



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN
OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

MARTIN MONSERRAT BENITEZ QUINTERO

ASESOR:

ING. VALENTE TORRES ORTÍZ

NEZAHUALCÓYOTL ESTADO DE MÉXICO

2014



FES Aragón



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos.

*A Dios,
Mis padres, mis hermanas, mi sobrina, mi familia,
Maestros y amigos, que han estado conmigo,
Quienes me han ayudado y han confiado en mí.
A la UNAM, quien permitió que fuera uno de sus alumnos,
A la FES Aragón quien me dio la oportunidad de formarme como profesionalista
Y por darme el más grande regalo además de mi carrera,
Una maravillosa familia, un gran equipo y un gran apoyo para mi desarrollo como
estudiante, mis amigos, hermanos y colegas con quien estoy eternamente agradecido.*

Dedicatorias.

Familia.

*A mi MAMÁ:
Por darme la vida y todo su amor,
Por confiar y creer en mí,
Por su apoyo y cariño incondicional,
Por sus palabras de aliento,
Regaños, caricias y por siempre estar a mi lado
Cuando más lo he necesitado.*

*A mi PADRE: por su confianza
Y por enseñarme que la vida no es fácil,
Pero resulta mejor afrentar la situación
Tan difícil que sea, por su apoyo y aliento.*

*A mi ABU:
Quien siempre ha cuidado de mí,
Como mi segunda madre,
Quien con regaños y cariños
He logrado estar hasta donde he querido.*

A mis HERMANAS:

Marisol:

*Quien ha sido un gran y claro ejemplo
De que cuando se quiere,
Se pueden lograr todas las cosas que uno se propone,
Es una gran fuente de inspiración
Ya que fue la primera en lograr una carrera profesional,
Y que gracias a ella y su apoyo he logrado estar aquí.*

Berenice:

*Quien a pesar de su mal humor,
Es mi hermanita y siempre ha estado conmigo
Y ha sido cómplice de muchas de mis travesuras de niño,
Con quien he compartido mas parte de mi vida,
Y a quien hay que enseñarle que la vida no es fácil,
Pero si se quiere se puede.*

A mi güereja Karlita:

*Que desde que llevo a mi vida
Ha sido mi más grande amor,
Mi motivo para salir y seguir adelante,
Quien con sus ocurrencias
Siempre logra que la vida se aligere
Y sea más divertida.*

A mis tías, tíos, primos, quienes también han sido parte de este camino.

A mis amigos.

Joss, Irving, Isabel:

*Quienes han estado conmigo en la buenas y en las malas,
Apoyándome y dándome su cariño incondicional,
Por aceptarme y no darme la espalda cuando más lo necesité.*

Joska, Pato, Chabe, Peke, Chichi, Mary, Benn, Omar, Laus, Lupe:

*Porque más que grandes amigos y colegas
Son una gran familia,
No solo compartimos 5 años de nuestras vidas (algunos más otros menos),
Pero vivimos muchas experiencias
Que nunca se podrán olvidar,
Viajes (que viajes!!), salidas, fiestas,
Reuniones, trabajos, tareas, peleas, discusiones, etc.
Lo que nos ayudó a ir creciendo y
Conociéndonos como lo que ahora somos,
Una familia muy loca y muy diversa pero siempre junta.
Los momentos que pasamos juntos como un gran equipo
Y como una gran familia siempre estarán bien presentes.
Wakaritas los quiero reteharto...*

San B. S.:

*Quien me dio la oportunidad de conocerte,
Y por ese cariño e imparcialidad que siempre mostraste
Ante los problemas y circunstancias
A las cuales nos enfrentamos.
Gracias, TKM.*

Luis Torres:

*Por ser mi mejor amigo y mi hermano,
Por estar en los mejores y malos momentos,
Dándome consejos y lecciones,
Escucharme y ser mi paño de lágrimas.*

*Luis Jiménez:
Por ayudarme cuando lo necesité,
Dándome consejos Y apoyarme,
Escucharme y darme la mano siempre.
Porque eres un gran ser humano y lo mejor, un buen amigo.*

*Con cariño para ustedes.
Taz Demon. Martín Benítez.*

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.	2
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS. (PRESAS).	2
1.1.2. HISTORIA EN MÉXICO.	2
1.2. DEFINICIÓN DE PRESA.	4
1.2.1. ESTRUCTURAS AUXILIARES.	4
1.2.2. CLASIFICACIÓN.	5
1.2.3. SECCIÓN TÍPICA DE UNA PRESA.	6
1.3. DATOS CONSIDERABLES. (PRESAS).	7
1.3.1. TIPOS DE PRESAS.	13
CAPÍTULO II. OBJETIVO DE LOS VERTEDORES.	15
2.1 IMPORTANCIA DE LOS VERTEDORES.	15
CAPÍTULO III. CLASIFICACIÓN DE LOS VERTEDORES.	17
3.1. GENERALIDADES.	17
3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS VERTEDORES.	22
3.2.1. VERTEDOR DE CAÍDA LIBRE.	23
3.2.2. VERTEDOR DE CIMACIO.	24
3.2.3. VERTEDOR EN EMBUDO.	25
3.2.4. VERTEDOR EN RÁPIDA.	28
3.2.5. VERTEDOR EN TÚNEL.	29
3.2.6. VERTEDOR EN SIFÓN.	31
3.2.7. VERTEDOR EN ABANICO.	33
3.2.8. VERTEDOR EN CANAL LATERAL.	36
3.2.9. VERTEDOR DE SERVICIO Y AUXILIARES.	38
3.3. DETERMINANTES PARA LA ELECCIÓN DEL VERTEDOR.	40
3.4. CONSIDERACIONES EN LA ELECCIÓN DEL VERTEDOR.	42
CAPÍTULO IV. CÁLCULO HIDRÁULICO.	44
4.1. DISEÑO HIDRÁULICO EN VERTEDORES EN ABANICO.	44
4.1.1. ASPECTOS GENERALES.	44
4.2. PROCEDIMIENTO PARA DISEÑAR VERTEDORES EN ABANICO.	45
4.3. DISEÑO GEOMÉTRICO.	46
4.4. DISEÑO HIDRÁULICO.	49
4.5. DATOS GENERALES. PRESA ADOLFO LÓPEZ MATEOS.	51

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

CAPÍTULO V. APLICACIONES.	54
5.1. EJEMPLO DE VERTEDOR EN ABANICO PARA LA PRESA ADOLFO LÓPEZ MATEOS.	54
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	62
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.	64
PÁGINAS WEB.	65

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

INTRODUCCIÓN.

México es un país donde la pobreza y escases de recursos hidráulicos; que para su desarrollo constante, demandan la utilización de dichos recursos en su totalidad. Se hace necesario que las obras civiles, tales como: presas, sistemas de riego y la generación de energía eléctrica sean bien planeadas, proyectadas y construidas.

Una de las formas eficaces de controlar y aprovechar los escurrimientos de ríos y arroyos, es la construcción de obras hidráulicas, las cuales en su condición óptima, se procura que tengan múltiples funciones, tal como:

- Generación de energía eléctrica,
- Abastecimiento de agua,
- Riego,
- Control de avenidas, etc.

Hoy en día, para la realización de un proyecto de obra civil, se considera importante los siguientes estudios:

- Topográficos.
- Hidrológicos.
- Geológicos y mecánica de suelos.
- Económicos.
- Geográficos.
- De financiamiento.
- Del programa general de obra.
- De presupuesto.

Así, se tiene que una obra de excedencia es una estructura fundamental y de vital importancia para buen funcionamiento y conservación de una presa. Por lo que se tratará de dar un sentido esencialmente práctico al trabajo presente, de acuerdo a las necesidades de proyectos diversos basándose en requerimientos que se consideren indispensables.

El presente trabajo tiene el objetivo y propósito de aportar un análisis del diseño, cálculo geométrico e hidráulico, de una obra de excedencias, de una manera sencilla y práctica, con un lenguaje conocido y, de total dominio, por la comunidad estudiantil.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS. (PRESAS).

1.1.2. HISTORIA EN MÉXICO.

En México Prehispánico (hasta antes de 1521), fue escasa la construcción de presas, debido a que el desarrollo de la agricultura no fue prioridad para el gobierno español, sino la explotación de la minería.

En la Época Independiente (1821 - 1868), el país atraviesa una inestabilidad política y económica, debido a las guerras internas y externas, así como los cambios continuos del sistema de gobierno. Debido a esto no hubo un desarrollo pleno en la agricultura, logrando llevar a cabo la construcción de cuatro presas únicamente.

En el periodo Porfirista (1868 - 1911), el gobierno del General Porfirio Díaz incrementa el desarrollo agropecuario con la construcción de Presas de Almacenamiento y algunas Presas Derivadoras, la construcción de estas obras hidráulicas fue llevada a cabo por particulares, fingiendo al gobierno Federal como promotor y concesionario de las Aguas Nacionales, creando para tal efecto la Comisión Hidrológica, mencionando que a finales de esta época y a principio de la época revolucionaria ya se regaban 812,000 ha.

En la Época Revolucionaria (1911 - 1926), se efectuaron estudios Geohidrológicos para proponer la construcción de presas para fines de riego, se destinan por primera vez partidas presupuestales a las actividades tendientes al aprovechamiento de Aguas Nacionales, bajo el gobierno del Presidente Francisco I. Madero.

En la Constitución política de 1917, siendo Presidente Venustiano Carranza, queda establecido en los artículos 27 y 73, que las actividades relacionadas al uso y aprovechamiento de agua en territorio nacional, sean encomendadas al departamento de Irrigación, llevando a cabo la construcción de Obras Hidráulicas, con la finalidad de regar 91,000 ha.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

En la Época Institucional (1926 - 1946), durante el gobierno del General Plutarco Elías Calles, se crea la Comisión Nacional de Irrigación dependiente de la Secretaría de Agricultura y Fomento; dicha comisión, procedió a realizar obras necesarias para aprovechar al máximo los escurrimientos de los ríos, en este periodo de 21 años la Comisión Nacional de Irrigación benefició a 827,000 hectáreas, con Obras de pequeña y gran irrigación.

A partir de Enero de 1947, se inicia el periodo de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (1947 - 1976), encomendando entre otras funciones la construcción de una infraestructura hidráulica encaminada al servicio general y producción agrícola, así como la legalización del uso racional de las Aguas Nacionales por conducto de un documento llamado Ley Federal de Aguas.

La Secretaría de Recursos Hidráulicos, en sus 30 años de duración construyó Obras de suma importancia, siendo en total 412 presas de almacenamiento, con capacidad que varía de 500,000 m³ a 12'960,000 m³, se considera como la parte más importante de la construcción de presas. Estas obras permitieron beneficiar 2'620,155 ha, destinadas a la producción agrícola.

Se crea en el año de 1977 la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, fortaleciendo con esto el desarrollo de la producción agrícola y ganadera, con base a los aprovechamientos hidráulicos, en este periodo se han beneficiado con riego 1'000,788 ha, y se han protegido 2'070,000 ha, con la construcción y operación de presas de fines múltiples.

A partir de 1981, se han construido diversas presas en distintos estados del país, justificando las necesidades para el desarrollo de diversas actividades en lo principal para el desarrollo agropecuario.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

1.2. DEFINICIÓN DE PRESA.

En ingeniería se denomina presa a un muro grueso de piedra u otro material, como concreto, material suelto o granular, que se construye a través de un río, arroyo o canal para almacenar el agua y elevar su nivel, con el fin de regular el caudal, para su aprovechamiento en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones o en la producción de energía mecánica. La energía mecánica puede aprovecharse directamente como en los molinos (actualmente en desuso) o de forma indirecta para producir energía eléctrica como en las centrales hidroeléctricas.

1.2.1. ESTRUCTURAS AUXILIARES.

- Obra de toma.

Conjunto de estructuras que se construyen con el objeto de extraer el agua de forma controlada y poder utilizarla con el fin para el cual fue proyectado su aprovechamiento.

- Obra de excedencias.

Estructura que forma parte intrínseca 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.

- Obra de control.

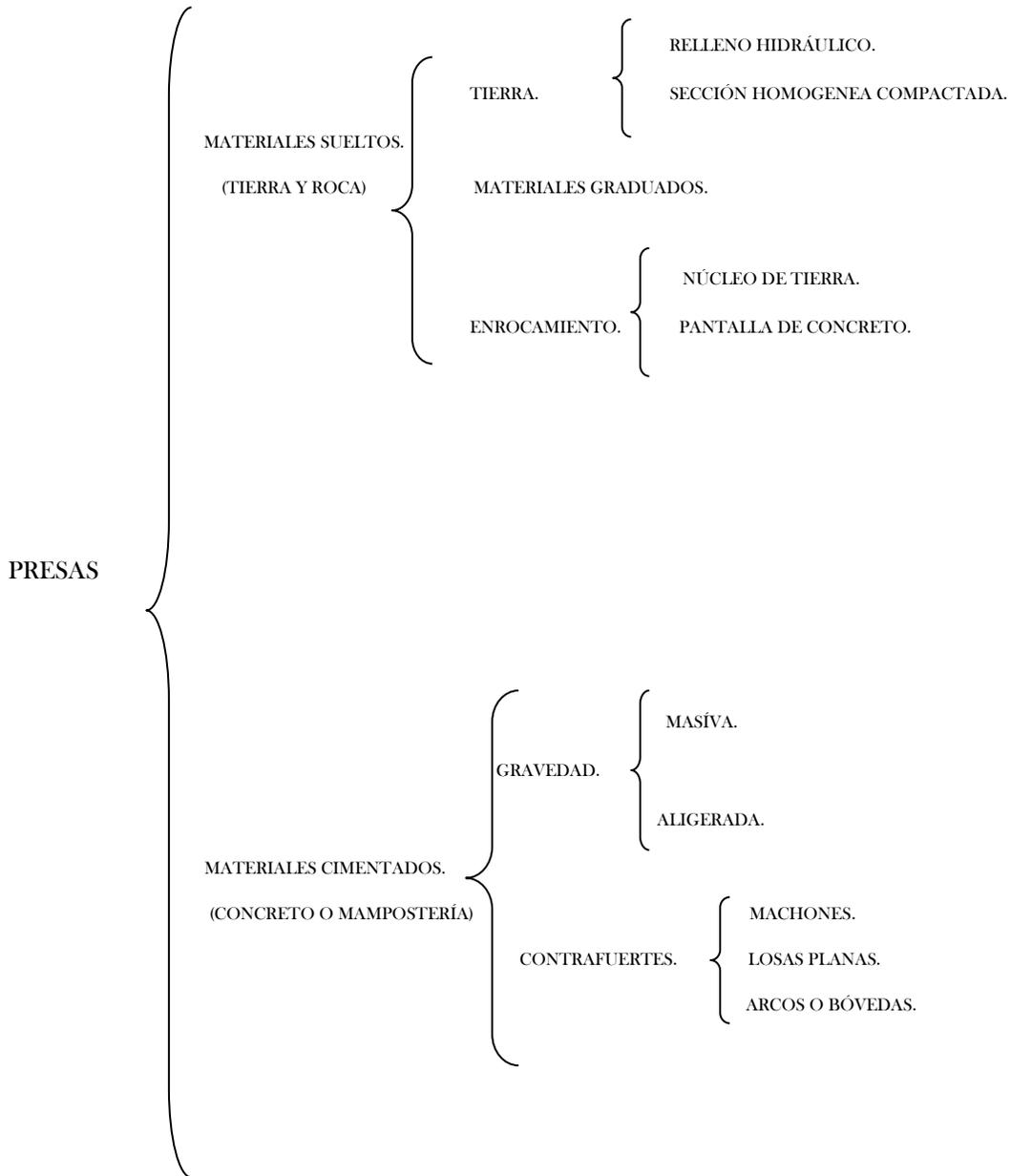
Estructura que permite el manejo de los excedentes, para proteger zonas aguas abajo.

- Obra de desvío.

Estructura de carácter temporal, con objeto de controlar adecuadamente la corriente durante la construcción de una presa.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

1.2.2. CLASIFICACIÓN.



“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

1.2.3. SECCIÓN TÍPICA DE UNA PRESA.

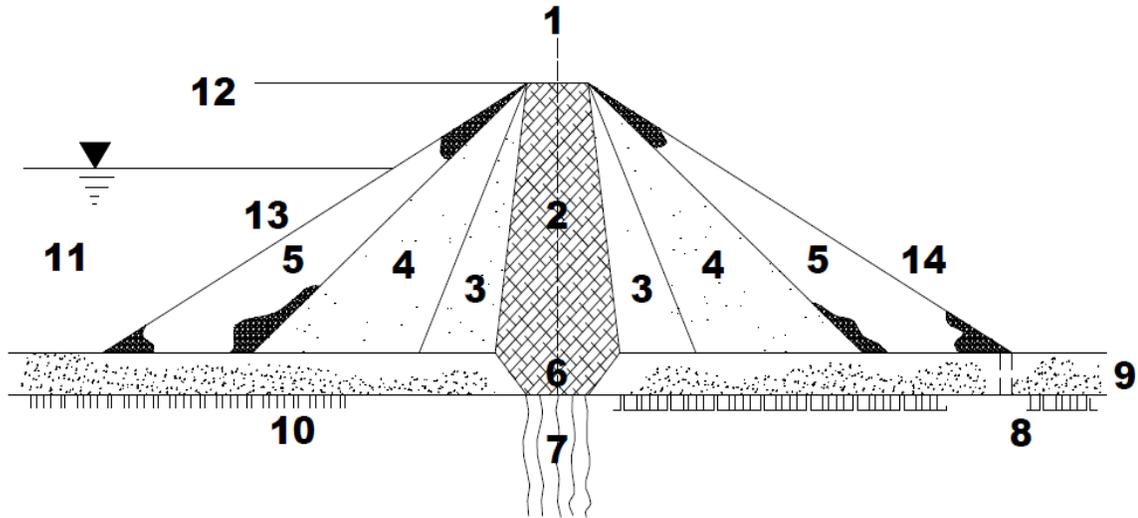


Figura. 1.2.3.1 Partes de una Presa.

SIMBOLOGÍA.

- | | |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1. Corona. | 8. Pozos de Alivio. |
| 2. Núcleo Impermeable. | 9. Depósito aluvial. |
| 3. Filtros. | 10. Roca Firme. |
| 4. Transiciones. | 11. Embalse. |
| 5. Respaldos. | 12. Bordo Libre. |
| 6. Trincheras. | 13. Talud Aguas Arriba. |
| 7. Pantalla de Inyecciones. | 14. Talud Aguas Abajo. |

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

1.3. DATOS CONSIDERABLES. (PRESAS).

➤ MAYOR ALTURA.



➤ MATERIALES SUELTOS.



“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

- MAYOR ÁREA DE CAPTACIÓN.



- MAYOR CAPACIDAD DE EMBALSE.

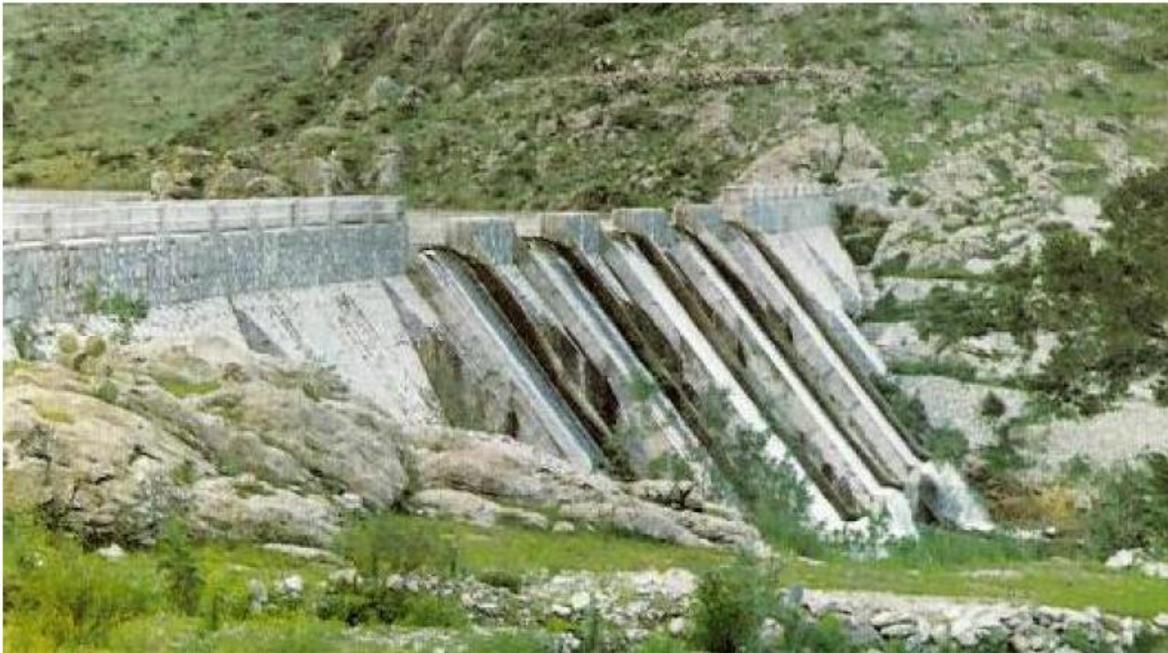


“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

- MAYOR CAPACIDAD DE VERTEDERO.



- MACHONES.

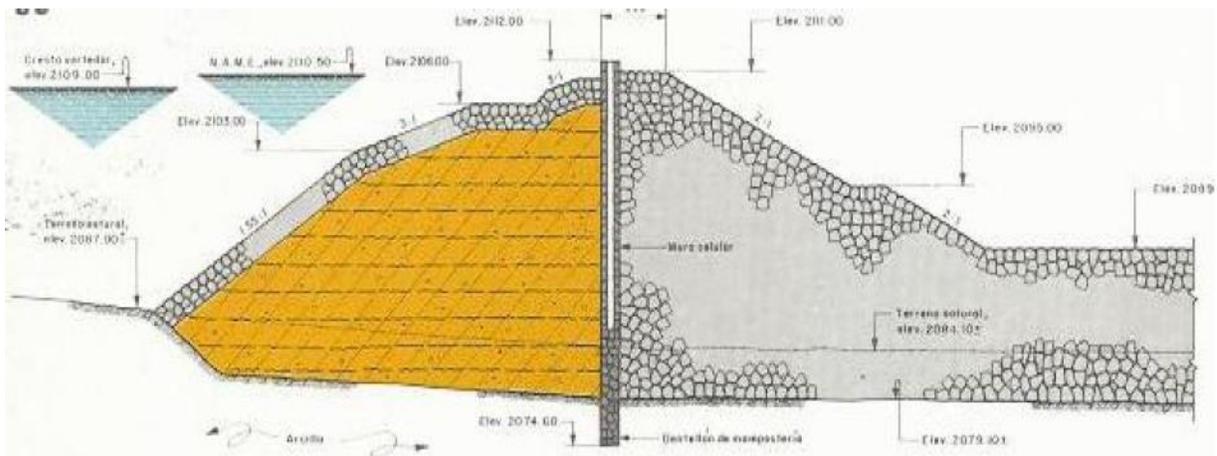


“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

➤ NÚCLEO DE TIERRA IMPERMEABLE.



➤ PANTALLA DE CONCRETO.

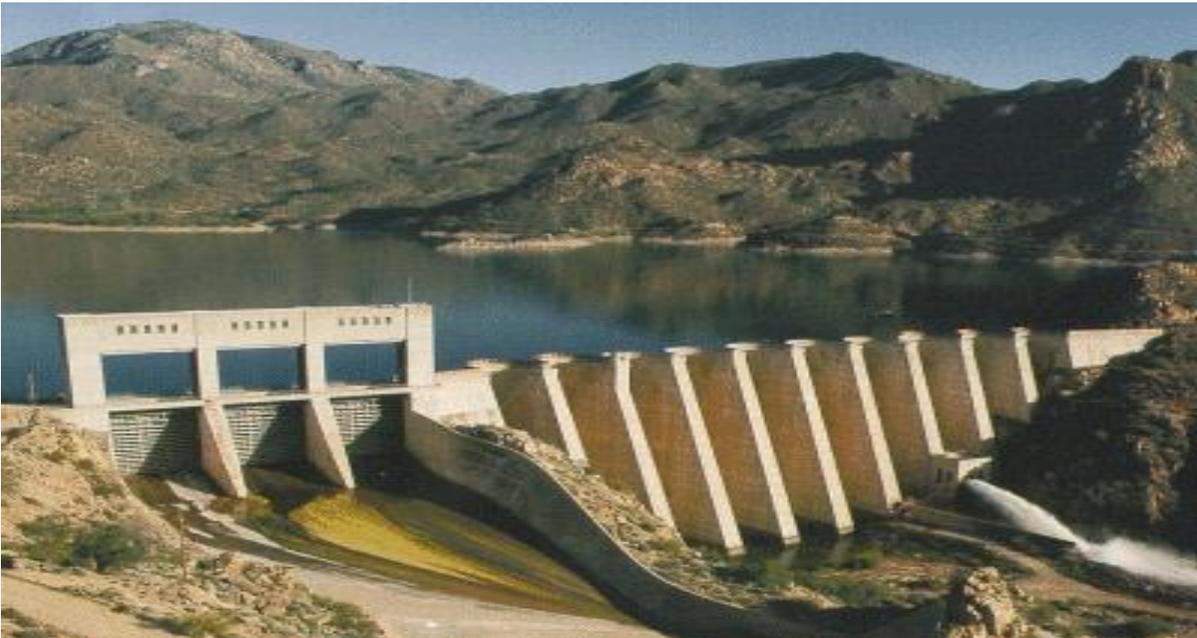


“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

➤ GRAVEDAD.



➤ CONTRAFUERTES.



“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

➤ ARCO.



“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

1.3.1. TIPOS DE PRESAS.

- **PRESAS DE TIERRA.**

Se construyen cuando existe material disponible adecuado, el nombre se debe a que su volumen total predomina la tierra (material impermeable). Estas son considerables cuando exista la cantidad necesaria de material impermeable, para retener el agua, resultan más económicas que otras.

- **PRESAS DE ENROCAMIENTO.**

Se construyen de materiales rocosos, teniendo en cuenta materiales como gravas, arenas y rocas grandes. Estas cortinas están constituidas de rocas sueltas y el parámetro de aguas arriba están revestidas con una losa de concreto hidráulico y asfáltico, placas de acero y madera.

- **PRESAS DE GRAVEDAD.**

Son determinadas a las cortinas de concreto masivo o mampostería, las cuales deben resistir las fuerzas externas expuestas, principalmente por el peso de sí mismas. Este tipo de cortinas tienen una sección recta casi triangular, con frecuencia se construyen en planta recta, aun cuando puede tener desviaciones que permiten con ventaja las características topográficas del sitio.

- **PRESAS DE CONTRAFUERTES.**

Estas surgen basándose en el mismo principio de las cortinas de gravedad, tomando en cuenta que es un desperdicio el volumen considerado como una presa de gravedad, por lo tanto la cortina de contrafuerte, obliga al concreto a trabajar a la máxima capacidad, reduciendo su volumen.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

- **PRESAS DE ARCO.**

Estas estructuras son curvas de concreto masivas, con convexidad hacia aguas arriba, la cual adquiere la mayor parte de estabilidad al transmitir la presión hidráulica y las cargas adicionales por la acción del arco, a las superficies de la cimentación.

- **PRESAS DE ARCOS MÚLTIPLES.**

Cortinas formadas por una serie de bóvedas que consisten en una serie de cascarones cilíndricos inclinados, apoyados en los machones y permiten mayor especialidad entre contrafuertes. La ventaja de estas presas, en comparación de las de losas, es poder soportar y transmitir cargas mayores para un claro determinado en condiciones económicas más favorables.

NOMENCLATURA

TE	TIERRA
ER	ENROCADO
PG	GRAVEDAD
CB	CONTRAFUERTES
BM	MÓVILES
VA	ARCO
MV	ARCOS MÚLTIPLES
XX	OTROS

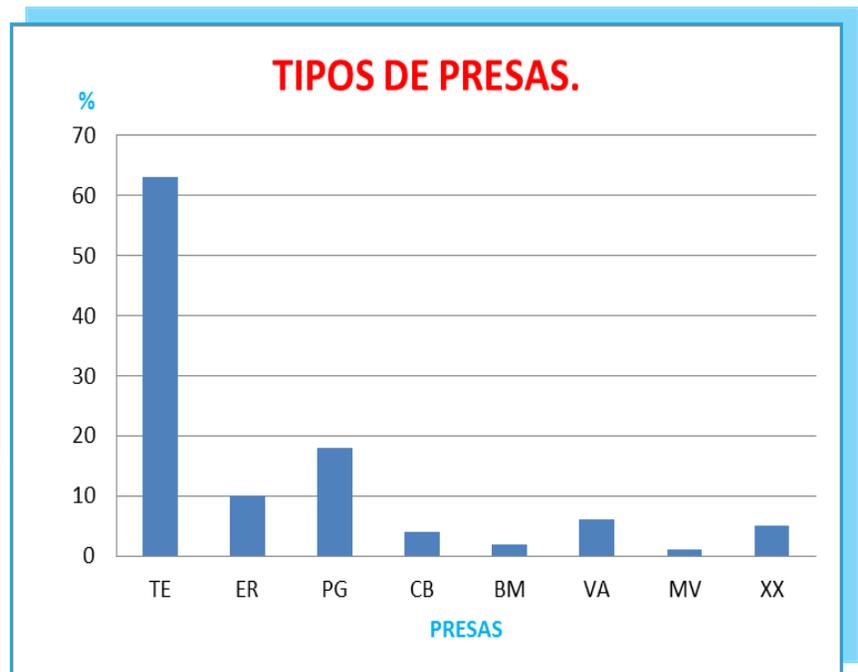


Figura 1.3.1.1. Presas registradas y construidas en México.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

CAPÍTULO II. OBJETIVO DE LOS VERTEDORES.

2.1 IMPORTANCIA DE LOS VERTEDORES.

Los vertedores son estructuras que tienen aplicación muy extendida en todo tipo de sistemas hidráulicos y expresan una condición especial de movimiento no uniforme en un tramo con notoria diferencia de nivel. Normalmente desempeñan funciones de seguridad y control.

La función principal de las obras de excedencias es permitir el desalojo de los volúmenes excedentes de agua en el vaso de almacenamiento; ésto establece de manera táctica que previamente se halla satisfecho la capacidad de almacenamiento en la presa; o sea, que el embalse se encuentre lleno hasta su nivel de conservación o al máximo de operación antes de que se inicien los desfuegos por estas importantes estructuras.

Es importante que la planeación, diseño y construcción de los vertedores de demasías, radique en que la estructura sea considerada como una válvula verdadera de seguridad en las presas; ya que permite de una forma controlada y calculada la derivación y evacuación de los volúmenes excedentes sin peligro para la presa.

Los vertedores de demasías se construyen con objeto de dar paso a los volúmenes de agua que no pueden retenerse en el vaso de una presa de almacenamiento. En el caso de presas derivadoras, por el vertedor, pasan las aguas excedentes que no serán aprovechadas. Mientras que en una presa de almacenamiento se trata de evitar desfuegos y por lo tanto el uso de los vertedores. En el caso de las presas derivadoras, el funcionamiento de la obra de excedencias será más frecuente y, en algunos casos, permanente.

Las Obras de Excedencia son un aprovechamiento superficial de la estructura que permiten descargar los volúmenes de agua que exceden a la capacidad útil de control en un almacenamiento, para ser conducidos fuera del vaso y llevados aguas abajo nuevamente al río, evitando daño a las otras estructuras con el máximo de seguridad.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

Dichas funciones se realizan usualmente con vertedores y sólo en casos especiales de obras pequeñas, se utilizan los sifones: por tal motivo las Obras de Excedencias son a menudo Vertedores de Excedencias.

Las obras de excedencias se utilizan para descargar la llamada Avenida de Diseño o Máxima probable, cuyas características se obtienen de los estudios hidrológicos del río y en el tránsito de avenidas a través del Vaso Almacenador. Éstas son proyectadas para un amplio margen de seguridad, que pueden ocurrir en 10,000 años.

Como se sabe, las Obras de Excedencias son uno de los elementos indispensables de las Presas no Vertedoras. En cada proyecto de una presa hay que realizar estudios de comparación para saber qué tipo de Vertedor es más conveniente utilizar.

El presente trabajo tiene como propósito principal el proporcionar una idea, lo más clara posible, sobre el análisis de vertedores empleados en el diseño de presas en nuestro país, y aquí presentamos un procedimiento lógico para diseñar los vertedores desde el punto de vista hidráulico.

CÁPITULO III. CLASIFICACIÓN DE LOS VERTEDORES.

3.1. GENERALIDADES.

Por lo general, los vertedores se clasifican por el espesor de sus paredes, ya que pueden ser de pared delgada o de pared gruesa, también por el tipo de su descarga, siendo ésta de descarga libre, descarga parcial o completamente sumergido.

Los vertedores también pueden clasificarse por su forma, es decir, Triangular (él cual es muy propio para la medición de caudales pequeños), Rectangular, (es el más común para gastos grandes), Trapezoidal, (que bien visto, es la combinación del Vertedor Triangular y Rectangular, también conocido como Vertedor Cipolletti. Este vertedor puede ser de aristas afiladas, para una mejor precisión en el aforo de gastos, circular y proporcional).

También puede clasificarse a los vertedores por su posición en relación con la corriente del canal de descarga en paralelo al eje de la cresta, si no es paralelo al eje del vertedor es de cresta recta con o sin perfil Creager y puede ser de abanico si la cresta es curva.

Además suele clasificarse a los vertedores como controlados si tiene compuertas. Por su tipo de descarga se clasifican en: Caída Recta o Descarga Libre, Derrame o Cimacio, de Canal Abierto (con mucha o poca pendiente), de Conducto de Túnel, Boca de Caída, Alcantarilla o Sifón.

A continuación se presenta la información más detallada de la clasificación de los vertedores.

- **SU FORMA**

Según sus formas pueden ser simples o compuestos.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

Dentro de los simples están:

➤ Rectangulares:

Para este tipo de vertederos se recomienda que la cresta del vertedero sea perfectamente horizontal, con un espesor no mayor a 2 mm en bisel y la altura desde el fondo del canal $0.30 \text{ m} \leq w \leq 2h$.

➤ Triangular:

Hacen posible una mayor precisión en la medida de carga correspondiente a caudales reducidos. Estos vertederos generalmente son construidos en placas metálicas en la práctica, solamente son empleados los que tienen forma isósceles, siendo más usuales los de 90° .

➤ Trapezoidal de Cipolletti:

Cipolletti procuró determinar un vertedor trapezoidal que compense el decrecimiento del caudal debido a las contracciones. La inclinación de las caras fue establecida de modo que la descarga a través de las mismas fue establecida de modo que la descarga a través de las paredes triangulares del vertedor que correspondan al decrecimiento de la descarga debido a contracciones laterales, con la ventaja de evitar la corrección en los cálculos. Para estas condiciones, el talud resulta 1:4 (1 horizontal para 4 vertical).

➤ Circular:

Se emplean rara vez, ofrecen como ventajas la facilidad de construcción y que no requieren la nivelación de la cresta.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

➤ Proporcionales:

Son contruidos con una forma especial, para el cual varia proporcionalmente a la altura de lámina líquida (primera potencia de H). Por eso también se denominan vertedores de ecuación lineal.

Se aplican ventajosamente en algunos casos de control de las condiciones de flujo en canales, particularmente en canales de sección rectangular, en plantas de tratamiento de aguas residuales.

➤ Compuestos:

Están contruidos por secciones combinadas.

• SU ALTURA RELATIVA DEL UMBRAL

Pueden ser vertedores completos o libres, cuando el nivel de aguas arriba es mayor que el nivel aguas abajo, es decir $p > p'$.

O incompletos o ahogados, en estos el nivel de aguas abajo es superior al de la cresta, $p' > p$, en los vertedores ahogados el caudal disminuye a medida que aumenta la sumersión.

• EL ESPESOR DE LA PARED

Según el espesor de la pared los vertedores se clasifican en:

➤ Vertedores de pared delgada:

La descarga se efectúa sobre una placa con perfil de cualquier forma, pero con arista aguda.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

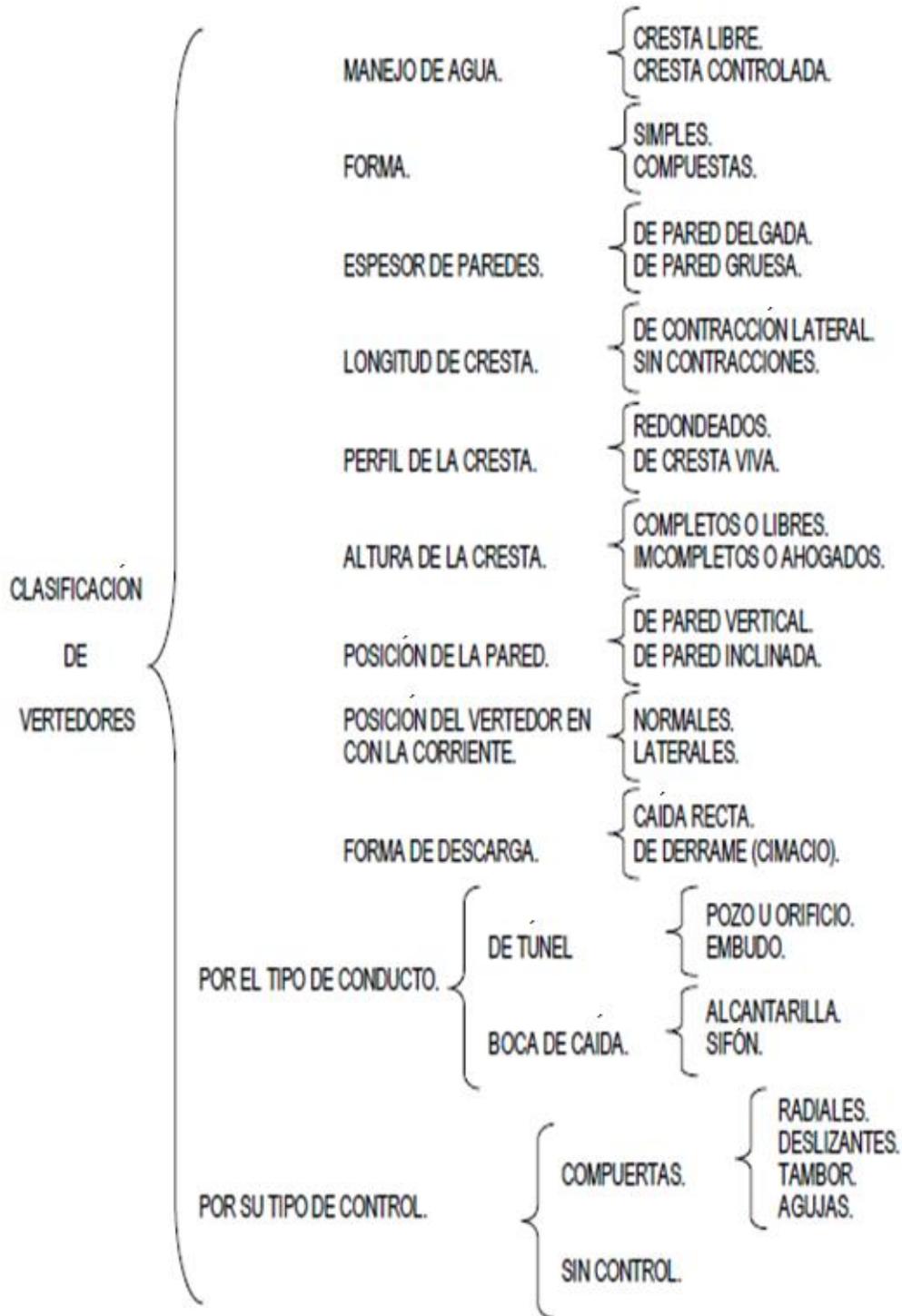
➤ Vertedores de pared gruesa:

$e > 0.66H$, la cresta es suficientemente gruesa para que en la vena adherente se establezca el paralelismo de los filetes.

• LA LONGITUD DE LA CRESTA

Pueden ser vertedores sin contracciones laterales ($L=B$), cuando la longitud de la cresta es igual al ancho del canal y vertedores con contracciones laterales ($L < B$), la longitud L es menor que el ancho del canal de acceso.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”



“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS VERTEDORES.

Atendiendo a las diversas características de los vertedores, existe una clasificación, una de ellas atiende a la forma de control, y los clasifica como cresta fija y cresta controlada.

A parte de las clasificaciones ya mencionadas, las obras de excedencia son conocidas por su nombre propio que les viene de cierto rasgo característico de su posición o de alguna de sus partes, para fin de identificación fácil.

Los más conocidos son:

- Vertedor de Caída Libre.
- Vertedor de Cimacio.
- Vertedor en Embudo.
- Vertedor en Rápida.
- Vertedor en Túnel.
- Vertedor en Sifón.
- Vertedor en Abanico.
- Vertedor de Canal Lateral.
- Vertedor de Servicio y Auxiliares.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.2.1. VERTEDOR DE CAÍDA LIBRE.

Este vertedor se localizan en la parte superior de un embalse, teniendo un desarrollo muy corto y sin poseer una estructura que guíe el agua del embalse al cauce, ya que se deja caer desde la cresta del vertedor hasta el cauce del mismo. Por lo que corresponde a su desarrollo, quedan incluidos los vertedores de Pared Delgada, aquellos que contienen un pequeño desarrollo de Cimacio, y otros en los que después del pequeño cimacio remata la estructura en una cubeta de lanzamiento. Puede tener o no compuertas de control, pueden ser de cresta curva o recta.

Este tipo de vertedores se recomiendan para las presas de Arco, Contrafuertes y de Sección de Gravedad Vertedora.

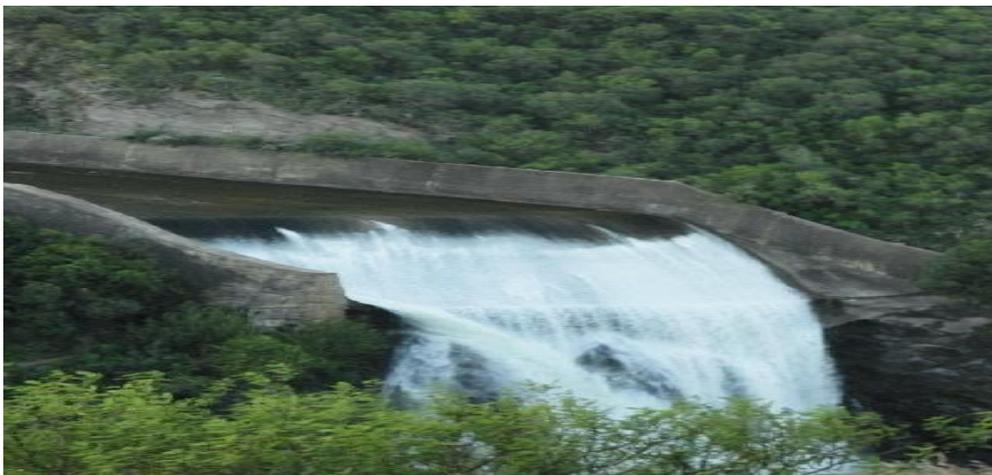


Figura 3.2.1.1 Vertedor de Caída Libre.

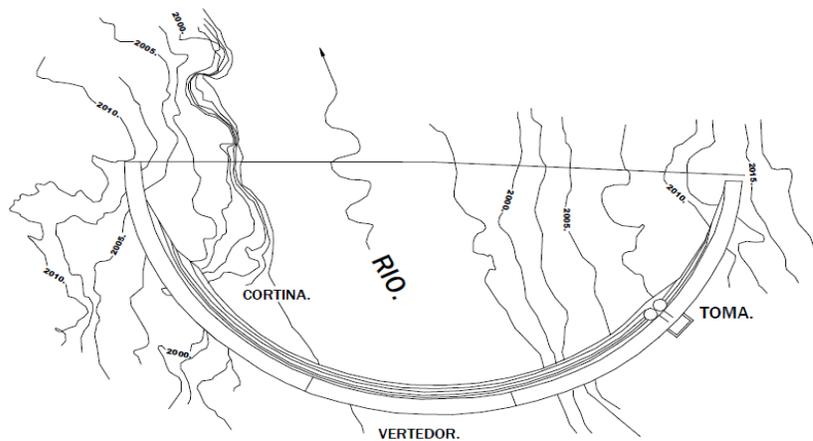


Figura 3.2.1.2 Vertedor de Caída Libre (visto en planta).

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.2.2. VERTEDOR DE CIMACIO.

Este tipo de vertedores están **constituidos por una cresta de control curva que tiene aproximadamente la forma de la sección inferior de la lámina vertiente de un vertedor de cresta delgada ventilado**. La superficie curva continúa en una rápida de alta pendiente tangente a ella y relativamente corta, está rematada a una superficie curva contraída a la cresta, la cual llega a la tangente de la plantilla de un tanque amortiguador y a un canal de descarga, que ya no es parte del vertedor sino de un canal de conducción.



Figura. 3.2.2.1. Vertedor en Cimacio.

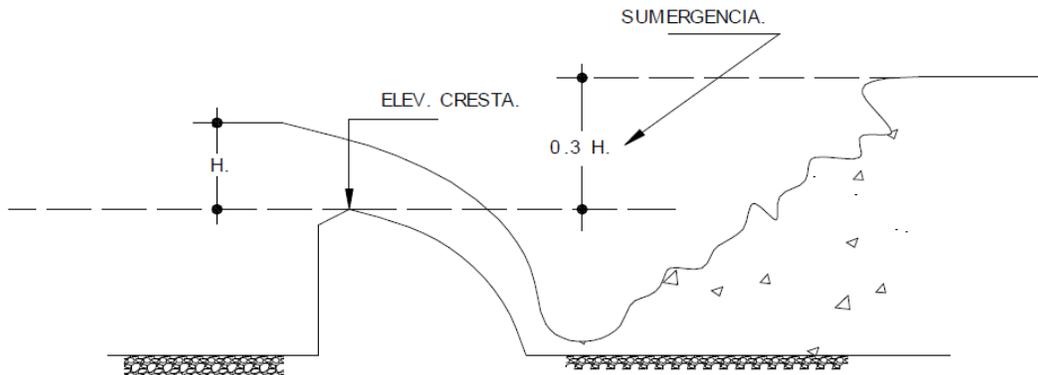


Figura 3.2.2.2. Perfil de Vertedor en Cimacio.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.2.3. VERTEDOR EN EMBUDO.

Vertedor en el cual el agua entra sobre el bordo en posición horizontal, cae un tiro vertical e inclinado y luego cae al cauce del río aguas abajo por un entubamiento horizontal. Cuando la entrada tiene forma de embudo a este tipo se le llama vertedor de demasía de bocina.

Las características de descarga de estos vertedores varían de acuerdo a la carga hidráulica. El volumen también varía de acuerdo a las capacidades relativas de descarga del vertedor, de la transición luego al tramo del tubo lleno en la porción de aguas abajo. No se recomienda proyectar los vertedores para trabajar con tubo lleno excepto las caídas de muy poca altura.

La estructura de control está formada por un cimacio de perfil especial, cuya cresta en planta es circular; el agua pasa a través de la cresta y cae en una lumbrera vertical o inclinada conectada a la zona de descarga en el río a través de un túnel o conducto casi horizontal.

Elementos del Vertedor en Embudo.

- Entrada de Pozo.
- Cresta del Vertedor.
- Dentellones de Collar.
- Conducto.
- Canal de Descarga.
- Estanque Amortiguador.
- Cresta.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

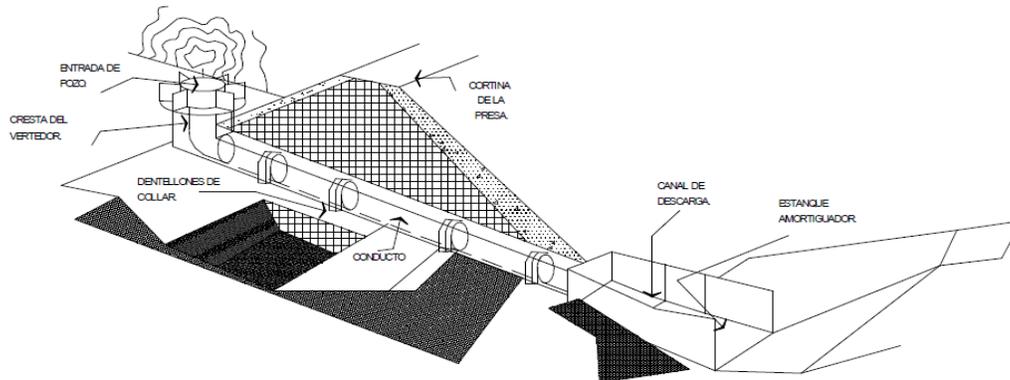


Figura 3.2.3.1. Partes que constituyen un Vertedor de Embudo.

Los vertedores en Embudo se pueden usar ventajosamente en emplazamientos de las presas de los cañones muy angostos en los que las laderas son muy inclinadas, donde se dispone un túnel de derivación o de un entubamiento para usarse como ramal de aguas.



Figura. 3.2.3.2. Funcionamiento de Vertedor de Embudo.¹

Otra ventaja de este tipo de vertedores es que casi alcance la máxima capacidad con cargas relativamente pequeñas, esto hace que el vertedor sea ideal para usarse cuando su gasto está limitado. Esto puede resultar una desventaja, ya que aumenta la capacidad cuando las cargas son mayores que las del proyecto. Lo que resultaría favorable es que este tipo de vertedor sea usado como Vertedor de Servicio en combinación con un Vertedor Auxiliar o de emergencia.

¹ USBR, Design of Small Dams, 1960.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS
CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”



Figura. 3.2.3.3. Vertedor en Embudo.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.2.4. VERTEDOR EN RÁPIDA.

Se asigna este nombre a aquellas estructuras que están constituidas de un **cimacio recto normal a un canal que le sigue y colocados en la parte superior de un embalse**. Se ponen con frecuencia por encima de alguno de los empotramientos de la cortina o de algún puerto.

Para reducir las excavaciones, el tramo inicial se escoge con poca pendiente hasta casi interceptar el perfil del terreno. A partir de ese punto se escoge aproximadamente como el perfil de terreno natural. Debe existir precaución y revisar la posibilidad de ocurrencia de problemas de cavitación del canal.

Cuando, por razones topográficas, el eje del canal de entrada o el de conducción deban curvarse, esta curva tendrá la preferencia al canal de entrada. Para un buen funcionamiento hidráulico, deben evitarse cambios bruscos en la plantilla del sentido vertical y en ancho del canal. Si se necesita un cambio de ancho en el canal, este cambio debe ser gradual.

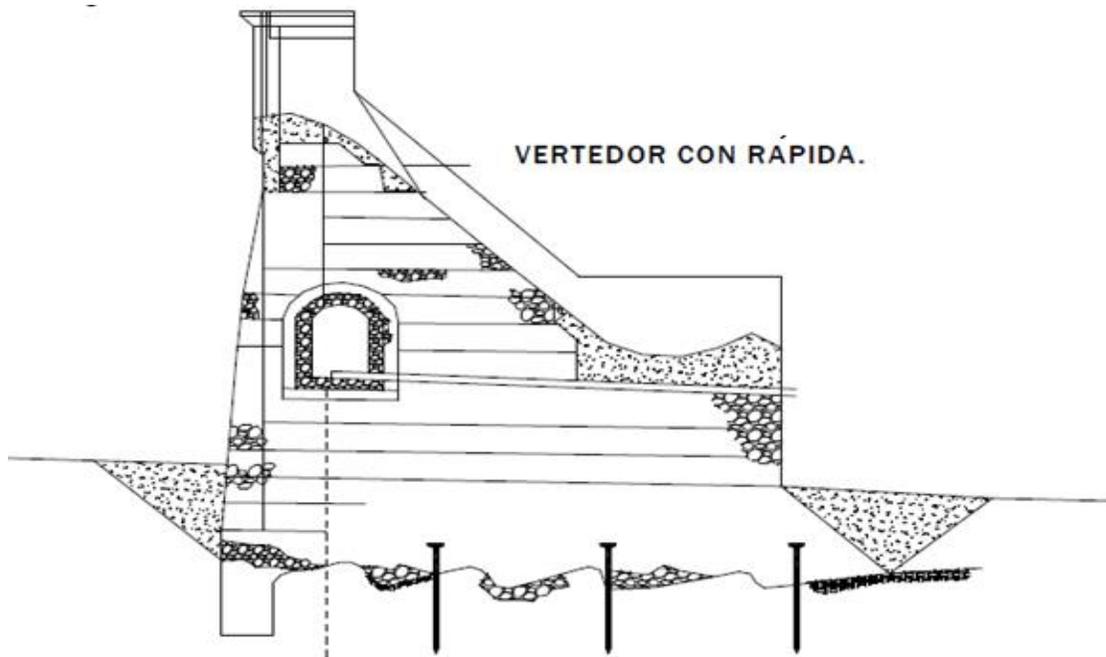


Figura. 3.2.4.1. Vertedor con Rápida en Presa de Gravedad.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.2.5. VERTEDOR EN TÚNEL.

Este, tiene ventajas cuando la utilización de un vertedor en canal produce excavaciones muy grandes especialmente en el caso de boquillas estrechas y cortinas altas. El caudal total se reparte en uno o más túneles que excavados en las montañas descargan libremente al río a la elevación que evite su ahogamiento por remansos ocasionados en el cauce. Para ello deben tomarse en cuenta condiciones geológicas y topográficas que brinden una buena cimentación en la zona del portal de salida del túnel y que impidan erosiones importantes en el sitio de caída de chorro. Es conveniente considerar que los túneles empleados en las Obras de Desvío pueden utilizarse posteriormente como conductos de descarga.

En el caso de que el gasto de diseño fuese calculado, los túneles se llenarían y la eficiencia del conjunto vertedor-túnel disminuiría notablemente. Esto presenta menor peligro en los vertedores de canal y con ello una desventaja de los vertedores de túnel. Cuando la caída es grande, se desarrollan velocidades del agua excesivas que puedan dañar seriamente los revestimientos del túnel. Su reparación trae consigo maniobras más complicadas y costosas que en los vertedores de canal.

Por tanto, es recomendable emplear Vertedores en Túnel sólo cuando se agoten las posibilidades de empleo de otros tipos. En México se han construido algunos vertedores de Túnel, como es el caso de los proyectos Hidroeléctricos de Infiernillo y Chicheoasen, considerados los más grandes del país.

Elementos del Vertedor de Túnel.

- Estructura de Control.
- Túnel de Transición.
- Túnel de Desvío.
- Sección de Control.
- Conducto de Descarga.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

- Cubeta Salto de Esquí.

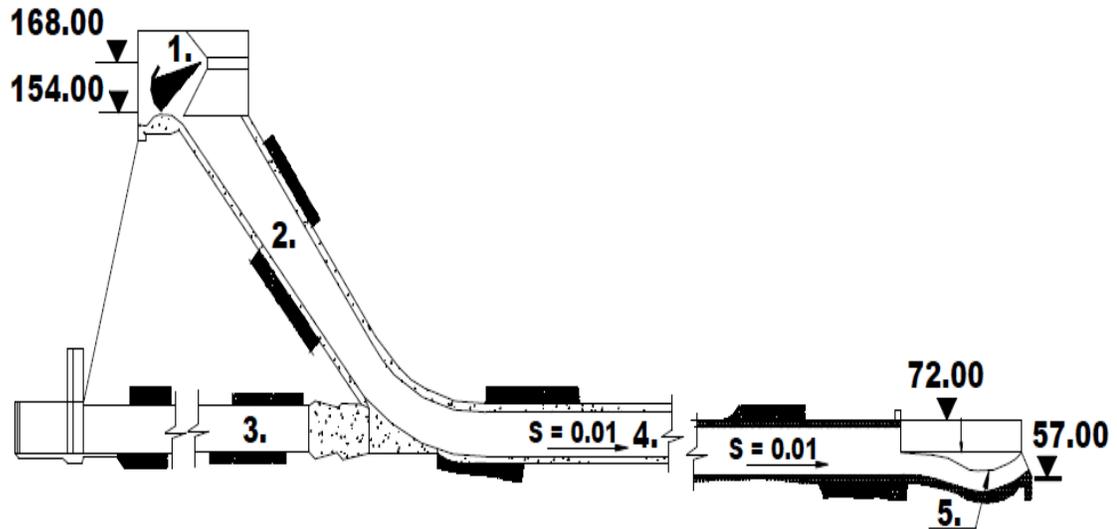


Figura 3.2.5.1. Vertedor en Túnel, Presa El infiernillo, Gro. Michoacán.

1. Estructura de Control.
2. Túnel de Transición.
3. Túnel de Desvío.
4. Túnel de Descarga.
5. Cubeta de Salto de Esquí.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.2.6. VERTEDOR EN SIFÓN.

Los Vertedores en Sifón, son sistemas de conductos cerrados en forma de “U” invertida colocada en tal posición que al interior de la curva del pasaje superior tenga la altura del nivel normal de almacenamiento en el vaso. Las descargas iniciales del vertedor al subir el nivel del vaso arriba de lo normal tienen un funcionamiento similar al de un vertedor.

El funcionamiento como sifón tiene lugar después de que se ha agotado el aire de la cámara que se forma sobre la cresta. La corriente continua se sostiene por efecto de succión debido al agua de la rama inferior del sifón.

Elementos del Vertedor en Sifón.

- Rama Superior.
- Garganta o Control.
- Rama Inferior.
- Salida.
- Ventilación para interrumpir el efecto sifónico.
- Transición.
- Conducto de Descarga.
- Canal de Salida.
- Disparador de Energía.
- Estructura Terminal.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

La ventaja de utilizar este tipo de vertedores, es la calidad para dar paso a descargas de toda su capacidad dentro de estrechos límites de carga. También la superación efectiva y automática sin mecanismos ni paredes móviles.

Como es el caso de otros tipos de conductos cerrados, una de las principales desventajas es la imposibilidad que tienen para manejar gastos mucho mayores que el de la capacidad del proyecto, aunque la carga del vaso exceda el nivel del proyecto.

Por tanto el vertedor de Sifón está adaptado al funcionamiento de vertedor de servicio en combinación con una estructura auxiliar.

Hay que situar la entrada abajo del nivel de agua en el vaso para evitar la acumulación de escombros y basura que, por la inclusión de aire, rompan la acción sinfónica.

A causa de las presiones negativas con que trabaja el sifón, el conducto tiene que ser lo suficientemente rígido para resistir la fuerza del colapso. Se debe evitar agrietamientos del tubo a causa de movimientos y asentamientos en la cimentación. Para evitar presiones absolutas cercanas a la de vaporización, se limita la carga negativa a un máximo de 6 m.

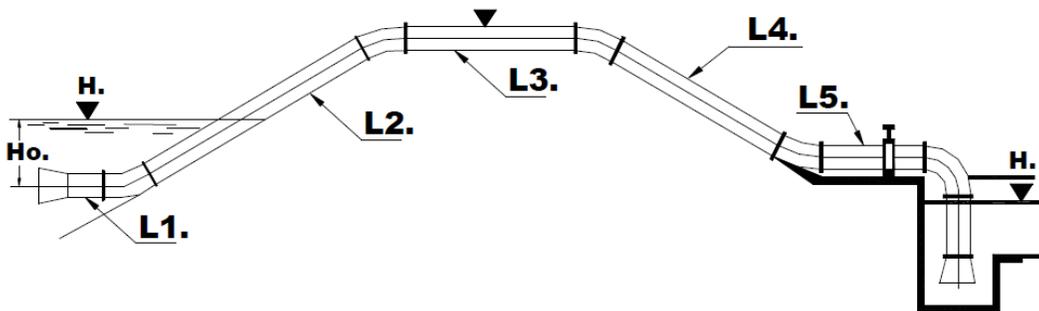


Figura. 3.2.6.1. Vertedor en Sifón.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.2.7. VERTEDOR EN ABANICO.

Es una estructura constituida por un cimacio en curva cóncava en relación a la dirección media del escurrimiento y viendo en el mismo sentido, él cual descarga en un tanque de geometría que propicia un resalto al pie del cimacio y un escarmiento lento en el mismo.

El nombre del vertedor de Abanico, proviene del cimacio y el ya mencionado tanque, así como las partes restantes de la estructura que tiene una forma afín a un abanico. En el extremo del tanque se tiene una sección de control, después, a través de una transición en donde se ve acelerado el escurrimiento se llega a un canal de sección constante con régimen rápido.



Figura. 3.2.7.1. Vertedor en Abanico.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

El vertedor de abanico puede considerarse como una variante de los vertedores de canal lateral, como resulta más económico que el de canal lateral, se recomienda hacer un estudio comparativo para su empleo. En cuanto a su funcionamiento hidráulico se pueden seguir las reglas de diseño utilizadas para el vertedor de canal lateral. Siempre que las condiciones topográficas lo permitan pueden remplazar a los vertedores de canal lateral.

Para describirlo basta decir, que un vertedor de abanico se parte en dos por la línea de corriente media y se obtienen dos vertedores en medio abanico. Este tipo de vertedores se emplean generalmente cuando es necesario proporcionar una longitud de cresta considerable con cargas pequeñas, esto es un gasto por unidad de longitud de cresta pequeño.

En caso de que la obra de excedencia esté ubicada en una ladera o en un puerto y la longitud de la cresta necesaria sea muy grande, este tipo de vertedor permitirá un canal de descarga relativamente angosto, de tal manera que se pueda ahorrar grandes volúmenes de excavación, esto puede considerarse como una variante en los vertedores de canal lateral y de abanico.

Los vertedores de abanico son construidos con mayor frecuencia, si su principal finalidad es el riego, tanto en México como en otros países, a veces con algunas variantes en su geometría.

Elementos del Vertedor en Abanico.

- Canal de acceso.
- Cimacio.
- Colchón.
- Sección de control.
- Arcos de abanico.
- Transición.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

- Conducto de descarga.
- Canal de salida.
- Disparador de energía.

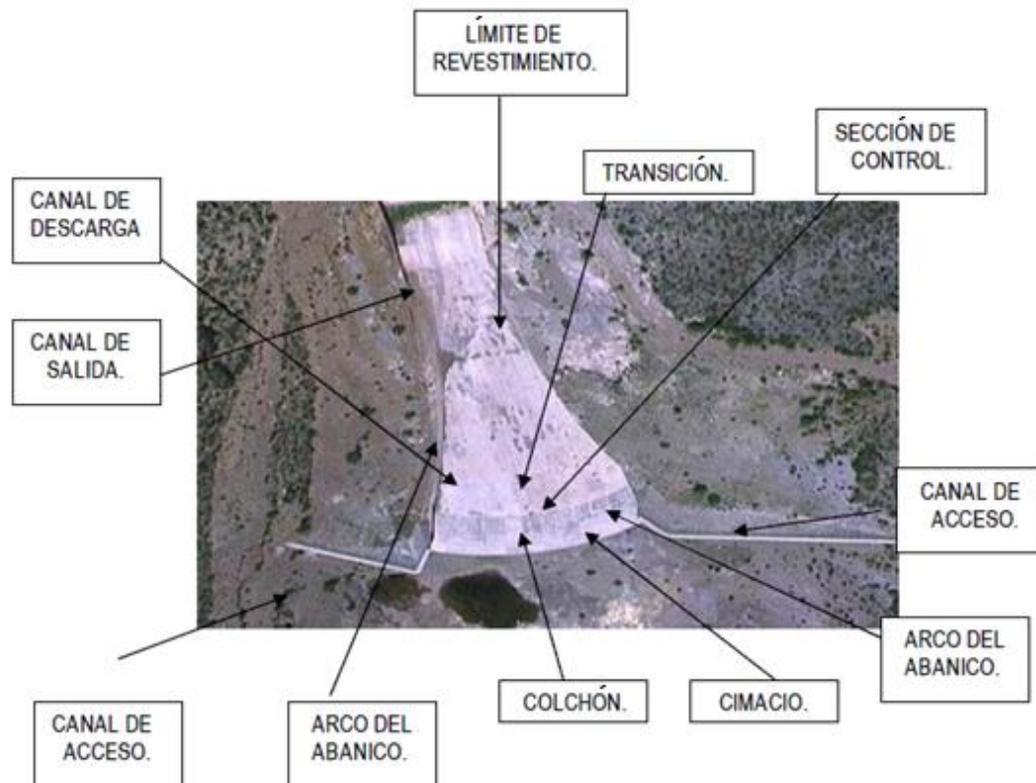


Figura. 3.2.7.2. Partes que constituyen el Vertedor de Abanico.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.2.8 VERTEDOR EN CANAL LATERAL.

Los vertedores en canal lateral son aquellos en los que el **Vertedor de Control, la forma del cimacio y la cresta son paralelos al tramo inicial del conducto de descarga**, así recibiendo el nombre de Capa Colector. En el agua que se vierte sobre la cresta cae en un conducto angosto al contrario de la descarga principal.

Este proyecto está ligado solamente a las condiciones hidráulicas que imperan en el tramo de aguas arriba del canal de descarga y es, más o menos, independiente a los detalles elegidos para los componentes restantes del vertedor.

La descarga de los canales puede ser conducida directamente a un canal de descarga abierto, a un conducto cerrado o a un túnel inclinado. El agua puede entrar en el canal lateral en uno sólo de los lados del mismo, en el caso que esté colocado en una ladera inclinada, o por ambos lados o en su defecto en el extremo si está ubicado en la cumbre de una loma o una ladera suave.

Las características de descarga en un Vertedor Lateral son similares a las de un Vertedor Ordinario y depende del perfil elegido para la cresta. Sin embargo, para las descargas máximas, dicho funcionamiento hidráulico en el canal puede diferir de los vertedores ordinarios, donde su circulación puede restringirse en el conducto y por su cresta puede quedar ahogada.

Elementos del Vertedor de Canal Lateral.

- Canal de Acceso.
- Cresta del Vertedor.
- Cubeta.
- Canal de Descarga.
- Dados Amortiguadores.
- Tanque Amortiguador.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”



Figura 3.2.8.1. Elementos que constituyen un Vertedor de Canal Lateral.

En este caso, las características de funcionamiento son controladas por una construcción en el canal de aguas abajo del conducto. Dicha construcción puede ser un punto de escurrimiento crítico del canal; o un orificio de control o un túnel lleno.

Aunque el Canal Lateral no es una estructura hidráulicamente eficiente, debido a la turbulencia fuerte y a grandes vibraciones que se producen, tiene ventajas que lo pueden hacer adaptable a ciertos sistemas de Vertedores de Demasías. Cuando se desea una cresta vertedora larga con el propósito de limitar la carga hidráulica de la sobrecarga, las laderas son ancladas e inclinadas, o donde el control debe conectarse a un canal de descarga angosto o túnel; el vertedor lateral es con frecuencia la mejor elección.

También se llaman Vertedores de Canal Lateral, aquellos que tienen un tanque-canal colector paralelo a la cresta vertedora, seguido de un canal de rápida. En la mayoría de los casos la cresta vertedora suele ser recta, pero hay veces, en que se hace curva y otras en que el extremo aguas arriba de la cresta continua en una curva pronunciada rodeando el mismo extremo del tanque-canal.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.2.9. VERTEDOR DE SERVICIO Y AUXILIARES.

Cuando la topografía del lugar lo permite debe considerarse la posibilidad de emplear una combinación de Vertedores de Servicios y auxiliares, ésto repercute muchas veces en la economía del proyecto.

Se llama Vertedor de Servicio, a la estructura que sirve para descargar con mayor frecuencia y desde niveles altos de una presa, los volúmenes excedentes de agua, debido a este hecho en su diseño debe considerarse el factor frecuencia de descarga.

El Vertedor Auxiliar está diseñado para funcionar cuando las avenidas citadas anteriormente sean rebasadas.

Se recomienda el empleo de este tipo de vertedores cuando las descargas por un sólo vertedor sean de consideración, cuando uno sólo resulte incosteable, o cuando un sitio sea insuficiente. Cuando aguas abajo del sitio de descarga no permitan gastos extraordinarios, es una opción la construcción de un Vertedor Auxiliar que descargue a otro valle.

La construcción de Vertedores Auxiliares es económica, pero depende básicamente de su topografía, siempre y cuando exista un puerto que pueda aprovecharse, o cuando alguna de las laderas circundantes al vaso tenga una pendiente suave a la que pudieran excavarse en un canal. En ambos casos deberá tenerse cuidado de que la descarga pueda ser conducida a una corriente natural y de que no ocasione fenómenos, tales como la socavación, que afecte, a la seguridad de la obra en general.

El control de Vertedores de Servicio puede establecerse por medio de agujas compuertas deslizantes, también pueden usarse diques “fusibles” que proyecten para que se rompan cuando el agua las rebasa, esto tiene como ventaja que el control sea casi automático.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”



Figura. 3.2.9.1. Vertedor Auxiliar Funcionando Cuando las Avenidas son Rebasadas.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.3. DETERMINANTES PARA LA ELECCIÓN DEL VERTEDOR.

Para determinar el tipo de Vertedor más adecuado a emplear para cada presa, existen diversos factores que en general se condicionan al proyecto. Dichos factores, deben analizarse en conjunto y dependiendo del problema específico que se trate, unos u otros adquieren mayor importancia, por lo que el orden en que se mencionan no implica el orden de importancia.

- **INTERRELACIÓN ENTRE LA CORTINA Y EL VERTEDOR.** Dicha relación en una presa es un hecho evidente, no sólo por las condiciones físicas sino también económicas. Generalmente la localización y características de la cortina y el vertedor se deciden de forma conjunta por medio de un análisis técnico económico, en el cual tiene un peso importante en la relación de las combinaciones de la altura de cortina y la longitud del vertedor, lo cual se realiza mediante el tránsito de la avenida de diseño de la presa.

Sin embargo, en ocasiones, las condiciones específicas del lugar en donde se debe desarrollar el proyecto (**topografía, hidrología, geología, disponibilidad de materiales, etc.**) pueden imponer un determinado tipo de cortina, en función de la cual se deberá escoger el vertedor más adecuado.

- **CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS DEL VASO.** Este factor influye no solo en cuanto la existencia de sitios adecuados para localizar el vertedor, también es determinante en la capacidad de regulación de las avenidas que se presenten y por lo tanto en las características del vertedor.
- **CARACTERÍSTICAS DEL ESCURRIMIENTO.** Se puede decir, que dentro del tipo de escurrimiento de un río está relacionado con las características climatológicas de la región y las fisiográficas, morfológicas y edafológicas de la cuenca. Las cuales condicionan la generación y forma de presentación de las avenidas. Las que a su vez serán un factor importante en la selección del tipo y tamaño del vertedor, en relación con el objetivo de la presa o con la necesidad del control de avenidas que pueda existir.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

- **OBJETIVO DE LA PRESA.** Se puede condicionar en ocasiones el tipo de vertedor, por ejemplo, derivación, regulación, control de avenidas a considerar estas últimas a la vez, las características del vertedor serán distintas no solo al tamaño, sino también al tipo de éste.

En otro sentido, el objetivo de una presa puede considerar el tipo de vertedor, es el caso de **presas construidas para regular un escurrimiento y alimentar una central hidroeléctrica**, en las cuales la magnitud y características de la casa de máquinas, se une a factores topográficos de escasez de espacio, pueden llegar a determinar el tipo de vertedor a utilizar.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

3.4. CONSIDERACIONES EN LA ELECCIÓN DEL VERTEDOR.

En base a lo antes mencionado, se puede llegar a las siguientes consideraciones.

- Por norma general en presas con cortinas de materiales graduados o de enrocamiento, la obra de excedencia debe ser independiente al cuerpo de la cortina, salvo los casos en que las condiciones del lugar imponga realizar una estructura de concreto se incluya en la cortina, es decir, que se encuentra en esta parte para verter por coronación, con lo que la solución se debe realizar con canal lateral o un vertedor en túnel, instalados sobre un de los márgenes del propio cauce del río o aprovechar collados laterales que permitan verter a una barranca próxima afluente del cauce principal aguas debajo de la cortina.
- Con respecto al problema de disipación de la energía del agua, las características geológicas del lugar no representa problema alguno a una solución del tipo de cubeta deflectora y menos en relación al tanque amortiguador, por lo que ambas soluciones son factibles.

La **Obra de Control de Excedencias** debe ser de tipo neutro, con compuertas radiales separadas por pilas postensadas a la magnitud de las compuertas.

Para la elección del vertedor, como ya se mencionó, se tienen las características de la ubicación más correcta, será sencillo hacer la consideración siguiente: es necesario proponer grúas colocadas en la parte superior para realizar la manipulación de los obturadores se deberá poner en el vertedor hacia aguas arriba una pendiente con un talud 1 : 1 para poder desplantar la pila en esta zona; con relación al perfil del cimacio se elige le forma de SCIMENI, la cual presenta las características que se menciona en la parte correspondiente al criterio geométrico.

En presas hidroeléctricas se recomienda el empleo de vertedores de cresta controlada; sin embargo, dado que en este caso existe un riesgo de una mala operación o fallas en las compuertas, deberá analizar y estudiar muy cuidadosamente el empleo de éstas.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

El control se logra con distintos tipos de compuertas, dentro de las que incluyen las de bisagra, tambor, deslizantes, radiales o de segmentos y aun aquellas que se nombran agujas.

En un vertedor de túnel se debe proporcionar una aireación suficiente para evitar la posible acción de sifón que resulta cuando un tramo de túnel tiende a sellarse temporalmente debido al desalojamiento de aire causado por ondas o remansos.

CAPÍTULO IV. CÁLCULO HIDRÁULICO.

4.1. DISEÑO HIDRÁULICO EN VERTEDORES EN ABANICO.

4.1.1. ASPECTOS GENERALES.

Este tipo de vertedores se emplea cuando se necesita proporcionar una longitud de cresta considerable con cargas pequeñas, esto es un gasto por unidad de longitud de cresta pequeño. Su geometría requiere de un espacio amplio y se adapta a la topografía que exista en un “puerto” o boquilla abierta. Esto permite una longitud de cresta vertedora grande con un canal de descarga menos ancho ayuda a economizar grandes volúmenes de excavación en comparación con los vertedores logrados de cresta recta de transición y canal de descarga.

La geometría del vertedor proporciona una reducción considerable en las dimensiones horizontales de la estructura y construirla en un espacio más pequeño que lo necesario si esta tuviera cresta recta y con mínimo de problema de ondas cruzadas por el efecto de contracción en el canal. De esta manera resulta factible que el escurrimiento continúe a gran velocidad en un canal de dimensiones menores y gran pendiente.

La estructura de control toma forma por un cimacio de trazo curvo cuya geometría en planta está concebida de manera que contraiga y maneje el escurrimiento hacia el eje del vertedor, a fin de que la transición al canal de descarga no sea brusca. Sin embargo, lo antes mencionado implica que el diseño geométrico en planta del canal de acceso sea de gran amplitud a fin de que el escurrimiento llegue al cimacio en dirección normal a la cresta.

Con el fin de evitar ondas cruzadas en la transición, es necesario que el cimacio descargue una plataforma horizontal llamada Colchón, conectándose con el perfil del cimacio por medio de una curva circular para lograr disminuir el impacto de la corriente. Esto cambia a un régimen subcrítico mediante un resalto que extiende sobre todo el colchón. Después de la selección de control donde cambia de pendiente y de régimen nuevamente, el agua sigue por la transición donde se va acelerando desde la velocidad crítica, para continuar en un canal de sección constante y pendiente supercrítica que en general mantiene su geometría hasta la estructura terminal.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

4.2. PROCEDIMIENTO PARA DISEÑAR VERTEDORES EN ABANICO.

Se sugiere lo siguiente:

- Emplear cimacios de altura mínima, que funcione de manera que el tirante que se forma en el colchón, al pie del cimacio, después del salto, sea más alto que su cresta, pero únicamente lo necesario para tener con cualquier gasto exactamente la misma carga hidráulica que si los cimacios hubiesen sido varios metros más altos y funcionen completamente libres, o sea en los que los niveles del agua del colchón hayan quedado varios metros debajo de las crestas.
- Encontrar que la sección de control sea esencialmente un vertedor de colchón y que el vaso de almacenamiento aumente poco, por tal motivo a la primera se le domina cresta vertedora. A las secciones de control vertedoras se les da forma de línea recta, logrando con ello una facilidad en el diseño y la construcción de la transición y del canal de descarga.
- Proponer un pequeño bordo circular, que se coloque en la sección de control vertedora, con el que queda resuelto el problema de forma definitiva en la formación del Salto Hidráulico al pie del cimacio para todos los gastos con que funciona el vertedor.
- Determinar las dimensiones de los arcos del abanico, para la sección de control que quede colocada correctamente para facilitar la salida de la corriente.
- Al mismo tiempo el empleo del uso de cimacios de pequeña altura, disminuir las profundidades de las plantillas de la transición y de los canales de descarga y de salida.

En los vertedores ensayados, aplicando dichas normas, se ha conseguido obtener economías muy considerables.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

4.3. DISEÑO GEOMÉTRICO.

Este obedece a reglas Empíricas obtenidas de modelos y de experiencia en su operación. Los cálculos se realizan bajo hipótesis de un escurrimiento unidimensional, aunque el vertedero es tridimensional, siendo necesario conocer la Carga y el gasto de Diseño. La longitud de la cresta (L), se calcula mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{ECUACIÓN 1} \text{ ----- } Q = C * L_e (H)^{3/2}$$

Dónde:

C = Coeficiente de descarga en $(m^{1/2} / s)$.

H = Carga total de operación, incluyendo carga de velocidad de llegada en (m).

L_e = Longitud efectiva de cresta en (m).

Q = Descarga en (m).

Y para ello se ha obtenido de modelos hidráulicos que el coeficiente de descarga varia de **1.90 a 2.03**, según la profundidad del canal de acceso y el grado de ahogamiento.

A continuación se muestra la simbología utilizada para la geometría en planta y en elevación del Vertedor en Abanico y algunas relaciones entre los elementos geométricos obtenidos de estructuras ya construidas.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

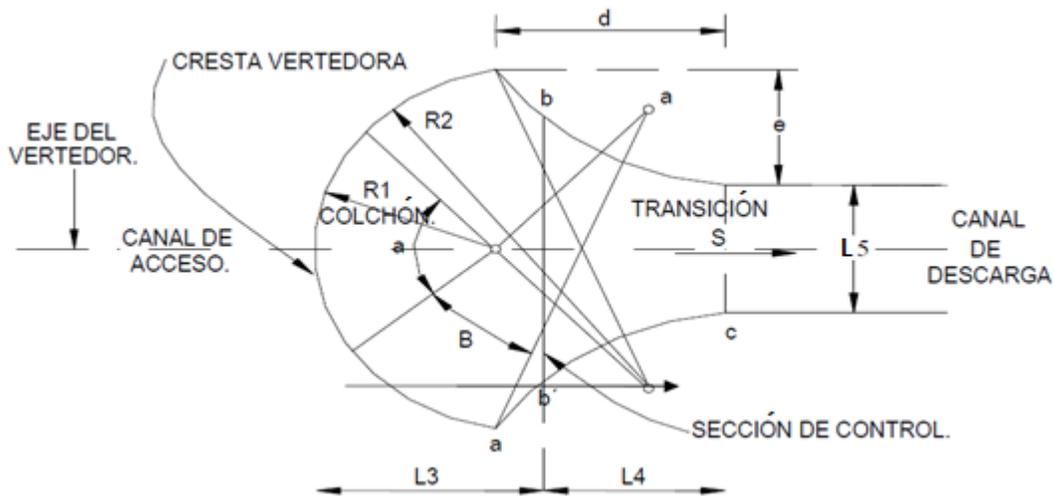


FIGURA. 4.3.1. Vista en planta del vertedor de Abanico.

Donde:

L1 = Longitud de la cresta en (m).

R1 = Radio del arco central de la cresta en (m).

α = Ángulo total del área central en (grados).

R2 = Radio de los arcos laterales de la cresta en (m).

β = Ángulo de los arcos laterales en (grados).

L2 = Arco de la sección de control b-b, en (m).

L3 = Distancia de la cresta a la sección de control a lo largo del eje longitudinal en (m).

L4 = Distancia de la sección de control al final de la transición en (m).

L5 = Ancho del canal de descarga en (m).

S = Pendiente inicial de la rápida, en la zona de transición.

H = Carga máxima sobre la cresta vertedora en (m).

h = Altura del cimacio.

d = Longitud de la transición medida sobre el eje del vertedor en (m).

e = Ancho de la transición en (m).

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

Relación importante entre los elementos geométricos.

PRESA	L1/H	R1/L1	α	R2/L1	β	L2/L1	L3/L1	L4/L1	S	h/H
A.L.M.*	23.7	0.273	76	0.736	24	0.487	0.342	0.464	0.1	1.11

*PRESA ADOLFO LOPEZ MATEOS.

En cualquier caso se deben cumplir las siguientes condiciones:

$$\text{ECUACIÓN 2.} \left. \begin{array}{l} \text{-----} \\ \text{-----} \\ \text{-----} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 1.0 < \frac{\alpha}{2\beta} < 2.5 \\ 2.5 < \frac{R2}{R1} < 5.0 \\ 1.25 < \frac{d}{e} < 1.75 \end{array}$$

Para determinar las dimensiones preliminares de la geometría en planta puede usarse la *Figura. 5.1.3. página 61 del presente trabajo*, y donde se utiliza la relación $L1/H$ y se obtienen los valores $R1, L2, L3, L4, L5, \alpha$ y β .

Siendo la longitud de cresta:
$$L1 = \left(\frac{2\pi\beta^\circ}{180^\circ} \right) R2 + \left(\frac{\pi\alpha^\circ}{180^\circ} \right) R1$$

Para α y β en grados, despejamos $R2$, que es:

$$\text{ECUACIÓN 3.} \text{-----} \quad R2 = \frac{90^\circ L1}{\pi \beta^\circ} - \frac{0.5 \alpha R1}{\beta^\circ}$$

La ubicación y ancho de la sección de control quedan determinados por los valores de $L2$ y $L3$ para una transición con taludes en las orillas 1 : 1. Así mismo, queda determinada la forma en planta de la transición en su contorno a, b , y c , adaptándose a una curva circular compuesta. Si el ancho de plantilla deseado en el canal de descarga es diferente a $L5$ calculado, debe modificarse la dimensión $L4$ procurando respetar la forma de la transición.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

4.4. DISEÑO HIDRÁULICO.

El valor de H , se debe verificar mediante los cálculos hidráulicos que a continuación se presentan. Aplicando la ecuación de Bernoulli entre el vaso y una sección al pie del cimacio, para un gasto unitario $q = Q/L1$ se obtiene:

$$\text{ECUACIÓN 4.} \text{-----} h + H = y1 + \left(\frac{q^2}{2g * y1/2} \right)$$

De la cual puede determinarse $y1$. Con la fórmula del salto hidráulico para canales rectangulares se obtiene el conjugado mayor.

$$\text{ECUACIÓN 5.} \text{-----} y2 = \frac{y1}{2} (\sqrt{1 + 8 Fr^2} - 1)$$

Donde $Fr1$ es el número de Froude al pie del cimacio.

El nivel de agua después del salto no debe sobrepasar del nivel de la cresta más del 20 % de la carga, esto es:

$$\text{ECUACIÓN 6.} \text{-----} y2 - h \leq 0.2 H$$

Esto implica aceptar un 20 % de ahogamiento en el vertedor.

Para determinar el ancho de la sección de control $L2$, se debe satisfacer simultáneamente la ecuación de Bernoulli y la condición de régimen crítico en la sección de control como:

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

$$\text{ECUACIÓN 7.} \dots\dots\dots y^2 + \frac{V^2}{2g} = Y_c + \frac{Q^2}{2g \cdot A^2 c}$$

Donde:

$A_c = (L^2 + k \cdot y_c) Y_c$ Área de la sección de Control en (m²).

$B_c = L^2 + 2k \cdot Y_c$ Ancho de la superficie libre en la sección de control en (m).

Q Gasto Total en (m³/s).

Y_c Tirante de la sección de control en (m/s).

V_c Velocidad de la sección de control en (m/s).

Debe verificarse que no exista otra sección de control inmediata para la geometría y pendiente supuestas y para ello se deben de aplicar las ecuaciones anteriores entre las diferentes secciones de la transición.

La pendiente de la plantilla, en el tramo de transición, debe ser suficientemente grande para garantizar que no se ahogue el cimacio y por lo menos igual a 0.05. Después de la transición, la pendiente del canal de descarga puede disminuir; si ésto va de acuerdo con las condiciones topográficas.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

4.5. DATOS GENERALES. PRESA ADOLFO LÓPEZ MATEOS.

La presa Adolfo López Mateos, construida sobre el Río Humaya ubicado en el estado de Sinaloa. Tiene como finalidad el Control de Avenidas, el riego y la Generación Hidroeléctrica.

La obra se localiza en la vertiente del Océano Pacífico de la Sierra Madre Occidental. La Presa de 106 metros de altura desde la cimentación y 765 metros de longitud de Corona.

La Obra de Excedencias está ubicada en un puerto en el margen derecho situado a unos 4 Km; al Noroeste de la Boquilla y, su descarga carga cae al Río Humaya a través de un arroyo. La estructura del vertedor es de tipo Abanico, de cresta libre de 160 metros de longitud, formado por 3 arcos en círculo.

La construcción de la presa se hizo en dos etapas. En la primera fase, se trabajó en el Río por la margen izquierda por medio de un canal de desvío de 30 metros de ancho que se redujo después a 20 metros, se trabajó en la preparación de la cimentación y en las terracerías en el cauce del río en la margen derecha. En la segunda etapa, el río se desvió por los túneles de la obra de toma y se cerró el canal de desvío construyéndose las terracerías restantes.

Durante el cierre de la presa se presentó una avenida de $8,130 \text{ m}^3/\text{seg}$; que se controló por los túneles a un caudal de $830 \text{ m}^3/\text{seg}$; con un almacenamiento en el vaso de 230 millones de m^3 ; esta avenida fue semejante a la máxima registrada, en 1943 que alcanzó $8,340 \text{ m}^3/\text{seg}$.

La avenida causó daños en las estructuras de rejillas pero no produjo erosiones en el concreto de revestimiento de los túneles que soportaban velocidades del orden de $11 \text{ m}/\text{seg}$.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

El comportamiento de la presa resultó satisfactorio. No se han observado pérdidas por infiltración en el vaso. Los asentamientos después de 4 años son del orden de 0.25 metros que representan el 0.24 % con respecto a la altura de la presa.

En la columna de la presa y en la del dique se han representado grietas longitudinales, cerca de los parámetros exteriores en el tramo de altura máxima, motivadas por asentamientos diferenciales entre el núcleo impermeable y los respaldos, pero de poca profundidad y que se corrigiera fácilmente. No se observaron filtraciones a través de la cimentación de los empotramientos.

La Obra de Excedencias ha derramado con un caudal de $785 \text{ m}^3 / \text{seg}$; en una avenida estimada de entrada de $4,500 \text{ m}^3 / \text{seg}$, las erosiones producidas por este derrame en el Canal de Descarga no revestido fueron de magnitud pequeña.

CUENCA	
Superficie.	$10,972 \text{ Km}^2$
Avenida Máxima Registrada.	$8,340 \text{ m}^3 / \text{seg}$.
Escurrimiento medio anual.	$1,807 * 10^6 \text{ m}^3$
Precipitación media anual.	900 mm.

VASO.	
Capacidad Total	$4,064 * 10^6 \text{ m}^3$
Área Máxima Inundada.	12,800 ha
Capacidad Útil.	$2,365 * 10^6 \text{ m}^3$
Capacidad para Supermacenamiento.	$784 * 10^6 \text{ m}^3$
Capacidad para Azolves.	$135 * 10^6 \text{ m}^3$
Capacidad para el Control de Avenidas.	$780 * 10^6 \text{ m}^3$

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

VERTEDOR DE EXCEDENCIAS	
Volumen de Concreto.	$188 * 10^3 \text{ m}^3$
Caudal Máximo de Descarga.	$5,600 \text{ m}^3 / \text{seg.}$
Carga.	748 m
Caudal Máximo Descargado.	$935 \text{ m}^3 / \text{seg.}$
Avenida de Diseño.	$15,000 \text{ m}^3 / \text{seg.}$

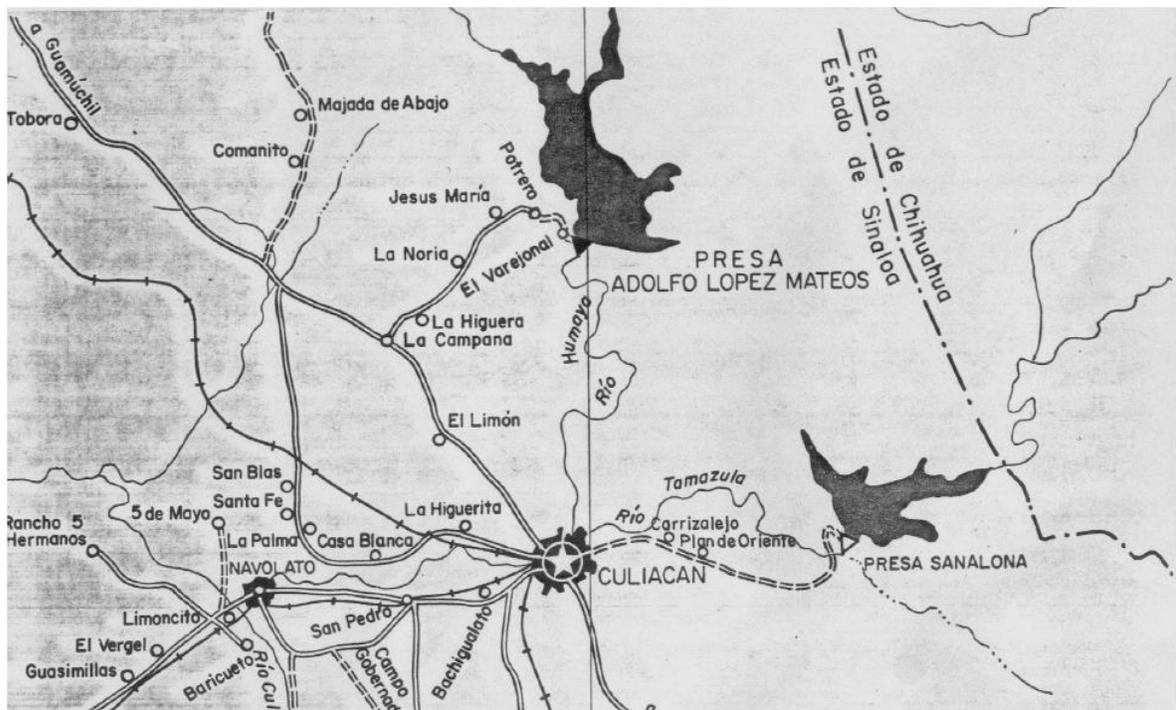


Figura. 4.5.1. Localización de la Presa Adolfo López Mateos.

CAPÍTULO V. APLICACIONES.

5.1. EJEMPLO DE VERTEDOR EN ABANICO PARA LA PRESA ADOLFO LÓPEZ MATEOS.

Un vertedor en abanico debe descargar en un gasto de $5,000 \text{ m}^3/\text{s}$ con una carga sobre la cresta de 6.00 m . Determinar las dimensiones del vertedor.

Solución:

Considerando que la carga máxima del vertedor se elige como la de diseño $Hd = 6.00 \text{ m}$, una profundidad $p = 10.00 \text{ m}$, del canal de acceso y un coeficiente de descarga $C = 2$, se tiene que:

$$L1 = \frac{Q}{2 (Hd)^{3/2}} = \frac{5,000}{2 (6.00)^{3/2}} = 170.103 \text{ m.}$$

El gasto unitario es: $q = \frac{5,000}{170} = 29.4118 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}.$

Siendo también que: $\frac{L1}{H} = \frac{170}{6.00} = 28.3333.$

Del siguiente parámetro:

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE VERTEDORES EN ABANICO.
(Comisión Federal de Electricidad, 1990. México.)

$$\begin{aligned}\alpha &= 77^\circ \\ \beta &= 22^\circ \\ R1 &= 0.24 * 170 = 40.80 \text{ m.} \\ L2 &= 0.48 * 170 = 81.60 \text{ m.} \\ L3 &= 0.37 * 170 = 62.90 \text{ m.} \\ L4 &= 0.41 * 170 = 69.70 \text{ m.} \\ L5 &= 0.23 * 170 = 39.10 \text{ m.} \approx 39.00 \text{ m.} \\ h &= 1.12 * 6.00 = 6.72 \text{ m.}\end{aligned}$$

Considerando la « **Ecuación 3** » y sustituyendo valores resulta:

$$R2 = \frac{90 * 170}{\pi * 22^\circ} - \frac{0.5 * 77^\circ * 40.8}{22^\circ} = 149.970 \text{ m.} \approx 150.00 \text{ m.}$$

A partir de la **Geometría en planta del Vertedor**², se deduce que:

$$\frac{L5 + 2e}{2} = (R2 * \text{Sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right) + \beta) - (R2 - R1) \text{Sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right)$$

Sustituyendo valores:

$$L5 + 2e = \left\{ (150.00 \left(\text{Sen} \frac{77^\circ}{2} \right) + 22^\circ) - (150.00 - 40.80) \text{Sen} \left(\frac{77^\circ}{2} \right) \right\} (2)$$

$$L5 + 2e = 125.1495 \text{ m.} > L2.$$

² Figura. 4.3.1. - Del presente trabajo. « Planta del vertedor »

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

Despejando (e).

$$e = \frac{(L5+2e)-L5}{2} = \frac{125.15 - 39}{2} = 43.075 \text{ m.}$$

De acuerdo a su geometría tenemos que:

$$L3 + LA = d + R1 \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) + R2 \left(\cos \frac{\alpha}{2}\right) - \left(\cos \frac{\alpha}{2} + \beta\right).$$

$$L3 + LA = 132.6 \text{ m.}$$

De aquí obtenemos que $d = 80.2017 \text{ m.} > LA$.

Ya que (d) es la longitud de transición medida sobre el eje del vertedor.

Con excepción de la relación $\left(\frac{d}{e}\right)$ que es $\frac{80.2027 \text{ m}}{43.0748 \text{ m}} = 1.862 \text{ m}$, y que debe cumplir con la regla de las relaciones de la **página 48**.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

$$1.0 < \frac{\alpha}{2\beta} < 2.5 = 1.0 < \frac{77^\circ}{2 \cdot 22^\circ} < 2.5 = 1.0 < 1.75 < 2.5 \dots \text{Cumple.}$$

$$2.5 < \frac{R2}{R1} < 5.0 = 2.5 < \frac{150.00}{40.80} < 5.0 = 2.5 < 3.676 < 5.0 \dots \text{Cumple.}$$

$$1.25 < \frac{d}{e} < 1.75 = 1.25 < \frac{80.2027 \text{ m}}{43.0748 \text{ m}} < 1.75 = 1.25 < 1.862 < 1.75 \dots \text{No Cumple.}$$

La forma de los Arcos del Abanico se deja a criterio del proyectista pudiendo ser Circular, Compuesta o Elíptica.

De acuerdo a la ecuación de Bernoulli, suponiendo $h = 6.72 \text{ m}$, resulta que:

$$h + H = y1 + \frac{q^2}{2g \cdot y2}$$

$$6.72 + 6 = y1 + \frac{(29.4118)^2}{2g \cdot y2}$$

Tenemos que:

$$y1 = 2.03 \text{ m.}$$

$$V1 = 14.4886 \text{ m/s.}$$

$$Fr = 3.2467.$$

$$y2 = 8.3609 \text{ m.}$$

$$y2 - h = 1.64 > 0.2 H.$$

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

Lo que implica un ahogamiento menos al permisible.

Por lo tanto es necesario que $h_o = 6.72$ m.

Después de haber tanteos al valor de h es: $H = 7.35$ m.

En efecto se obtiene:

$$Y1 = 1.968 \text{ m.}$$

$$V1 = 14.945 \text{ m/s.}$$

$$Fr = 3.4013.$$

$$y2 = 8.5335 \text{ m.}$$

$$Y2 - h = 1.1835 < 1.20 H.$$

Siendo:

$$V2 = \frac{q}{Y2}; \quad V2 = \frac{29.4118 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}}{Y28.5335 \text{ m}}; \quad V2 = 3.4466 \text{ m/s.}$$

La energía específica es:

$$Ep = h + \frac{V^2}{2g}; \quad Ep = 8.5335 + \frac{(3.4466)^2}{19.62}; \quad Ep = 9.139 \text{ m.}$$

Así mismo, considerando la Sección de Control y Talud 0.5 : 1, la Energía Especifica mínima necesaria para un ancho $L_2 = 81.60$ m. se calcula con el parámetro:

$$\frac{QK^{3/2}}{b^{5/2}\sqrt{g}} = \frac{5000*(0.5)^{3/2}}{(81.6)^{5/2}\sqrt{9.81}} = 0.00938.$$

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

Mediante gráficas se obtiene:

$$\frac{K * Y_c}{b} = 0.043.$$

$$Y_c = 7.0176 \text{ m.}$$

$$A_c = 597.2595 \text{ m}^2.$$

$$V_c = 8.371 \text{ m/s.}$$

$$E_{min} = 10.59 > 9.139 \text{ m.}$$

Por lo tanto debe revisarse la longitud y ubicación de la sección de control.

Considerando que $E_{min} = 9.139 \text{ m}$, se calcula la longitud L_2 que debe tener la sección de control y para ello es necesario hacer tanteos. Suponiendo $L_2 = 103 \text{ m}$, se tiene el parámetro siguiente:

$$\frac{KE_{min}}{b} = \frac{0.5 * 9.139}{103} = 0.0444.$$

De las gráficas:

$$\frac{K * Y_c}{b} = 0.03;$$

$$Y_c = 6.18 \text{ m.}$$

$$A_c = 655.6362 \text{ m}^2.$$

$$V_c = 7.6262 \text{ m/s.}$$

$$E_c = 9.1443 \text{ m.} \approx 9.139 \text{ m}; \text{ lo que verifica la posición } L_2 = 103 \text{ m.}$$

Lo anterior indica que el ancho de la sección de control debe ser por lo menos de **103 m**, y a partir de esto hacer el cambio de pendiente con el fin de que, en ningún caso, se vuelva a producir tirante crítico aguas abajo. Puede observarse que la magnitud de L_2 se encuentra comprendida entre $L_5 + 2e$ y L_5 de manera que es solo cuestión de ubicación y no de cambio de la forma de la transición, se pueden mantener los valores de d y e , únicamente modificando L_3 y L_4 , aunque $L_3 + L_4$ siga siendo de **132.6 m**.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

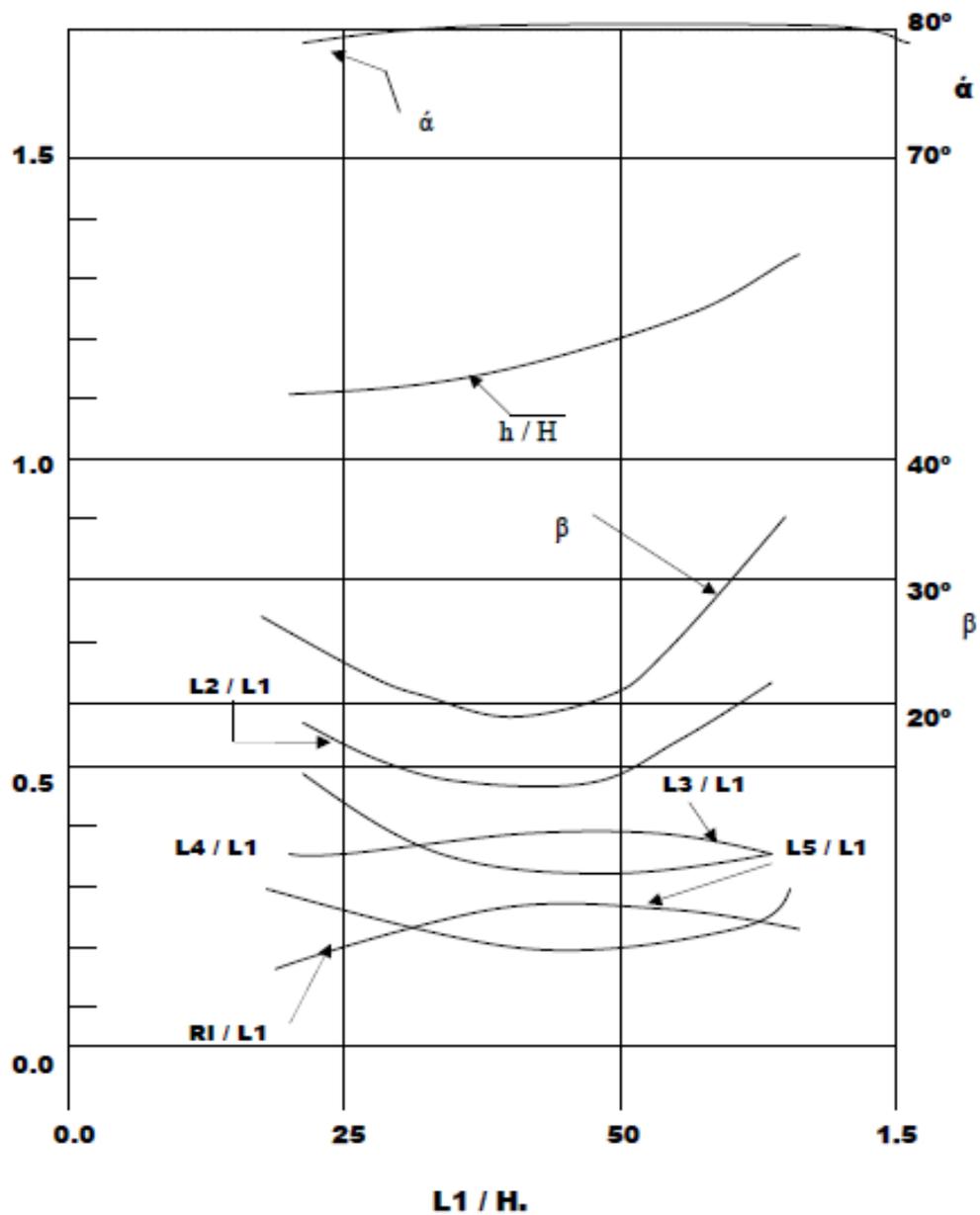


Figura. 5.1.3. Parámetros para el diseño de Vertedores en Abanico.⁴

⁴ Comisión Federal de Electricidad, 1990. México.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La planeación y construcción de un proyecto hidráulico, como ya se ha mencionado, requiere de un estudio factible y preciso; el cual depende de una serie de estudios y trabajos de gabinete los cuales han sido expuestos en forma general en el Capítulo I; una vez ya realizados estos trabajos preliminares y haciéndose factible la construcción del proyecto, es necesario e imprescindible que la aportación técnica por parte del proyectista tienda a aprovechar al máximo los recursos existentes teniendo como resultado la optimización funcional de dicha obra para los fines deseados.

En el desarrollo del presente trabajo de tesis, se ha tenido como resultado una recopilación informativa a partir de la consulta de diferentes fuentes bibliográficas tomando lo más significativo, ha sido lo más destacado sobre la importancia de la planeación y diseño de vertedores considerados como verdaderas fuentes de seguridad como estructura fundamental en la construcción de una Obra Hidráulica de gran envergadura como lo es una Presa.

La conclusión expuesta es la solución en el diseño geométrico y comportamiento hidráulico del Vertedor en Abanico; con un diseño bajo hipótesis unidimensional y no tridimensional como se presenta en la realidad y no desarrollando completamente la teoría que origina estos procedimientos de solución en este tipo de problemas; sin embargo los resultados generales deberán ser interpretados de manera sigilosa y responsable para la proyección geométrica hacia la cual va dirigida.

Es importante hacer de nuestro conocimiento que las obras de ingeniería de presas han crecido durante el presente siglo en magnitud y audacia. Al mismo tiempo, debido a que los sitios que propone la naturaleza para la ubicación de las obras son limitadas, se cuenta con una menor disponibilidad de emplazamientos aptos, o dicho de otra manera, existe una menor disponibilidad de emplazamientos.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

Por otro lado, por las condiciones actuales del país, es notorio que dichas obras sean lo más económicas posibles, de donde es necesario planificar y estudiar cuidadosamente las posibilidades de su reacción y construcción, así mismo su conservación para garantizar un buen funcionamiento durante un tiempo prolongado.

Durante el diseño de vertedores existen novedosos métodos, con los cuales se reducen dimensiones y excavaciones, por lo que resulta muy provechoso el costo económico de dichas Obras Hidráulicas.

En algunos casos los resultados se ven interrumpidos por la falta de atención de las autoridades y se ve reflejado tanto en el diseño y construcción como su revisión periódica y ordenada en su comportamiento. En otros aspectos, los resultados catastróficos se deben a la falta de concientización y preparación de la población para actuar ante una emergencia.

Resulta claro que falta un mayor conocimiento sobre este tipo de estructuras innovadoras en nuestro país, pero es necesario despertar el interés tanto en investigaciones como en las dependencias involucradas en el Diseño de Estructuras Hidráulicas.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

- SÁNCHEZ, briebesca José Luis; “**Introducción del Diseño de Obras de Excedencias**”. SARH. México, 1997. E-40.
- SOTELO. Ávila Gilberto; “**Apuntes de Hidráulica II**” Capítulo 8. Diseño Hidráulico de Obras. México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 1994.
- SOTELO. Ávila Gilberto; “**Hidráulica de Canales**”. Facultad de Ingeniería, UNAM, México. 2001.
- SOTELO. Ávila Gilberto; “**Hidráulica General I**”. Limusa. México, 1995.
- Comisión Federal de Electricidad; “**Manual de Diseño de Obras Civiles**”. Hidráulica, A.2.10. Obras de Excedencias.
- TORRES, Herrera Fernando; “**Obras Hidráulicas**”. Limusa. México.
- SARH; “**Obras de Derivación**”. México, 1980.
- DOMÍNGUEZ, Ramón y SANDOVAL, Clemencia; “**Métodos y Sistemas para Determinar Avenidas de Diseño para Vertedores y Obras de Desvío. 4° convenio**”. Instituto Nacional de Ingeniería-UNAM.
- ZURITA, Ruiz José; “**Obras Hidráulicas**”. CEAC, México. 1971.
- Tesis IPN “**Análisis de Vertedores en Abanico y Canal Lateral**” ESIA Zacatenco, México, 2004.

“APLICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE VERTEDORES EN OBRAS CIVILES SEGÚN SU ESTUDIO Y CLASIFICACIÓN”

PÁGINAS WEB.

- www.amh.org.mx
- www.waterpowermagazine.com
- <http://b-dig.ije.org.mx>
- www.normas.com/ASCE/pages/70078.html
- <http://fluidos.eia.edu.co/obrashidraulicas/articulos/obrasdecontrolyesced/obrasdecontrol.html>
- www.eduseek.com/static/navigate3677.html-10
- <http://itlp.edu.mx/temarios/civil/hidrosup.html>
- www.dams.com
- www.unesco.org/uy/phi/libros/usoeficiente.html