**TABLA DE CONTENIDO**

[LISTADO DE FIGURAS ii](#_Toc58913010)

[LISTADO DE TABLAS ii](#_Toc58913011)

[LISTADO DE ANEXOS ii](#_Toc58913012)

[1 GEOMETRÍA DEL AZUD 3](#_Toc58913013)

# GEOMETRÍA DEL AZUD

El diseño del vertedero de crecientes se realizó con base en el procedimiento descrito en el capítulo 9 del libro “Design of Small Dams” del Bureau of Reclamation, para ello se realizó una rutina de código en SCILAB, en el cual se efectúan todos los cálculos concernientes a la geometría del vertedero y al perfil de flujo.

Inicialmente se determinan la cabeza máxima Hmax y la cabeza de diseño Ho mediante un proceso iterativo en el cual se involucran las siguientes relaciones:

De donde:

Q: caudal de descarga (m3/s)

C: coeficiente de descarga

L: longitud efectiva

H: cabeza sobre la cresta

La longitud efectiva se calcula como:

Donde:

L: Longitud efectiva

L’: Longitud neta

N: número de pilas

Kp: Coeficiente de contracción de la pila

Ka: Coeficiente de contracción de los estribos

El vertedero de crecientes del proyecto se ha diseñado para que pueda descargar un caudal de 445 m3/s el cual corresponde a un período de retorno de 200 años.

En la Tabla 1 se presentan los datos que se ingresaron en la macro para determinar la cabeza máxima y la de diseño Ho y los parámetros que definen la curva

Tabla . Datos de entrada

|  |  |
| --- | --- |
| Datos de Entrada | |
| Q (m3/s) | 445 |
| P (m) | 4 |
| Np | 0 |
| Kp | 0 |
| Ka | 0.2 |
| L' (m) | 40 |
| Ho/He max | 0.75 |
| Cota Inicial (m) | 1345 |

En primer lugar se supone un valor para Hmax, luego se calcula el valor de Ho y el coeficiente de descarga y la longitud efectiva asociada a Ho. El coeficiente de descarga se obtiene a partir del siguiente gráfico y con base en la relación de P/Ho, cabe resaltar que el gráfico del coeficiente de descarga se encuentra en unidades inglesas y por lo tanto se debe hacer la conversión multiplicando por el factor 0,552.



Figura 1. Coeficiente de Descarga (Tomado de Design of Small Dams, Pag. 370)

Una vez obtenidos los valores de C y L para Ho, se procede a calcular estos parámetros para Hmax, dado que para cargas diferentes a las de diseño se debe recalcular el coeficiente de descarga se emplea el siguiente gráfico:



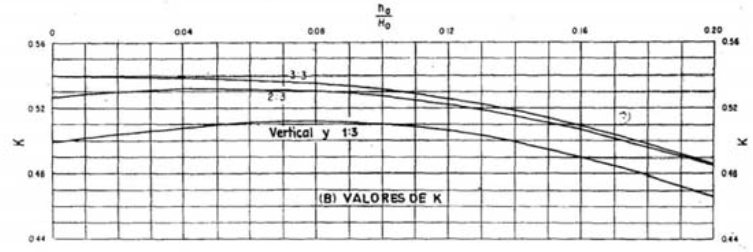
Figura 2. Coeficiente de Descarga para cargas diferentes a las de diseño (Tomado de Design of Small Dams, Pag. 371)

Luego con los valores de Q, C y L se calcula Hmax de acuerdo con la ecuación (1). Este valor se compara con Hmax supuesto y se itera hasta que exista convergencia.

Con los resultados de Ho se determina la cabeza de agua (ho) y de velocidad (ha) empleando las siguientes ecuaciones:

De manera similar, se efectúan una serie de iteraciones suponiendo inicialmente un valor para ho, se calcula la descarga (q) y luego ha, finalmente se determina el valor de Ho mediante la ecuación 6 y se compara con el valor real de Ho, de este modo se itera hasta encontrar la igualdad de estos resultados.

Con base en todos los parámetros descritos anteriormente y con ayuda de los gráficos que se presentan en la página 367 de *Design of Small Dams* a continuación se establecen los valores para K, n, Xc, Yc, R1 y R2.



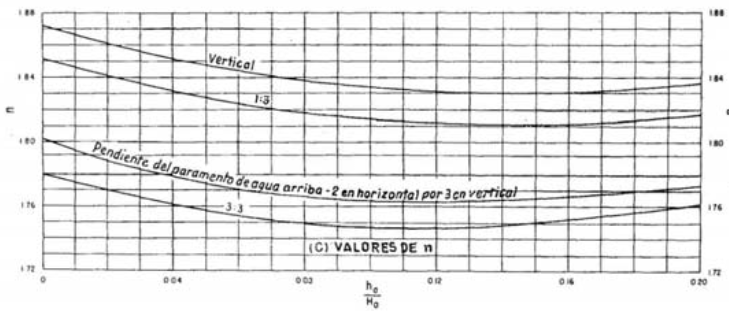


Figura 3. Coeficientes que definen el perfil del vertedero



Figura 4. Parámetros de diseño k,n,Xc, Yc, R1 y R2 (Tomado de Design of Small Dams, Pag. 367)

Es importante resaltar que los cálculos se han efectuado para una altura del paramento (P) igual a cero, es decir, se asume colmatación completa del vertedero, sin embargo, para establecer la geometría aguas arriba (curva circular compuesta) de la cresta se ha calculado para P=3,00 debido a que esta altura define la trayectoria real que tienen las líneas de corriente del flujo. Los resultados obtenidos se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 3. Geometría del Azud

|  |  |
| --- | --- |
| Geometría del Azud | |
| q (m3/s/m) | 7,43 |
| ho (m) | 2,28 |
| Ho Calc (m) | 3,05 |
| ΔHo (m) | 0 |
| K | 0,523 |
| N | 1,86 |
| **Parámetros para P=4** | |
| Xc | 0,611 |
| Yc | 0,259 |
| R1 | 1,17 |
| R2 | 0,492 |
| R1-R2 | 0,678 |

Tal como se mencionó, la geometría del azud se compone de una curva circular compuesta aguas arriba de la cresta, seguido por una curva parabólica y una contracurva circular.

La curva parabólica está definida por:

Reemplazando los valores hallados previamente y reorganizando la ecuación se tiene que:

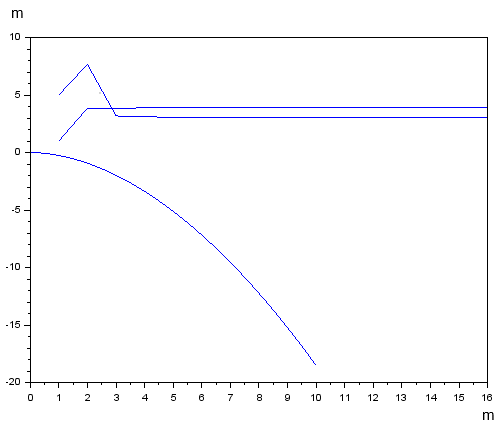


Figura 5. Curva parabólica Azud y variación iterativa de resultados

Ahora, la curva parabólica debe empalmarse con una contracurva circular, para ello se definió un punto donde la parábola y la contracurva tuvieran igual pendiente y también cuya distancia fuera aproximadamente redonda, dicha pendiente se obtiene derivando la ecuación de la curva parabólica, de este modo tenemos:

Se definió que la parábola termina en una pendiente igual a -0,8 en donde se empalma con una tangente de esa misma pendiente hasta llegar al punto de curvatura o inicio del invert que se ubica en la cota 1345 m.s.n.m. El invert se ha desarrollado hasta generar un ángulo de 28 grados respecto a la horizontal que se encuentra recomendado en la literatura. Se debe anotar que dadas las condiciones rocosas del cauce, se esperan pocos problemas de erosión remontante desde aguas abajo que puedan llegar a afectar la fundación del azud.

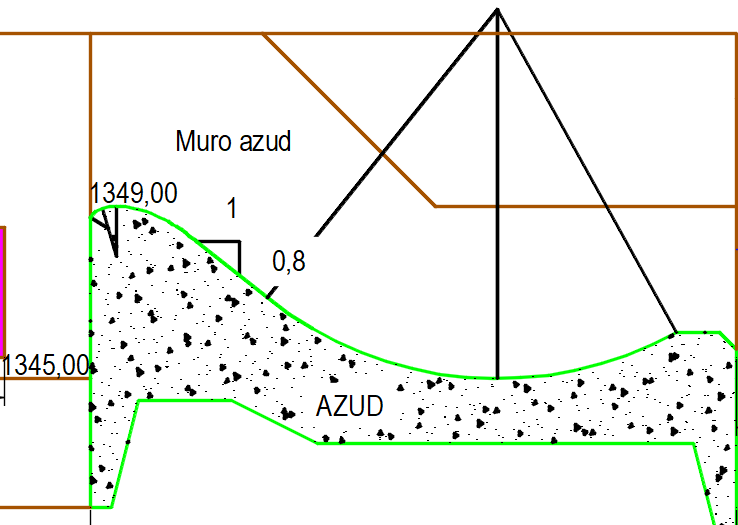


Figura 6. Geometría del azud, Q=445 m³/s, Tr=200 años