

3. CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE LA CUBETA

3.1 Generalidades

El empleo de las cubetas de lanzamiento en rápidas como alternativa al uso de los tanques amortiguadores, se ha limitado por la incertidumbre sobre su comportamiento y el efecto que produce el chorro al caer. Una cubeta de lanzamiento es una estructura que se coloca en el extremo de una obra de excedencias, con la intención de que el agua que descarga el vertedor, y que al pasar por la cubeta tienen mucha velocidad, sea lanzada libremente para que disipe energía por choque sobre una masa de agua. Esto es satisfecho por cubetas con geometrías muy diversas; sin embargo, para que la obra de excedencias este segura, debe tenerse la precaución de que la posible erosión que se produzca en la zona de disipación de la energía, no ponga en peligro la estabilidad de la cimentación de la cubeta, lo cual podría ocurrir si la erosión recula y deja sin apoyo a una parte de la cubeta, y sobre todo, si no se ha proyectado alguna protección que mitigue los efectos de la posible erosión.

3.2 Diseño geométrico de la cubeta

Una cubeta de lanzamiento deberá proyectarse siempre tomando en cuenta todo el rango de gastos de descarga, ya que para cada gasto, la zona de disipación de la energía cambia.

Se recomienda que, sobre todo para vertedores sin control, es decir de descarga libre, la cubeta se diseñe de manera que, aun para gastos muy pequeños, ésta trabaje precisamente como cubeta de lanzamiento, es decir, que lance el chorro a una cierta distancia del pie de ella misma. Si el labio deflector tiene un ángulo positivo, habrá un gasto para el cual la cubeta se ahogue, este gasto deberá ser tal que la energía del agua no arrastre el material del pie del deflector.

CAPITULO 3. CARACTERISTICAS HIDRÁULICAS DE LA CUBETA

3.2.1 Características geométricas de una cubeta

Para el diseño geométrico de la cubeta se debe considerar lo siguiente:

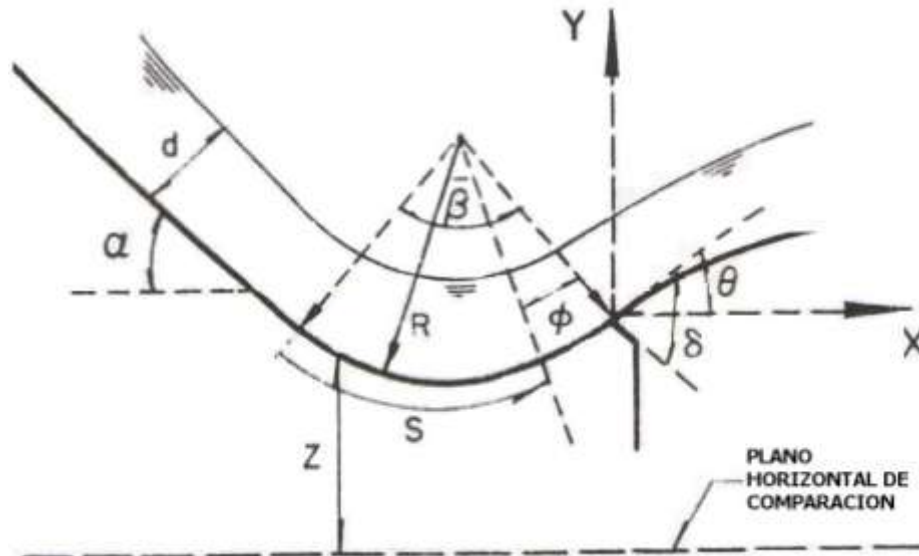


Figura 3.1 Valores a considerar en una cubeta de lanzamiento

donde

- d tirante de agua en la rápida de descarga
- R radio de la cubeta e lanzamiento
- α ángulo de inclinación de canal de descarga
- θ ángulo de inclinación de chorro de descarga con respecto a plano horizontal
- δ ángulo de salida del chorro con respecto a labio de la cubeta de lanzamiento

Se recomienda que el ángulo de salida α no sea mayor de 25° pero no menor a 8° y que el radio de curvatura de la cubeta, R, cumpla con las condiciones siguientes:

$$\begin{aligned} R &\geq 5d \\ R &\geq 0.043 dv^2 \end{aligned}$$

Donde R es el radio de la cubeta, en m, y v la velocidad de salida en m/s.

En ocasiones, para propiciar la dispersión y aeración del chorro se utilizan deflectores cuyas geometrías son muy variadas; el más común es el de dientes deflectores, que divide el flujo en diferentes direcciones.

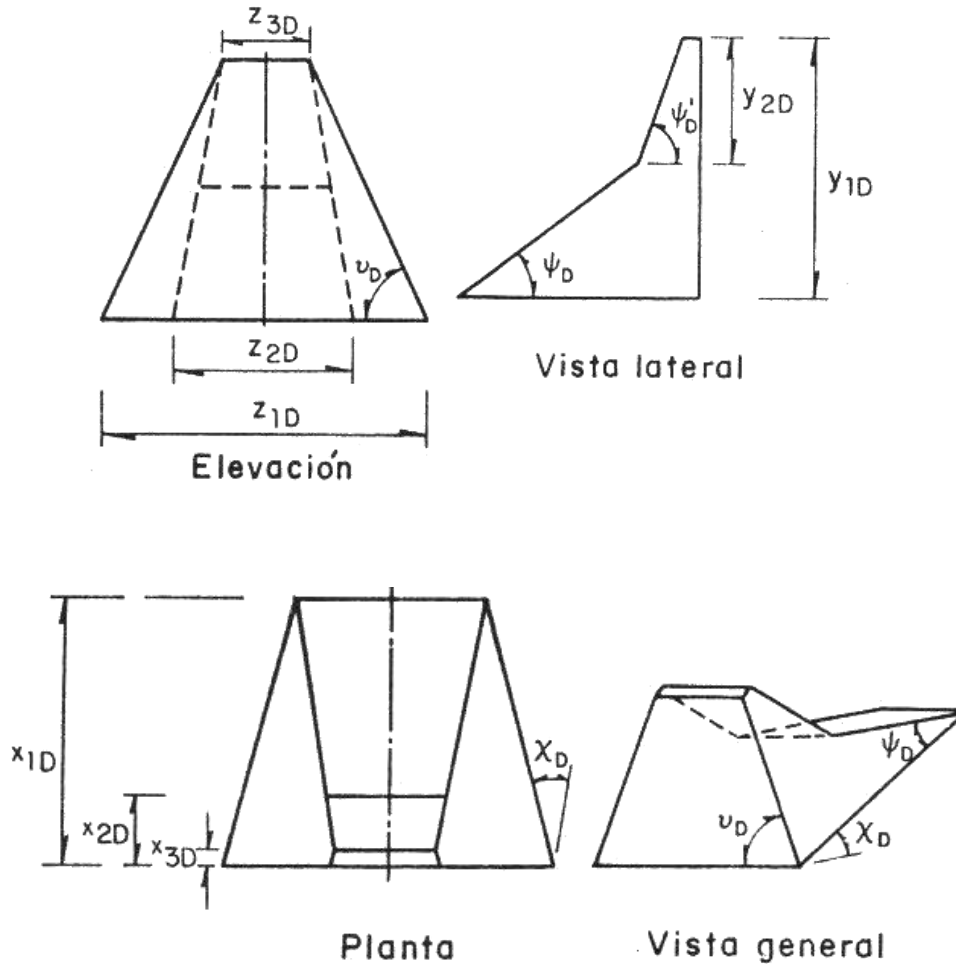


Figura 3.2 Características de deflectores

Para el diseño de cubetas de lanzamiento con deflectores, Vizgo² recomienda ciertos valores, en cuanto a su altura, la cual se reduce conforme disminuye el número de Froude, debido al aumento de la influencia de las fuerzas gravitatorias sobre la inercia. Los ángulos que definen la inclinación de las caras del deflector están comprendidos en los intervalos siguientes:

ψ_D	Entre 8.1° y 29°
ψ'_D	Entre 15.9° y 35°
χ_D	Entre 0° y 17.8°
υ_D	Entre 40° y 90°

² Vizgo, M.S., "Medidas de explotación, pronóstico y posibilidades de disminución de la erosión local en las construcciones hidrotécnicas", Revista de Ingeniería Hidráulica, No. 3, La Habana (sep 1984)

CAPITULO 3. CARACTERISTICAS HIDRÁULICAS DE LA CUBETA

3.3 Funcionamiento hidráulico de una cubeta de lanzamiento

3.3.1 Gasto mínimo de despegue

El gasto de despegue corresponde a aquel que llega a la salida de la cubeta con una energía al menos igual a la crítica.

Suponiendo un cierto gasto, Q , para el cual puede obtenerse un perfil hidráulico de la obra de excedencias hasta antes del inicio de la cubeta, pueden preverse dos casos:

- a) Si el gasto es menor que el mínimo de despegue, se presentará un resalto dentro de la cubeta, régimen crítico en el extremo de ésta, régimen subcrítico aguas arriba del mismo, régimen supercrítico en el canal aguas arriba de la cubeta.
- b) Si el gasto es mayor que el de despegue, no se producirá resalto dentro de la cubeta y se obtendrá régimen supercrítico en la rápida y en la cubeta.

Para definir el gasto mínimo de despegue teórico, Q_t , se requiere conocer el perfil hidráulico del flujo para diferentes gastos; los conjugados menores, determinados a partir de la ecuación de la energía, así como los conjugados mayores, obtenidos de la ecuación del salto hidráulico en canales con pendiente. El procedimiento se describe como sigue a partir de considerar un gasto:

1.- Obtener el conjugado mayor y_2 , que corresponda a y_1 , obteniendo el primero a la salida de la cubeta de lanzamiento, y el otro a la entrada de la cubeta. Calcular la energía mínima, ϵ_c , usando para ello el tirante crítico que corresponde al gasto utilizado

2.- Aumentar o disminuir el gasto, y repetir este procedimiento, hasta obtener la intersección de las curvas $Q-y_2$ y $Q-\epsilon_c$. El gasto de despegue teórico Q_t , es el gasto correspondiente a la intersección de dichas curvas.

3.- Obtener el gasto unitario mínimo de despegue $q_t = Q_t/B$, donde B es el ancho del canal, medido en el labio de la cubeta.

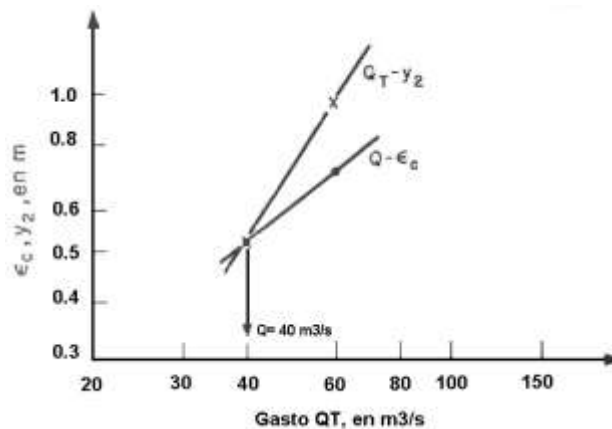


Figura 3.3 Curvas $Q-y_2$ y $Q-\epsilon_c$

CAPITULO 3. CARACTERISTICAS HIDRÁULICAS DE LA CUBETA

3.3.2 Determinación de las presiones

Debido a la geometría de la cubeta, se trata de una curva vertical cóncava, por tanto en este caso hay un incremento en la presión hidrostática, debido a que se debe considerar el efecto de la fuerza centrífuga. De acuerdo con Sotelo (Apuntes de Hidráulica II) o Chow (1959), la carga de presión, expresada en metros de columna, para esta condición esta dada por:

$$h_p = \frac{p}{\gamma} = d \cos \theta + \frac{v^2 d}{gR}$$

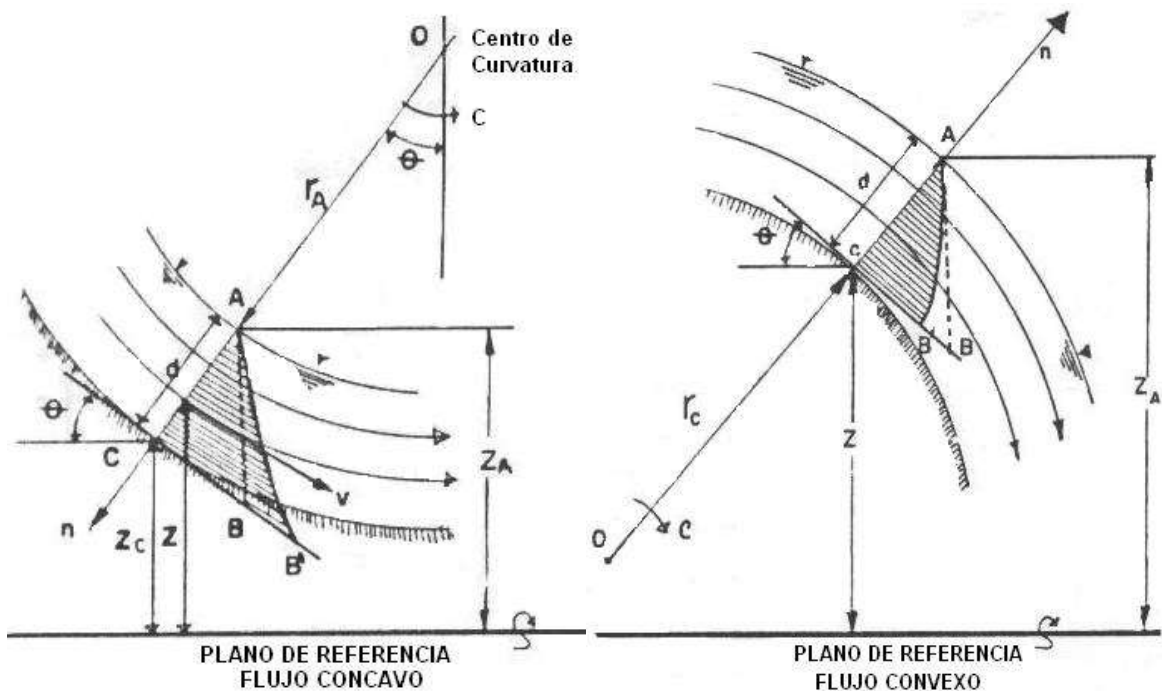


Figura 3.4 Distribución de presiones en flujo curvilíneo en canales de gran pendiente

El primer término corresponde a la hidrostática y el segundo al incremento. El incremento de la presión que produce la fuerza centrífuga esta dado por

$$\frac{P_c}{\gamma} = \frac{v^2 d}{gR} \quad 3.1$$

donde

- P_c/γ carga de presión debido a la fuerza centrífuga en cada sección de la cubeta, en m
- d tirante del agua en cada sección, medido en dirección radial, en m
- V velocidad media del flujo en cada sección, en m/s
- g aceleración de la gravedad, en m/s^2
- γ peso específico del agua, en ton/m^3
- R radio de curvatura de la cubeta, en m

CAPITULO 3. CARACTERISTICAS HIDRÁULICAS DE LA CUBETA

Tomando en cuenta los resultados experimentales obtenidos por diferentes investigadores se recomienda el método del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, por su sencillez y por estar basado en observaciones experimentales de laboratorio de prototipos. Se utilizan dos gráficas, una para determinar la presión máxima que ocurre en la parte más baja de la cubeta (fig. 3.5) y otra para obtener la distribución de presiones a lo largo de la cubeta (fig. 3.6)

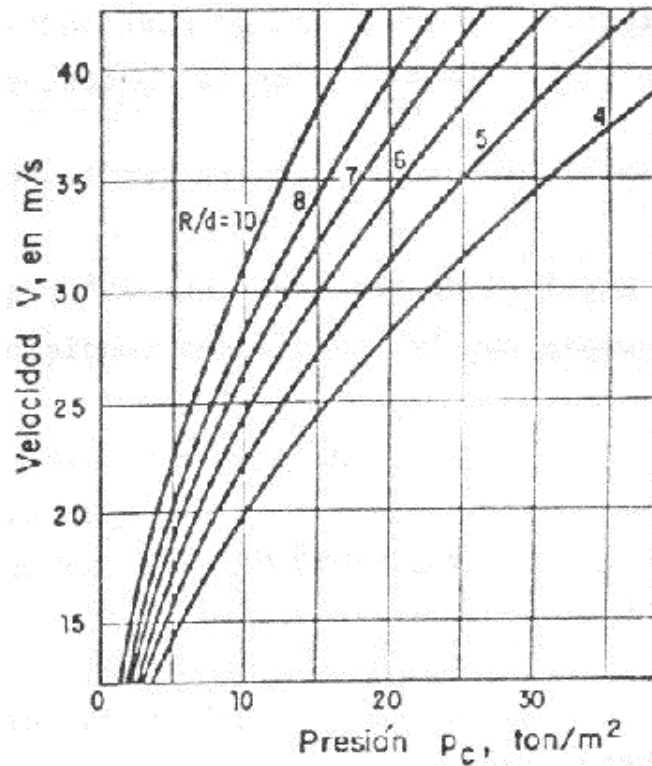


Figura 3.5 Auxiliar en el cálculo de presiones en el fondo de la cubeta

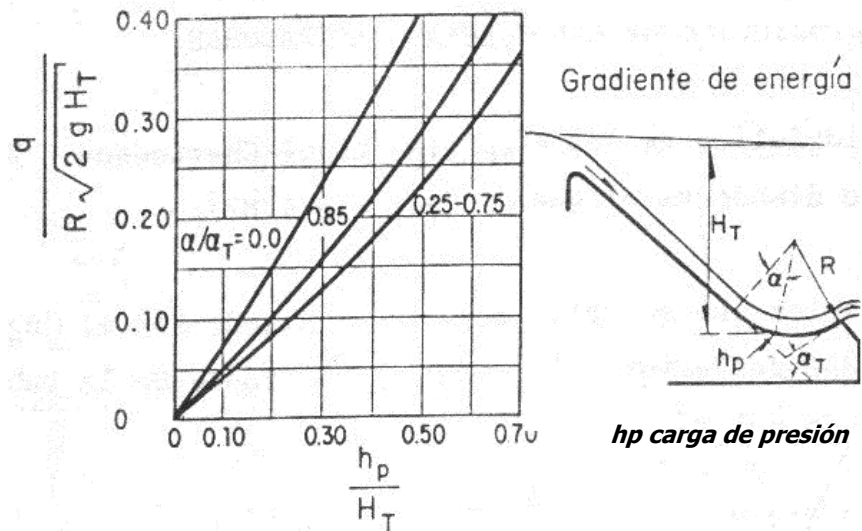


Figura 3.6 Auxiliar en el cálculo de presiones a lo largo de la cubeta

CAPITULO 3. CARACTERISTICAS HIDRÁULICAS DE LA CUBETA

La gráfica de la figura 3.6 muestra tres curvas, dos de ellas corresponden a valores fijos de α/α_T y la otra a un rango de valores de α/α_T , esto último se debe a que ese rango de valores la variación de la carga de presión es muy pequeña y se puede considerar casi constante.

El cálculo de presión en algún punto de la cubeta queda resumido en los pasos siguientes:

1.- Primeramente se valúan:

$$\frac{q}{R\sqrt{2gH_t}} \quad \text{y} \quad \alpha/\alpha_T \quad 3.2$$

2.- Estos valores obtenidos se refieren a la curva b para obtener un valor para $\frac{h_p}{H_t}$

3.- Se obtiene el valor para h_p , que multiplicado por γ permite determinar la P_c buscada.

3.3.3 Determinación de la trayectoria

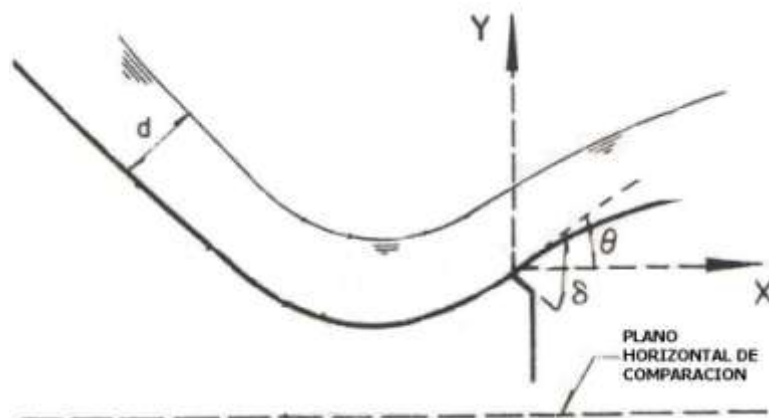


Figura 3.7 Ilustración de trayectoria de chorro en la descarga

El agua sale en forma de un chorro libre, que cae al cauce a cierta distancia de la cubeta. La trayectoria de la parte inferior del chorro es función de la energía cinética del flujo y del ángulo de lanzamiento al salir de la estructura. La longitud de lanzamiento teórica del chorro se determina a partir de la trayectoria parabólica que describe un proyectil con una velocidad inicial V , y forma un ángulo α con la horizontal. La trayectoria del chorro de descarga se calcula en forma aproximada como

$$y = x \tan \alpha + \frac{x^2}{3.6(d + h_v) \cos^2 \alpha} \quad 3.3$$

donde

- d tirante de salida, en m
- h_v carga de velocidad a la salida de la cubeta, en m
- x,y coordenadas referidas a un sistema de ejes cartesianos rectangulares con origen en el labio de salida de la cubeta
- α ángulo que forma el labio de la cubeta con la horizontal en ($^\circ$)

CAPITULO 3. CARACTERISTICAS HIDRÁULICAS DE LA CUBETA

El valor de 3.6 en la expresión 3.3, es una constante que considera la reducción de la velocidad del chorro por la resistencia del aire, turbulencias internas y su propia desintegración. El alcance horizontal máximo de chorro en la salida se obtiene considerando y igual a cero.

La presión sobre cualquier punto del deflector puede expresarse en función de otras magnitudes físicas como son:

- α Angulo comprendido entre la normal a la plantilla del canal al inicio de la cubeta y la normal a la plantilla en la sección considerada de la propia cubeta, en ($^{\circ}$)
- α_T Angulo de deflexión total de la cubeta, en ($^{\circ}$)

3.3.4 Velocidad de entrada del chorro en la superficie del agua

La velocidad teórica del chorro al entrar en la superficie del agua del remanso aguas abajo de la estructura terminal, se determina con la expresión:

$$V_{ent} = \sqrt{v^2 + 2g z'} \quad 3.4$$

donde z' es la distancia vertical medida desde el labio de la cubeta hasta el remanso que se produce en el cauce, en m.

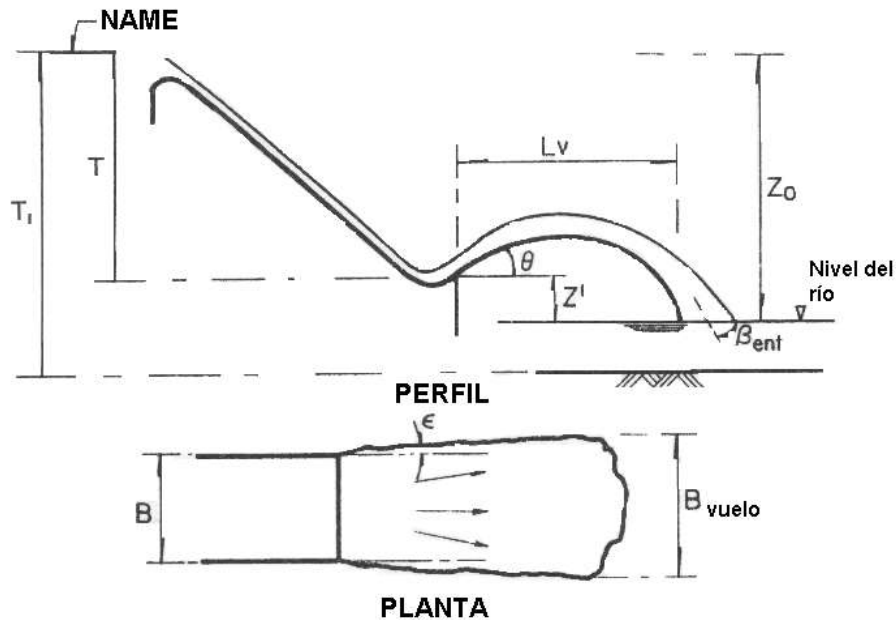


Figura 3.8 Geometría del chorro de agua