el volumen de agua almacenado, sobre todo durante los primeros años de operación del embalse es posible tener un nivel muerto variable, el cual se va subiendo a medida que la deposición de sedimentos aumenta con los años.

A tal efecto se diseña una toma con guía o ranuras en las cuales inicialmente se colocan rejillas y esta van siendo sustituidas paulatinamente por elementos

prefabricados de concreto para evitar la entra de sedimentos en la toma. La toma selectiva tipo obhidra, constituye una solución al fijar al nivel muerto ya que permite captar agua a cualquier profundidad en el embalse. Una solución muy conveniente en algunos casos es instalar una toma de este tipo en la entrada del túnel o conducto de desviación a fin de transformarlo en obra de captación a cualquier nivel que se desee.

2.2.7.3. Las descargas de fondo en los embalses

Suarez (1982) señalo, La finalidad principal de la descarga de fondo es evacuar del embalse la mayor cantidad de sedimento que sea posible, de esta forma se logra aumentar la vida útil y disminuir el nivel muerto, pudiéndose colocar las tomas a una cota más baja con lo que se puede aprovechar un mayor volumen útil del embalse.

Las descargas de fondo han sido ideadas tomando principalmente en cuenta las existencias de las corrientes de densidad que se forman en el embalse. Cuando estas corriente que se desplazan por el fondo del embalse alcanzan la presa al no encontrar salida comienzan a sedimentar toda su carga de materiales sólidos, por efecto de remanso que produce la presa sobre estas corrientes la sedimentación no solo ocurre al pie de la presa, sino también en una cierta extensión aguas arribas de la misma.

En la mayor parte de los ríos sobre los que se han construido embalse suele existir una mayor proporción de sedimentos finos transportados en suspensión, que de materiales gruesos arrastrados por el fondo. Son estos sedimentos finos los que forman las corrientes de densidad en los embalse y, por lo tanto, son los que tienen más posibilidades de ser succionados fuera del embalse a través de las descargas de fondo.

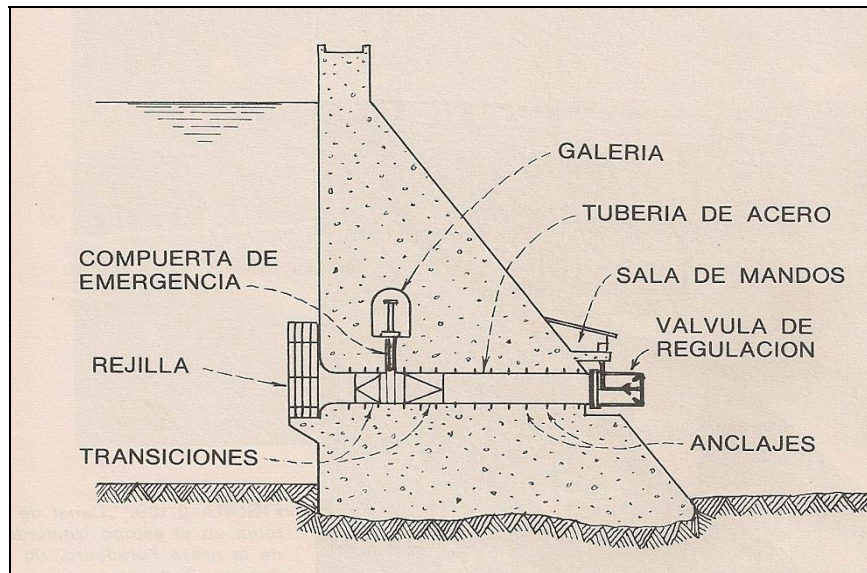


Figura 2.5. Conductos de descarga a través de una presa de concreto. Fuente: Ingeniería de Presas, p. 63, Suarez.

2.2.7.4. Técnicas para la extracción de sedimentos en los embalses

2.2.7.4.1. El Método español

Es el método más antiguo contra la sedimentación en los embalses. Consiste esta técnica en vaciar totalmente el embalse, en épocas en las cuales se pueden tolerar interrupciones en el servicio, y permitir que se produzca erosión de sedimento depositado al pasar la corriente fluvial sobre este.

Con respecto a las técnicas de extracción de sedimentos, L.M. SUAREZ VILLAR (1982), expreso:

En Venezuela se aplica el método Español en la presa Atarigua, Estado Lara, que termino recientemente sobre el rio Tocuyo, el cual registra una de las concentraciones de sedimentos más altas del país. Los arrastres del rio están constituidos principalmente por limos, y se estima que en un periodo el rio transporta en el sitio de presa 2.6×10^6 tom/año de materiales en suspensión. El arrastre de fondo es un 10 por 100 en ese valor (p. 299).

2.2.7.4.2. Método de las ondas de expulsión o crecientes artificiales

Este método es en realidad una modificación del español. La técnica consiste en construir una presa pequeña inmediatamente aguas arriba del embalse principal, el cual se intenta proteger de la sedimentación. A esta presa de poca capacidad, se le instalan grandes compuertas de abertura rápida.

2.2.7.4.3. Método de captación de las corrientes de densidad

Cuando las corrientes de densidad se desplazan en el fondo de los embalses alcanzan la presa, el flujo se detiene y comienza el proceso de sedimentación. La idea de la técnica consiste en evitar, en la medida posible, que los materiales transportados por las corrientes se sedimenten cuando el flujo de dichas corrientes es detenido por la presa.

2.2.8. Hidráulica de las obras de tomas y descargas según Suarez (1982)

2.2.8.1. Flujo con superficie libre

Puede presentarse este flujo especialmente en la desviación del río para la construcción de la presa, también cuando la desviación se hace mediante un canal abierto lateral a la presa, cuando los caudales son relativamente pequeños y no llegan a ocupar la sección total del túnel o conducto.

En las obras de toma y descarga de fondo es poca frecuente el funcionamiento como canal. Este caso puede presentarse aguas abajo de las compuertas de regulación del caudal cuando se descarga en un canal o conducto que funcione parcialmente lleno.

En el caso más general es que en la curva de descarga de un conducto, la parte que representa el funcionamiento como canal suele despreciarse y sólo se trabaja con la curva de funcionamiento a presión, pero en definitiva esto dependerá de las características de cada caso. Cuando el canal es relativamente largo y pueden despreciarse los efectos del flujo variado en la entrada y salida. La ecuación de Manning permite calcular el caudal en régimen uniforme.

2.2.8.2. El flujo a presión

Es el que predomina en el funcionamiento de las tomas y descargas de fondo. Para el cálculo de la obra de toma y descarga se utiliza la ecuación de Bernoulli, o ecuación de la energía.

2.2.8.3. Circulación libre en la obra de toma

Según Pereira (1985), La circulación de un canal abierto de las obras de toma será semejante al de un canal abierto de los aliviaderos. Cuando se usan como compuerta deslizante, las descargas por el control con las compuertas totalmente levantadas serán las correspondientes a la circulación libre por un vertedero.

Cuando el gasto de un canal abierto está controlado por una compuerta de superficie parcialmente abierta, por compuertas radiales con empaque en el borde superior o compuertas deslizantes parcialmente sumergidas la descarga será la de un orificio.

En el caso en los que aguas abajo del control el tirante del agua sea grande debido al nivel del agua en el canal o en las condiciones que impedirán en lecho de la corriente, las aberturas de control pueden quedar parcial o completamente sumergido.

2.2.8.4. Flujo en conducto cerrado

Un conducto cerrado puede trabajar como un conducto parcialmente lleno o como un conducto a presión.

2.2.8.5. Conducto parcialmente lleno

El Análisis hidráulico del flujo en conductos cerrados o parcialmente lleno se asemeja al de los canales abiertos y son aplicable todas las formulas aplicadas para ellas. Para facilitar los cálculos existen tablas donde aparecen las propiedades hidráulicas para diferentes tirantes en conductos circulares o de sección en herradura.

Estas tablas permiten determinar las alturas críticas, velocidades críticas y las presiones hidrostáticas del prisma del agua de la sección transversal para diversos caudales y diámetros del conducto que permitan aplicar las formulas de canales abierto con mayor facilidad.

2.2.9. Formulas empleadas

Ecuación de Mannign: Según Suarez (1982), utilizada para el cálculo en flujo libre

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad [2.1]$$

Q= Caudal (m³/seg).

A= Área mojada (m²).

S= Pendiente del fondo del canal.

R= Radio hidráulico (m).

n= Coeficiente de rugosidad de la superficie del canal (seg/m^{1/3}).

Ecuación de Bernoulli: Según Suarez (1982), utilizada tanto para el flujo libre como para el flujo forzado.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_{1-2} \quad [2.2]$$

Z = Cota de punto considerado (m) (energía potencial).

P = Presión (kgf).

γ = Peso específica del fluido (kg/m^3).

$\sum h_{1-2}$ = Suma de todas las pérdidas de energía entre 1 y 2 (m).

Pérdida de Energía utilizada para flujo libre y forzado

$$h_{1-2} = h_r + h_e + h_G + h_c + h_v + h_f + \dots \quad [2.3]$$

h_r = Pérdidas por rejilla (m).

h_e = Pérdidas por entrada (m).

h_{ct} = Pérdidas por contracción (m).

h_G = Pérdidas por compuerta (m).

h_f = Pérdidas por fricción (m).

h_c = Pérdidas por codo (m).

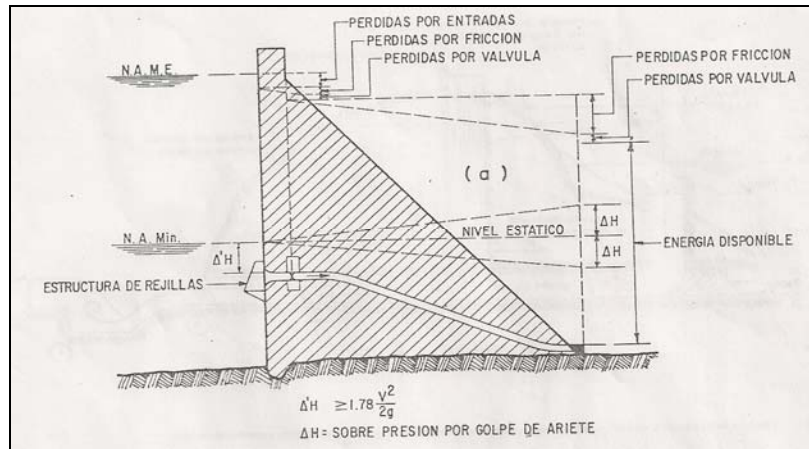


Figura 2.6. Perdidas en una obra de toma con tubería a presión a través de una cortina de concreto. Fuente: Obras Hidráulicas, p. 87. Torres.

Tabla 2.1. Valores del coeficientes n de Manning. Fuente: Ingeniería de Presas, p. 71, Suarez

Características del contorno del canal	Valores de n
Acero soldado	0.012
Acero remachado	0.016
Metal corrugado	0.025
Concreto encofrado o alisado	0.014
Concreto proyectado o gunita en superficie ondulada	0.022
Mampostería rellena con cemento	0.028
Canales excavado en tierra, rectos y uniformes	0.020
Canales en cantos rodados y peñones	0.035
Canales excavados en rocas	0.037

Las pérdidas de Carga en Rejillas se pueden calcular con la siguiente expresión según torres (1981):

$$h_r = \beta \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V_1^2}{2 * g} \quad * \operatorname{sen} \alpha \quad [2.4]$$

h_r = Pérdidas por rejilla (m).

β = coeficiente para diferentes tipos de rejillas.

S = Espesor de las soleras (m).

b = Separación entre soleras (m).

V_1 = Velocidad del agua frente a la rejilla (m/seg).

α = Angulo que forma la dirección del flujo con la rejilla.

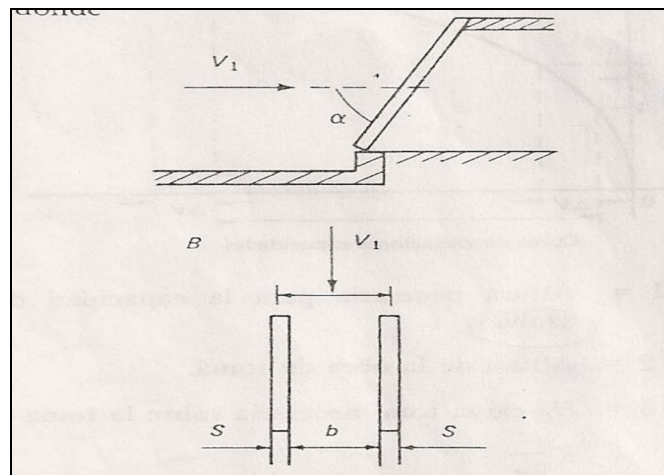


Figura 2.7. Rejillas. Fuente: Obras Hidráulica, p. 91, Torres.

Perdidas en las Entradas: Según Suarez (1982)

$$h_e = K_e \frac{V^2}{2g} \quad [2.5]$$

h_e = Perdida de Carga en la entrada (m).

K_e = Coeficiente de la geometría de perdidas.

V = Velocidad del flujo aguas debajo de la entrada (en el conducto) (m/seg).

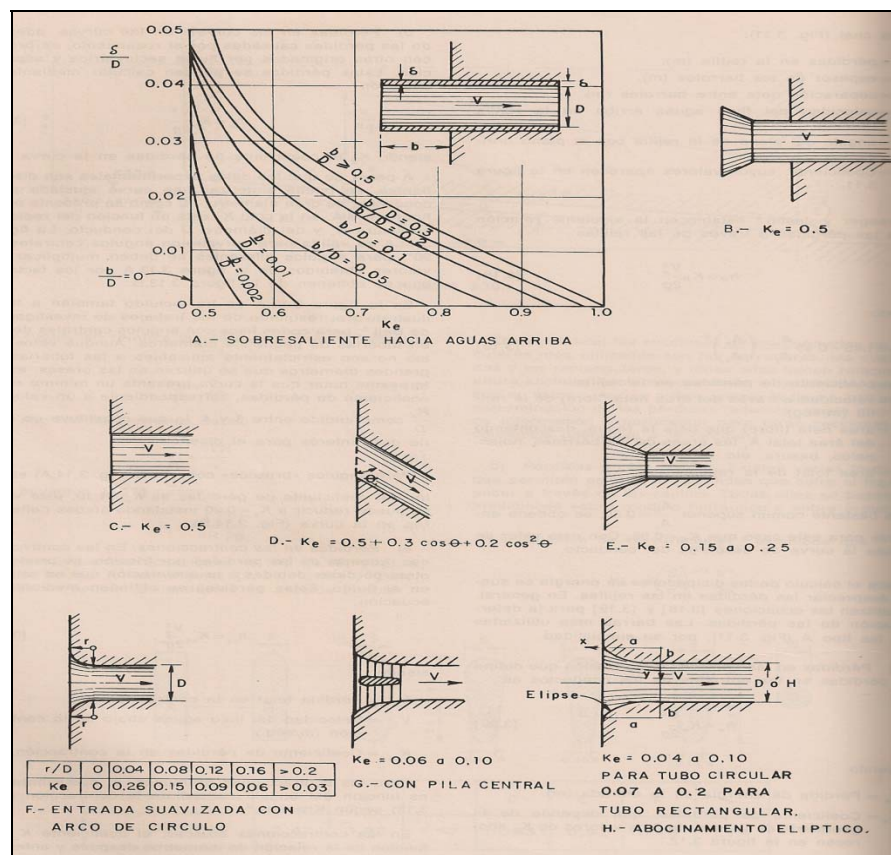


Figura 2.8. Valores del coeficiente K_e para diferentes casos. Fuente: Ingeniería de Presas, p. 86, Suarez.

Perdidas en las Curvas: Según Suarez (1982)

$$h_c = k_c \frac{V^2}{2g} \quad [2.6]$$

K_c = Coeficiente de pérdidas en la curva.

V = Velocidad del flujo en la curva (m/seg)

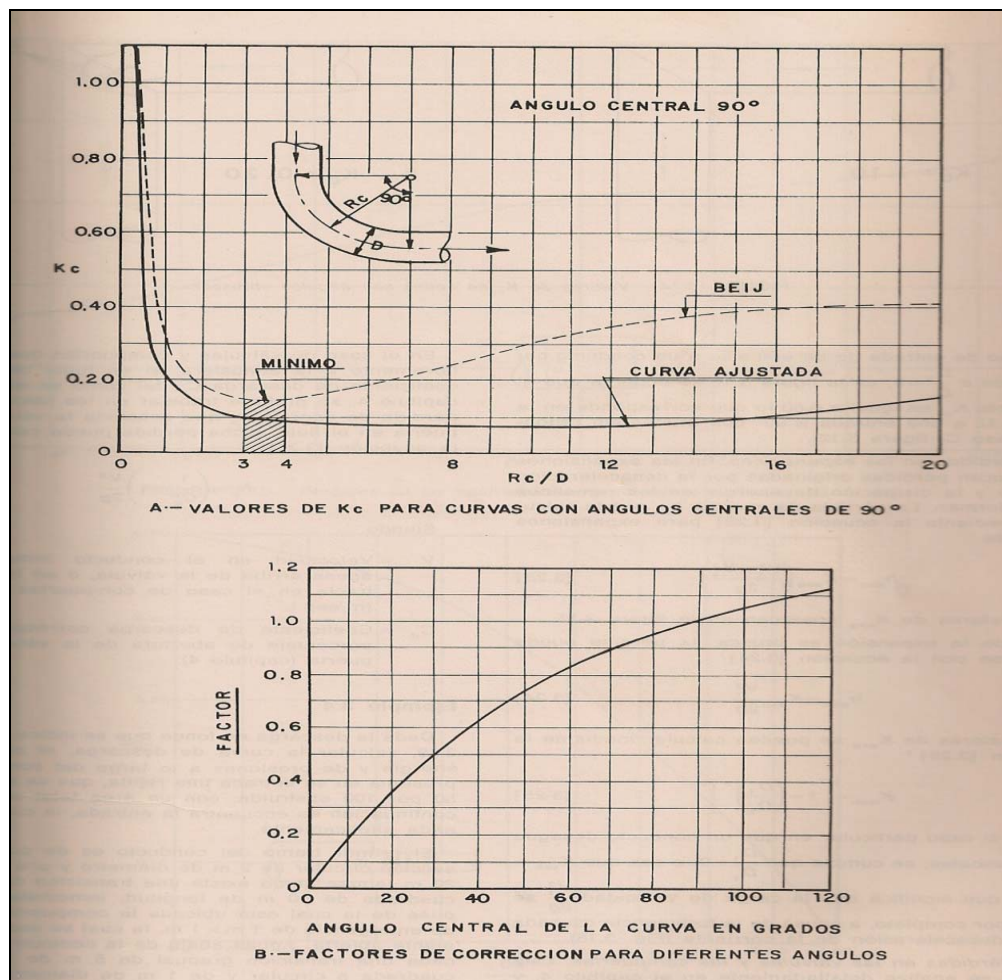


Figura 2.9. Valores del coeficiente K_c . Fuente: Ingeniería de Presas, p. 87, Suarez.

Perdidas en las Contracciones

$$h_{ct} = k_{ct} * \frac{V_2^2}{2g} \quad [2.7]$$

h_{ct} = Perdida total en la Contracción (m)

K_{ct} = Coeficiente de pérdidas en la contracción

V_2 =Velocidad del flujo aguas abajo de la contracción (m/seg)

Perdidas en las Expansiones

$$h_{exg} = k_{exg} * \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \quad (m) \quad [2.8]$$

h_{exg} = Perdidas de expansión (m).

K_{exg} = coeficiente de expansión.

V = Velocidad en (m/seg).

Perdidas en las Válvulas y las Compuertas

$$h_v = \left(\frac{1}{C_d^2} - 1 \right) * \frac{V^2}{2g} \quad [2.9]$$

V = Velocidad del conducto inmediatamente aguas arriba de la válvula, o en la vena contracta en el caso de compuertas deslizantes (m/seg).

C_d = Coeficiente de descarga correspondiente al porcentaje de abertura de la válvula o compuerta.

Ecuación de Dracy-Weisbach: Según Suarez (1982)

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad [2.10]$$

h_f = Pérdida de energía en el flujo a causa de la fricción (m).

f = Coeficiente de fricción.

L = Longitud del conducto (en el cual se produce h_f) (m).

D = Diámetro del conducto (m).

Velocidades Mínimas del agua a través del vano de compuertas en estructuras de entrada en las Obras de Toma Según Torres (1981).

$$V = 0,12 \sqrt{2gh} \quad [2.11]$$

V = Velocidad media a través del vano de la compuerta (m/seg).

g = Intensidad de la gravedad m/seg).

h = carga desde el centro de gravedad del vano hasta la superficie de aguas máximas normales o de operación, en metros.

Caudal de Vertedores de Excedencias: Según Acosta y Azevedo (1996).

$$Q \cong 2,2 LH^{3/2} \quad [2.12]$$

Caudal en Orificios Pequeños en Pared Delgada: Según Acosta y Azevedo (1996).

$$Q = C_d A \sqrt{2gh} \quad [2.13]$$

h =Carga sobre el centro del Orificio (m)

A =Área del orificio (m²)

C_d = Coeficiente de Descarga.

Tabla 2.2. Coeficiente de Descargas de orificio circulares de pared delgada. Fuente: Manual de Hidráulica, p. 55, Azevedo y Acosta.

Carga h, m	Diámetro del Orificio (cm)				
	2	3	4	5	6
0,20	0,653	0,632	0,609	0,607	0,607
0,40	0,651	0,625	0,610	0,607	0,607
0,60	0,648	0,625	0,610	0,607	0,608
0,80	0,645	0,623	0,610	0,607	0,608
1,00	0,642	0,622	0,610	0,607	0,608
1,50	0,638	0,622	0,610	0,607	0,608
2,00	0,636	0,622	0,610	0,607	0,608
3,00	0,634	0,621	0,611	0,607	0,608
5,00	0,634	0,621	0,611	0,607	0,608
10,00	0,634	0,621	0,611	0,607	0,609

Pérdida de Carga en los Orificios y Compuertas

$$h_f = \frac{V_t^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \quad [2.14]$$

h_f = Pérdidas en los orificios y compuertas (m).

V_t = Velocidad Teórica.

V_2 = Velocidad del chorro.

Ecuación de Hazen-Williams Según Ranald (1969), se utiliza esta fórmula para el flujo forzado.

$$V = 0,8494 C_1 R^{0,63} S^{0,54} \quad [2.15]$$

V = Velocidad (m/seg).

R = Radio Hidráulico (m).

S = Pendiente de la línea de altura piezométrica.

C_1 = Coeficiente de rugosidad relativa de Hazen-Williams.

2.3. Elementos estructurales que constituyen las obras de toma y descarga

2.3.1. Obras de toma

En 1981 Torres señaló que en general una obra de toma consiste en Estructuras de Entrada, Conductos, Mecanismos de Regulación y Emergencia con su equipo de operación y Dispositivos para disipación de energía.

2.3.1.1. La estructura de entrada

Puede consistir en desarenador, rejillas y orificio u orificios. Con frecuencia en la estructura de entrada se instalan compuertas de emergencia o de control con el objeto de desaguar los conductos en caso necesario.

Dependiendo del diseño particular en cada presa, la obra de toma debe corresponder a las condiciones de cimentación, descargas requeridas, cargas de operación, variaciones de niveles del agua en el embalse y cantidad de sólidos flotantes que pueda llegar a la toma.

Debido a las condiciones hidráulicas, se requiere mayor área de rejillas que de compuertas y, por consiguiente, el desarrollo de la superficie de rejillas puede tomar formas relativamente definidas. Por ejemplo, en obras de toma a través de cortinas de concreto la estructura de rejillas puede tener proyección en planta, rectangular, en línea quebrada con varios lados o semicircular; en obras de toma a través de cortinas de tierra, tierra y enrocamiento o túneles en las laderas, las rejillas se pueden desarrollar a lo largo de líneas quebradas o curvas, e incluso colocarse en torres de toma dentro del vaso.

Cuando la estructura de entrada se resuelve a base de torre dentro del vaso es necesario proveerlas de puente de acceso, ya sea desde la corona de la cortina.

2.3.1.1.1. Rejillas

Las rejillas evitan que los sólidos flotantes atraviesen la estructura de entrada y entran a los sistemas de conducción, pudiendo afectar los mecanismos que estén instalados aguas abajo, sean válvulas de emergencia, de servicio, turbinas hidráulicas o bombas.

Puede no ser necesario instalar rejillas en toma que trabajen con descarga a canales abiertos o túneles trabajando como tales. Los elementos que constituyen una rejilla son principalmente soleras de hierro apoyadas en vigas de concreto o viguetas de acero estructural.

Las soleras generalmente son de 0.01m a 0.03m de ancho por 0.05m a 0.15m centro a centro, y con una longitud que puede llegar a los 4.0m o 5.0m, de acuerdo con las condiciones de cada caso.

Es posible formar marcos de ángulo de acero estructural y soldar las soleras a ellos; pero estos marcos son muy pesados y no tienen gran rigidez para las maniobras de montaje y desmontaje en caso de reparación.

Muchas veces es preferible transportar las soleras al sitio y colocarlas aisladas, formando un conjunto a base de pernos separadores de tubo, colocados cerca del centro de la solera, los que también hacen la función de atiesadores.

Las rejillas en tomas someras generalmente se limpian a mano, con rastrillo; pero la limpieza en las rejillas de tomas profundas se hace con mecanismos automáticos que se desplazan sobre vías de ferrocarriles.

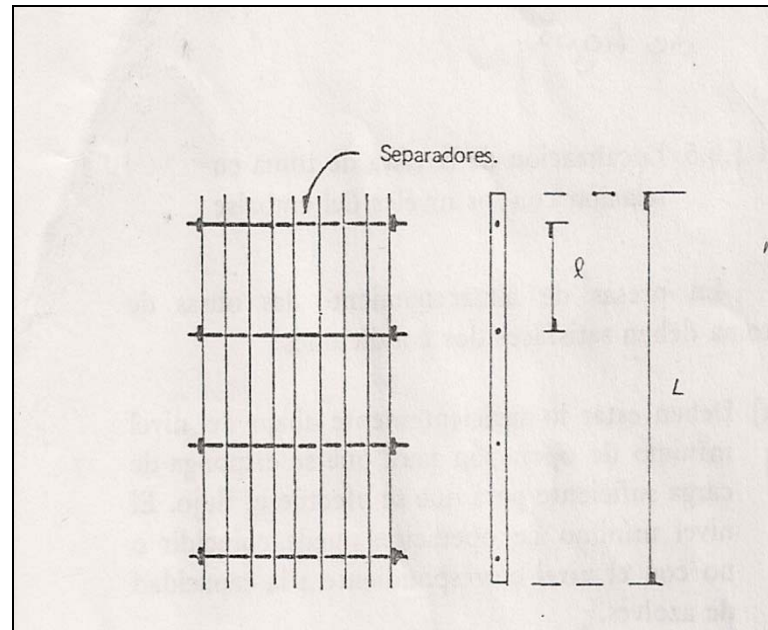


Figura 2.10. Separadores en la rejillas. Fuente: Obras hidráulica, p. 91. Torres

l = Longitud efectiva para el cálculo de la rigidez lateral.

L = Longitud total de la solera.

Las velocidades del agua a través del área neta entre rejillas varían de 1.0m/seg. En tomas someras hasta 5.0m/seg en rejillas instaladas en tomas profundas. En climas muy fríos donde existan posibilidad de formación de hielo en las rejillas se deben tomar precauciones especiales para impedirlo. En algunas obras de toma se inyecta aire caliente por la parte inferior con el objeto de formar un flujo vertical ascendente y descongelar las zonas en que se haya iniciado el congelamiento. La separación entre soleras de 0.05m y 0.15m dependerá del tamaño de los mecanismos que se instalen aguas abajo. Algunos parámetros importantes que deben ser tomados en cuenta a la hora de diseñar las estructuras de entrada de las obras de toma son: las velocidades del agua a través del vano de las compuertas, las pérdidas de carga por entrada y la localización de la obra de toma en relación con los niveles del embalse y en planta.

2.3.1.1.2. Pérdidas de carga por entrada

Conviene que las aristas en los muros de entrada de las tomas se redondeen para deducir perdidas de carga y evitar efectos de cavitación, tanto como sea posible. En la figura 2.11 se proponen dos expresiones: una para conducto circular en donde D es el diámetro del tubo, y otra para conducto rectangular, en donde H es la dimensión vertical para definir la forma de los labios superior e inferior y dimensión horizontal para definir la forma de los labios laterales.

Sin embargo, existen ocasiones en que son necesarias las aristas vivas, cuando se instalan compuertas de emergencia en la entrada de las tomas.

En este caso se debe prever una ventilación eficiente en la parte aguas abajo del asiento de las compuertas.

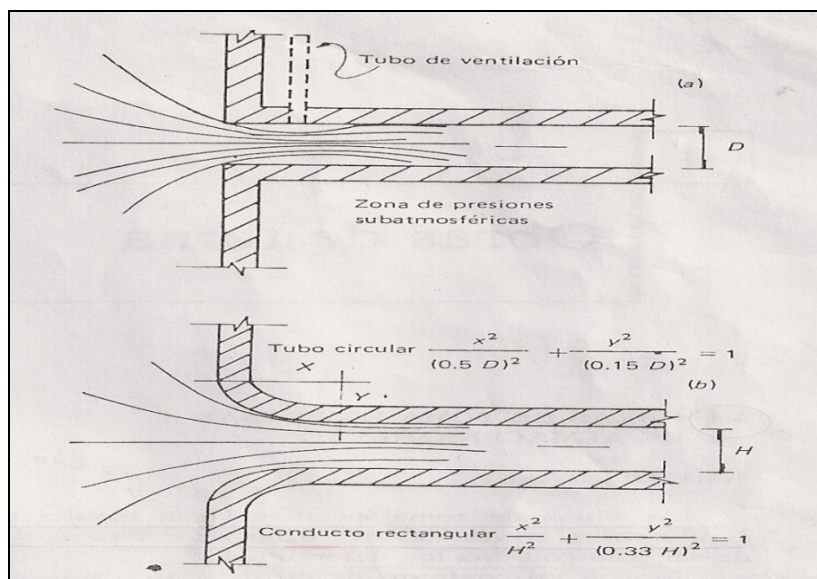


Figura 2.11. Entradas en las obras de Toma. Fuente: Obras Hidráulica, p. 84, Torres.

Localización de la obra de toma en relación con los niveles del embalse y en planta. En 1981 Torres expuso, En presas de almacenamiento las obras de toma deben satisfacer dos condiciones:

- Deben estar lo suficientemente abajo del nivel mínimo de operación para que se disponga de carga suficiente para que se efectúe el flujo. El nivel mínimo de operación puede coincidir o no con el nivel correspondiente a la capacidad de azolves (Lodo o basura que obstruye un conducto de agua).
- Teniendo en cuenta que es práctica común reservar un almacenamiento para azolves o almacenamiento muerto, la toma debe quedar lo suficientemente alta para no interferir con esta condición, que al mismo tiempo garantiza cierta calidad del agua que se extraiga.

2.3.1.1.3. Localización de la obra de toma en planta

En cuanto a la localización de las obras de toma, en planta, está condicionada a la margen en donde exista la demanda, a las condiciones locales y a la planificación general de las estructuras de presa.

2.3.1.1.4. Compuertas de emergencia o de control

Es deseable que en las estructuras de entrada en que se instalen compuertas de control tengan acceso en todo tiempo, para poder realizar maniobras de inspección y reparaciones en caso necesario.

En tomas con baja carga, para el caso, se deja la posibilidad de instalar obturadores de aguja, ya sea metálicos o de madera. Para tal efecto se dejan ranuras con aristas protegidas con ángulos de acero, o vigas H con apoyos de las agujas.

En tomas profundas se utilizan compuertas de emergencia que pueden ser rodantes o deslizantes, para dejar en seco la zona de inspección o reparación.

2.3.1.2. Conductos

Los Conductos de las obras de toma en presas pueden descargar directamente al río o a los sistemas de conducción, previa la disipación de la energía cinética del agua.

Los Conductos en las obras de toma pueden ser túneles o tuberías, o bien túneles y tuberías, en donde las tuberías trabajan a presión y los túneles también a presión o como canales abiertos

En otras ocasiones el agua se conduce por túneles a presión desde la entrada hasta el sitio en que se inicia una tubería dotada de válvulas de emergencia, y la tubería se continúa hasta la salida, donde se coloca una válvula de regulación o servicios con algunos dispositivos para disipación de energía.

2.3.1.3. Mecanismos de regulación y emergencia

Los Mecanismos de Regulación y Emergencia consisten en válvulas o compuertas que se diseñan para la carga máxima y se construyen para ciertas condiciones de operación.

Las de emergencia se instalan aguas arriba de los de regulación y se conservan abiertas, excepto cuando se requieren maniobras de inspección, reparación o mantenimiento.

Los mecanismos de regulación se operan para extraer los gastos necesarios, y consisten en válvulas o compuertas que pueden operar a aberturas parciales o en su totalidad. Con frecuencia es conveniente prevenir una ventilación adecuada en aquellos sitios donde se pueda presentar presiones atmosféricas o sea necesarios dejar escapar aire comprimido, principalmente en donde las válvulas o compuertas vayan a operar bajo grandes cargas.

Los Mecanismos de Emergencia se instalan en el paramento mojado de cortinas de concreto o a la entrada de los conductos en cámaras especiales desde donde se operan; los de regulación se pueden instalar inmediatamente aguas debajo de las de emergencia o en el extremo inferior de los conductos, de acuerdo con las circunstancias particulares de cada caso.

2.3.1.4. Dispositivos para disipación de energía

Según Pereira (1985) Cuando un flujo de alta velocidad, como el que sale de las tomas que descargan libremente aguas abajo de la presa o de las descarga de fondo, alcanzan el cauce del río pueden poseer una energía excesiva que cause daños, produciendo socavación al pie de la presa y obras anexas, así como aguas abajo, en el cauce afectando la estabilidad de las obras construidas en las inmediaciones del mismo.

Cuando el agua corre por el vertedero y los canales o túneles de descarga contiene gran cantidad de energía y mucho poder destructivo debido a las altas

presiones y velocidades. Éstas pueden causar erosión en lecho del río, en el pie de la presa, o en las estructuras mismas de conducción, poniendo en peligro la estabilidad de las estructuras hidráulicas.

Por lo tanto se deben colocar disipadores de energía. Todos los elementos de las obras de toma se deben planear para satisfacer las condiciones particulares del sitio determinado. Las elevaciones, las pendientes y los alineamientos los determinan las cargas de operación, la capacidad requerida, la localización y la elevación del agua en la descarga, etc.

Es conveniente que los alineamientos sean según una línea recta o muy cercana a ella, y cuando sean necesarios los cambios de dirección o codos, que los radios de curvatura de los ejes no sean menores de cinco veces los diámetros de los conductos.

2.3.2. Obras de descarga

Estas Obras están constituidas de ciertos componentes como Estructuras de Control, Conductos de Descarga, Estructura Terminal, Controles de Entrada y Salida y los Disipadores de energía

2.3.2.1. Estructuras de control

Según Pereira (1985) Permite regular los gastos de salida de los embalses, manteniendo el nivel del embalse por debajo de un límite prefijado. Las estructuras de control pueden tener varias formas de posición y tamaño. Las crestas del flujo de salida pueden ser rectas, curvas, semicirculares, de forma de U o redondeadas, es

decir, los controles pueden ser de compuertas, de conductos u orificios o de cresta simplemente.

Los controles de orificio se pueden colocar en posición horizontal, inclinada o vertical. El orificio puede ser circular, cuadrado, rectangular, triangular o de forma variada. Puede ser de borde angular redondeado o de forma abocinada, para descargar totalmente con un chorro estrecho o con un chorro reprimido. Pueden descargar libre, parcial o completamente sumergido.

Los tubos se pueden colocar verticalmente, horizontalmente o inclinados y pueden ser circulares, cuadrados, rectangulares o de forma variada. Pueden operar descargando libremente o pueden estar parcial o totalmente sumergidos.

2.3.2.2. Conductos de descarga

Permite transportar los caudales de avenidas desde el control o cresta hasta un sitio aguas abajo de la presa salvando la diferencia de altura entre el cimacio y el terreno natural al pie de la presa. Este conducto puede ser una estructura de concreto continua con el aliviadero, un canal abierto excavado lateralmente alrededor de la presa o un túnel excavado en una de las laderas.

El perfil puede ser de pendiente suave o fuerte. La sección transversal puede ser rectangular, trapezoidal, circular o de otra forma. Las dimensiones del canal dependen básicamente del comportamiento hidráulico y del perfil de la geología y la topografía del lugar.

El comportamiento hidráulico del canal de conducción o descarga podría afectar de alguna manera el aliviadero y en algunos casos se puede combinar conducto cerrado con conducto abierto. Se debe tomar en cuenta el revestimiento del

canal de descarga, que sea de material resistente a la acción de la erosión y estructuralmente resistente a las fuerzas del relleno.

2.3.2.4. Estructura terminal

Es aquella estructura que sirve de transición entre el canal de descarga y la corriente principal o canal que actúe de emisario; dependiendo si las condiciones geológicas del sitio son las más adecuadas se dice si la llegada será directa, por el contrario se deberá diseñar estructuras especiales de transición tales como pozos o estanques disipadores de energía, deflectores, dentellones, promontorios, muros, entre otros; capaces de absorber la energía cinética desarrollada por la transformación de la energía potencial al salir de la presa por el aliviadero.

2.3.2.5. Controles de entrada y salida

Los Canales de Entrada se usan para llevar el agua desde el vaso al vertedero o estructura de control. Cuando el agua entra directamente del vaso al vertedero no son necesarios los canales de entrada. El diseño del canal de llegada tiene consideraciones especiales ya que su comportamiento hidráulico se refleja directamente de la capacidad del vertedero.

Los Canales de Salida a su vez llevan el agua desde la estructura terminal hasta una vía de desagüe natural, aguas debajo de la presa. En algunos casos se requiere solamente un canal piloto, suponiéndose que en las descargas mas violentes la misma corriente se encargara de ampliar el cauce. En caso de que el canal este situado en un terreno poco erosionable, debe excavarse el tamaño adecuado para evitar que se forme un control que influya en el calado de agua abajo del dispositivo disipador.

2.4. Pasos a seguir para el cálculo según los criterios de diseño

A continuación se establecen los pasos de diseño de las obras de toma y descarga, el cual es elaborado por las autoras y enfocado en el diseño hidráulico y estructural.

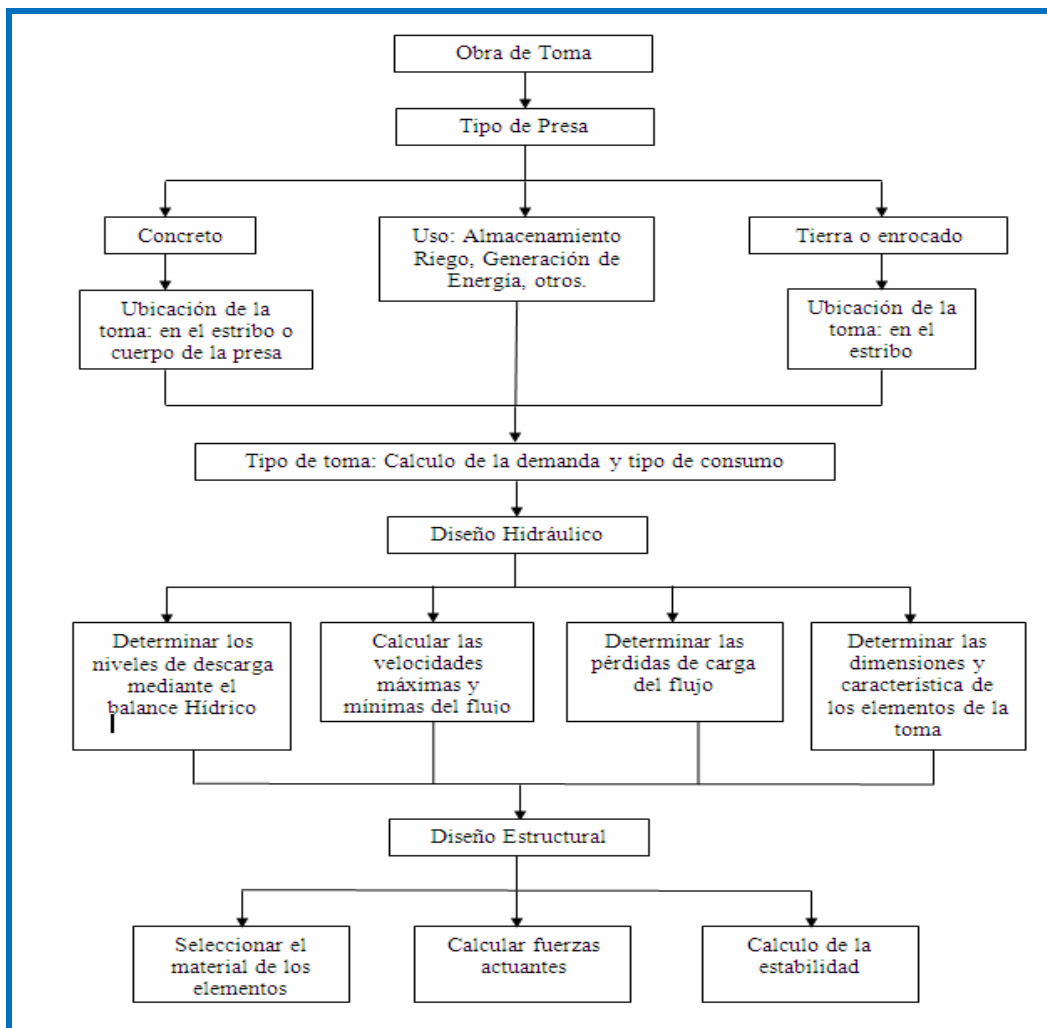


Figura 2.12. Esquema para el cálculo 1/2.

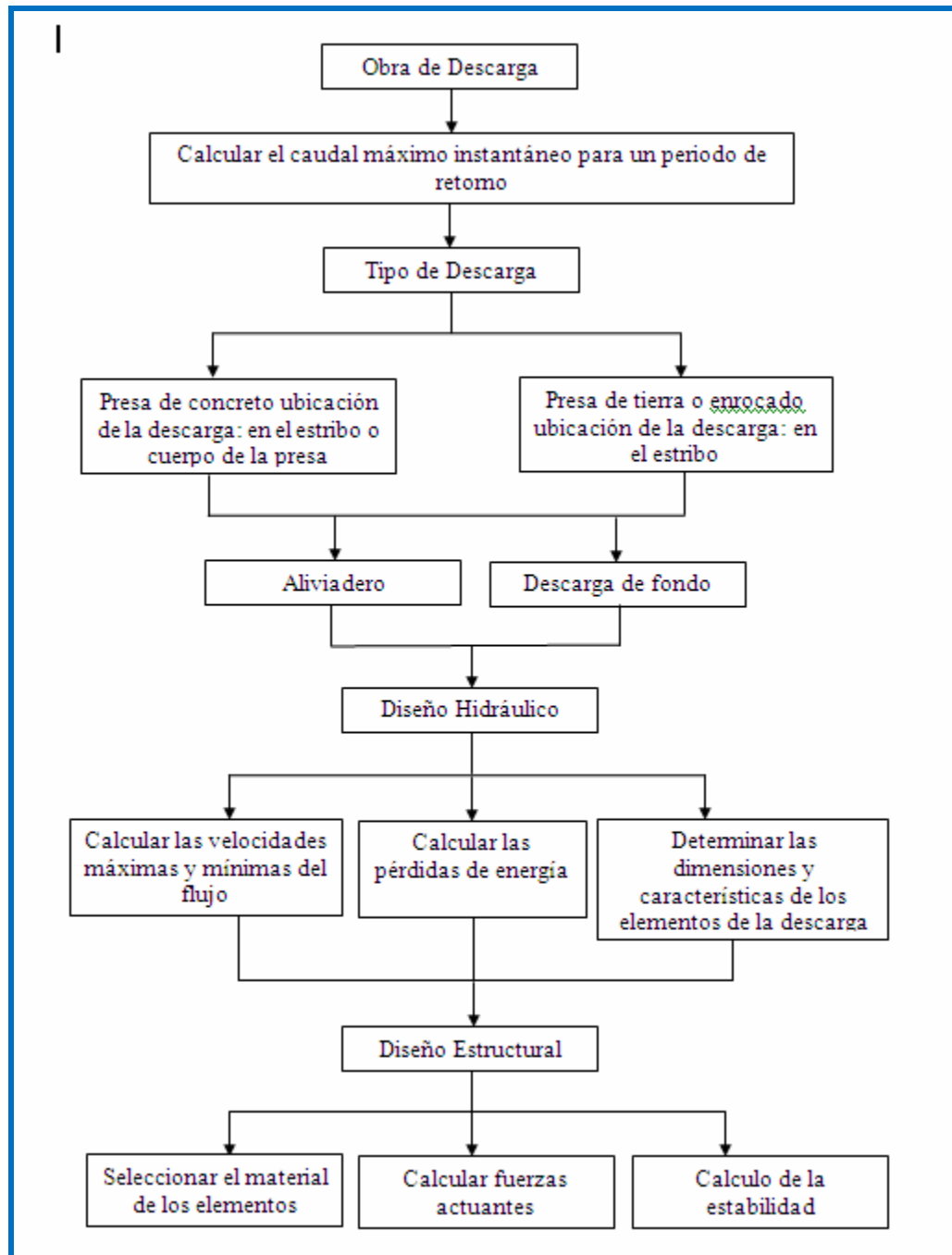


Figura 2.13. Esquema para el cálculo 2/2.

CAPITULO III

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

- 1.** Las obras de toma y descarga son estructuras indispensables para el funcionamiento de una obra de gran envergadura como lo son las presas, es por ello que en su diseño se deben tomar adecuadamente los parámetros requeridos para que así ayuden a prolongar la vida útil del embalse y proporcionar el servicio para la cual ésta fue ideada.
- 2.** En el diseño de las obras de toma se realiza el balance hídrico para obtener el caudal medio mensual con el cual van a trabajar estas obras, sin embargo para la descarga se toma en cuenta el hidrograma de diseño ya que en función de este se obtendrán los caudales máximos que pasan por la obra de excedencia.
- 3.** La capacidad de una obra de excedencia la determinan la avenida de diseño, las características del embalse y el programa de operación de la propia obra.
- 4.** El tipo de presa ya sea por su material, tamaño o uso es muy importante considerarlo a la hora de realizar las obras de toma y descarga ya que de esto depende en gran medida sus ubicaciones, tipos, la cantidad de tomas y descargas que va necesitar, y sobre todo para el diseño de las mismas.

5. Estas obras tienen elementos estructurales en común, sin embargo tienen finalidades distintas es por ello que difieren en cuanto a los criterios de diseño.

3.2. Recomendaciones

1. Para las obras de toma y descarga se recomienda tener conceptos fundamentales básicos en cuanto a Topografía, Hidrología, Sedimentología, Geología, Hidráulica, Mecánica de Suelo y Estructura.
2. Se recomienda que la obra de toma debe tener suficiente capacidad para descargar las aguas y así abastecer a la zona en cuestión con el gasto necesario, de acuerdo a los requerimientos de los suelos para niveles mínimos del embalse.
3. Se recomienda que para presas de tierra o enrocado la ubicación de las obras de toma y descarga sea en los estribos, y adosada a la presa cuando esta sea de concreto.
4. Es recomendable para el diseño de las descarga tener presente que finalidad va a cumplir ya que para descarga de fondo los conceptos de diseño son diferentes a la de descarga de agua excedente del embalse.
5. La obra de excedencias deberá diseñarse para el gasto máximo de descarga y se revisará para gastos menores, todo esto para prever un posible desborde del agua y el colapso de esta estructura.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta A., Guillermo y Azevedo, J.M (1996). Manual de Hidráulica. Editorial Harla.
2. Echeverri M., Ana M. (2001). Medios de Captación. Disponible: http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/captacionesytorresdetoma/captaciones_y_torres_de_toma_en_.html. [Consulta: 2009, Febrero 15].
3. Gómez V., María C. (2002). Obras de Excedencia. Disponible: http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/obrasdecontrolyexced/obras_de_control_y_exced.html. [Consulta: 2009, Febrero 12].
4. Irwin, Susan (2002). Obras de Toma. Disponible: <http://www.eia.edu.co/sitios/webalumnos/laderas%20andinas/paginas/OBRAS%20DE%20TOMA.htm>. [Consulta: 2009, Febrero 12].
5. Jegat, H. (1997). Obras de Aprovechamiento y Captación de las Aguas superficiales. Curso de Postgrado en Recursos Hidráulicos. Mérida Venezuela
6. Normas Complementarias para el Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas
<http://cgsservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/747htm>. [Consulta: 2009 Marzo 13].
7. Pereira R., C. (1985). Comportamiento Hidráulico de las Obras de toma y Aliviadero de los Embalses La Estancia, La Becerra, El Cigarrón y El

Pueblito. Trabajo Especial de Grado no publicado, Universidad de Oriente. Anzoátegui.

- 8.** Suarez V., L. (1982). Ingeniería de Presas Obras de Tomas, Descarga y Desviación. Caracas: Ediciones Vegas.
- 9.** Suarez V., L. (1993). Presas de Corrección de Torrentes y Retención de Sedimentos. MARNR. Caracas Venezuela.
- 10.** Torres H., F. (1981). Obras Hidráulicas. México: Editorial Limusa.
- 11.** Ranald V., G. (1969). Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. Editorial McGRAW-Hill. México.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO

TÍTULO	“CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS OBRAS DE TOMA Y DESCARGA EN PRESAS”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E MAIL
FIGUERA F., ANA K	CVLAC: 18.280.339 E MAIL: <u>tatty_406@hotmail.com</u>
ROBLES R., MARIANGEL DEL V	CVLAC: 17.950.577 E MAIL: <u>mari_angel12@hotmail.com</u>

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Toma

Descarga

Finalidad de estas obras

Fundamentos teóricos

Formulas empleadas

Elementos estructurales

Pasos según los criterios de diseño

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUB ÁREA
Ingeniería y ciencias aplicadas	Ingeniería Civil

RESUMEN (ABSTRACT):

Para el diseño de las obras de toma se debe ejecutar el balance hídrico y así tener los aportes y diseñarla con los gastos medios mensuales para un periodo de retorno determinado y para las descargas se debe realizar el estudio hidrológico pertinente y su diseño se realiza con el caudal máximo instantáneo para un periodo de retorno determinado y de esta manera poder realizar un diseño adecuado de dichas obras que satisfagan los propósitos para las cuales fueron ideadas. En la hidráulica de estas obras rige en su diseño generalmente el flujo libre y el flujo a presión y debido a estos son aplicables todas las formulas empleadas para estos tipos de flujo. Es por ello que los pasos a seguir para el diseño de las obras de toma y descarga se centran en los criterios de un buen estudio hidrológico, de una hidráulica bien definida y del diseño adecuado de los propios componentes de estas obras, es por ello que se deben hacer una buena selección de los elementos que las constituyen y a su vez que estos también cumpla con un diseño correcto ya que de ellos depende en gran medida el funcionamiento de las obras a las cuales pertenecen.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E-MAIL				
GONZÁLEZ, LUIS	ROL	CA X	AS	TU	JU
	CVLAC:	8.307.130			
	e-mail:	lbggonzalez@cantv.net			
TORRES, LUISA	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	8.217.436			
	e-mail:	torresl62@gmail.com			
MONTEJO, ENRIQUE	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	8.279.503			
	e-mail:	emontejo@cantev.net			
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	e-mail:				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2008	06	02
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.Obras_TomasyDescarga.doc	Aplicación/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O P Q
R S T U V W X Y Z . a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z . 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 .

ALCANCE

ESPACIAL: _____(OPCIONAL)

TEMPORAL: _____OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Civil

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Civil

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo al artículo 44 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

AUTOR

FIGUERA ANA

AUTOR

ROBLES MARIANGEL

TUTOR

GONZÁLEZ, LUIS.

JURADO

TORRES, LUISA

JURADO

MONTEJO, ENRIQUE

POR LA SUBCOMISION DE TESIS

SAAB, YASSER