

Tabla de contenidos

1.	OBRAS DE CAPTACIÓN EN LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO	2
	Descripción de las obras de captación	2
	Cajones de conexión de flujo (CCF)	3
2.	DISEÑO DE REJILLA	6
3.	RESULTADOS REJILLA	7
4.	DISEÑO DE DIQUE/AZUD	9
5.	RESULTADOS DEL AZUD	20
	LANDAPO DERECHA	20
	LANDAPO IZQUIERDA	21
	QUEBRADA TUSHE	23
	QUEBRADA HONDA	24
	QUEBRADA CHINCHAL	25
6.	DISEÑO DE GALERÍA Y CAJA DE RECOLECCIÓN	27
7.	RESULTADOS GALERÍA Y CAJA DE RECOLECCIÓN	31
8.	DISEÑO CAJONES DE CONEXIÓN DE FLUJO	34
9.	RESULTADOS TANQUES DE PASO	35
10.	DISEÑO DE DESARENADOR	36
11.	RESULTADOS DESARENADOR	41

1. OBRAS DE CAPTACIÓN EN LAS FUENTES DE ABASTECIMIENTO

La fuente de abastecimiento hídrico seleccionada para la variante de captación y conducción aquí propuesta es la quebrada denominada Payana. El punto de interés se ubica en las coordenadas:

La cota de ubicación de la obra de captación se ha definido en base al requerimiento de carga, para lograr una conducción a gravedad así como de las condiciones de estabilidad de los sitios de implantación.

El diseño de la captación comprende:

- Rejilla de efecto Coanda
- Dique o Azud
- Galería y caja de recolección
- Dearenador

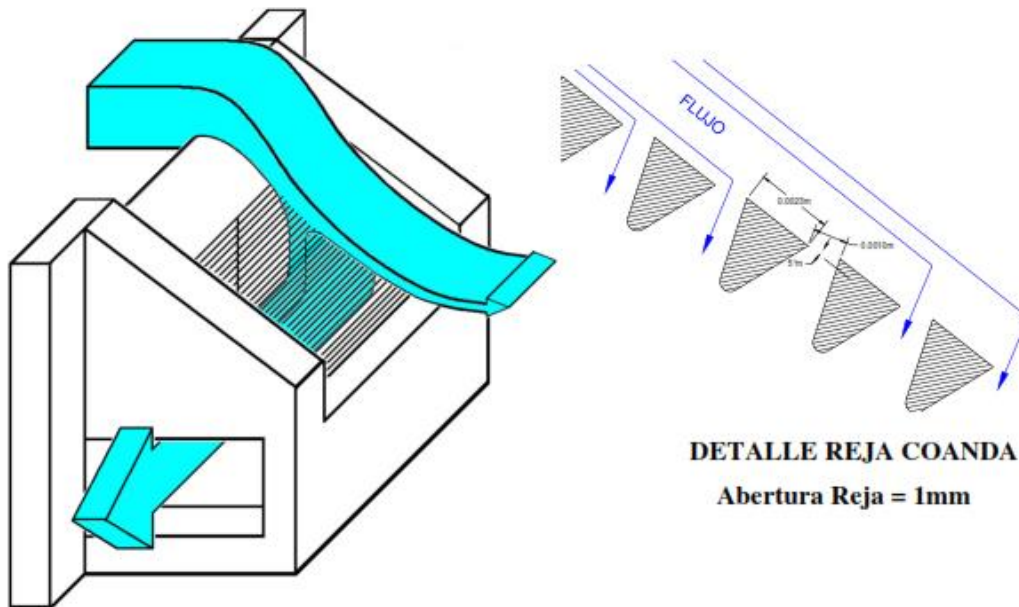
Descripción de las obras de captación

Considerando las características topográficas de los sitios de implantación de las obras de captación y su ubicación relativamente alejada de los centros poblados, se justifica la selección de un tipo de obra de captación, en la que se pueda garantizar un funcionamiento adecuado, en lo posible sin o con mínimo mantenimiento.

Se ha seleccionado como obra de toma al tipo de captación con rejilla de fondo, la rejilla a utilizarse es de tipo no convencional y se conoce como “Rejilla de efecto Coanda”

La Rejilla de Efecto Coanda permite la eficaz separación de finos sedimentos de un flujo de agua en diversos tipos de captaciones. La rejilla opera captando agua limpia a partir de un flujo supercrítico cargado de sedimentos, para este efecto, tal flujo, pasa por sobre una malla de alambres, que se encuentran orientados horizontalmente, perpendicular a la dirección del flujo. Cada alambre se encuentra ligeramente inclinado con respecto a su eje de tal modo que el borde delantero se convierte en una superficie de impacto, que facilita la captación. La Figura 1 aclara las características físicas de la malla de alambre.

El ángulo de inclinación típico de cada alambre (ϕ) es 5° , sin embargo ángulos en el rango $3-6^\circ$ se encuentran disponibles en el mercado. La separación entre alambres (s) suele ser 1 mm o menos. Este tipo de rejas permite reducir considerablemente la obra de desarenación.



Las rejillas han sido dimensionadas para caudales en el rango de 5 a 15 L/s. La ubicación de cada una de las obras de toma se presenta en detalle en el plano correspondiente.

El flujo pasa por sobre la cresta del vertedero, posteriormente la placa de aceleración incrementa paulatinamente la velocidad del flujo y lo direcciona a la malla de alambres. Los alambres se encuentran ubicados de forma perpendicular a la dirección del flujo. El flujo que pasa a través de la rejilla (Flujo captado) se colecta en un canal de transporte que se encuentra debajo de la pantalla, mientras que el flujo que no es captado, al igual que los peces y los sedimentos, retorna al cauce aguas abajo de la rejilla.

Cada una de las obras fue diseñada acorde a los requerimientos de la normativa respectiva vigente. Además, se tomó en consideración criterios de diseño técnico-constructivos acordes a las solicitudes de diseño presentes en cada una de las infraestructuras en función de su emplazamiento.

La metodología de diseño seguida en todas las captaciones presenta características similares, motivo por el cual, a continuación se mostrará los lineamientos generales de diseño efectuados en todas las captaciones.

Posteriormente, en los casos en los cuales sea pertinente, se mencionarán los criterios singulares, así como las diferencias presentadas en cada uno de los diseños.

Cajones de conexión de flujo (CCF)

El caudal proveniente de las captaciones requiere ser unido en un cajón de conexión, este funciona como una estructura de integración de caudales.

Dentro del proyecto se requiere la ubicación de dos cajones de conexión: el primero para integrar los caudales de las quebradas Landapo Izquierda y Derecha, y el segundo para integrar los caudales provenientes del cajón de

conexión 1 y el caudal de la quebrada Honda, desde el segundo cajón de conexión, se conduce el caudal al desarenador, en esta estructura se integran los caudales de las quebradas Tushe y Chinchal.

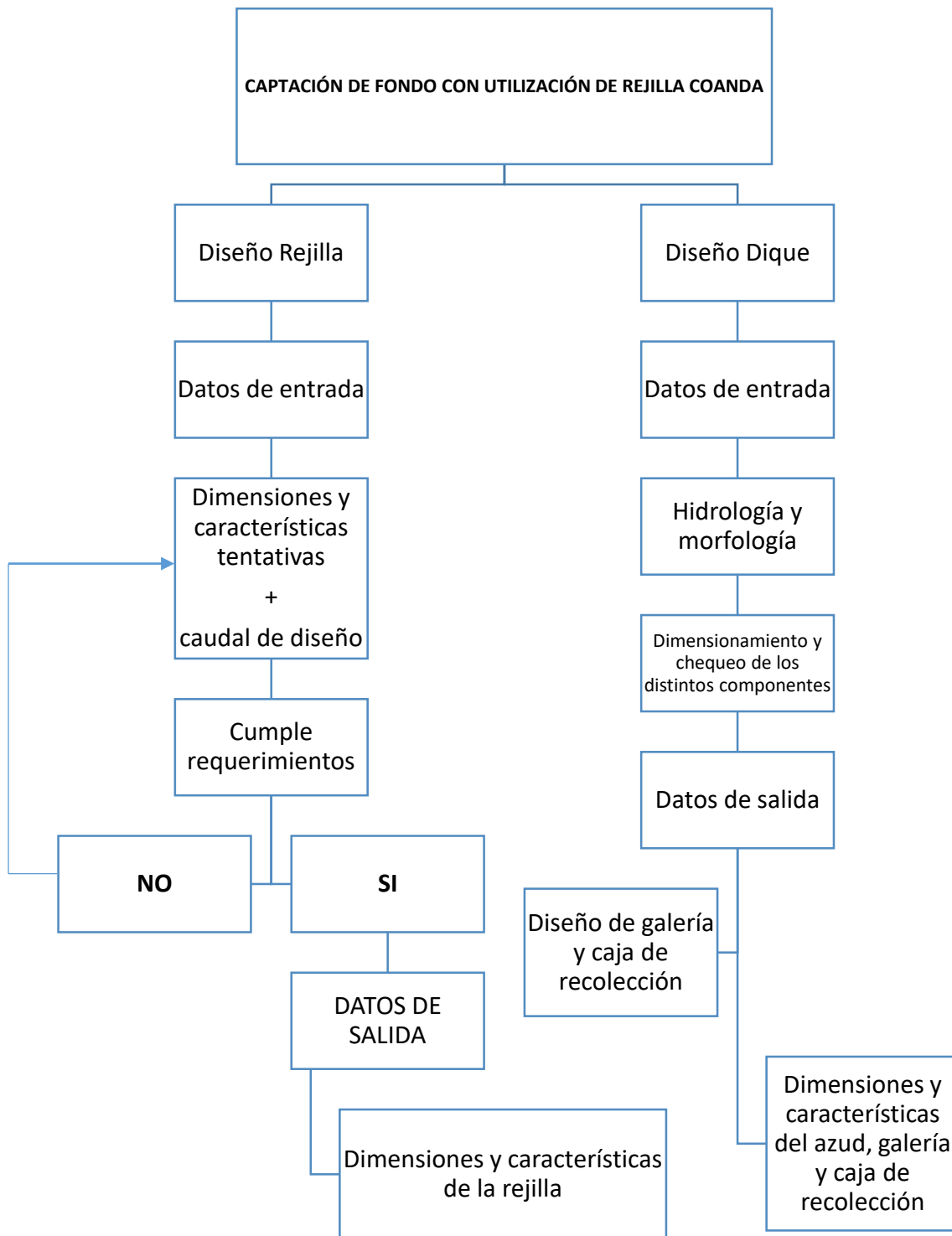
En cada cajón de conexión, se dispone del volumen necesario para disipar la energía de los flujos que llegan a él, y al mismo tiempo se proporciona la profundidad de agua requerida para impedir el ingreso de aire a la línea común. El funcionamiento hidráulico de este cajón es similar al de un tanque rompe presión, a partir del cual la conducción debe continuar como flujo homogéneo a presión.

Los dos cajones de conexión serán contruidos de hormigón armado y tendrán las mismas dimensiones geométricas. El detalle del diseño se presenta en el plano correspondiente

La ubicación de los cajones de conexión de flujo, se resume en la siguiente tabla:

CCF1	9563439.41	633985.13	2065.518
CCF2	9563512.13	634644.638	2062.465

El algoritmo metodológico de diseño empleado es el siguiente:



2. DISEÑO DE REJILLA

El proceso de diseño de los componentes de las infraestructuras de captación es similar en términos generales de metodología, por lo que, el proceso expuesto a continuación hace referencia a una metodología estandarizada, a nivel de línea base, para determinar las dimensiones y características de las Rejillas Coanda.

Para el diseño de la rejilla Coanda se utilizó el modelo computacional de libre acceso de la Bureau of Reclamation (disponible en: <http://www.usbr.gov/tsc/techreferences/computer%20software/software/coanda/coandadownload.html>). El proceso seguido se resume a continuación:

En primer lugar se ingresa al programa dimensiones tentativas de sus diversas características geométricas tales como: longitud, ancho y características de alambre.

La disposición de los alambres de captación se puede observar en la siguiente figura, en donde se distinguen las características geométricas principales que generan el efecto Coanda.

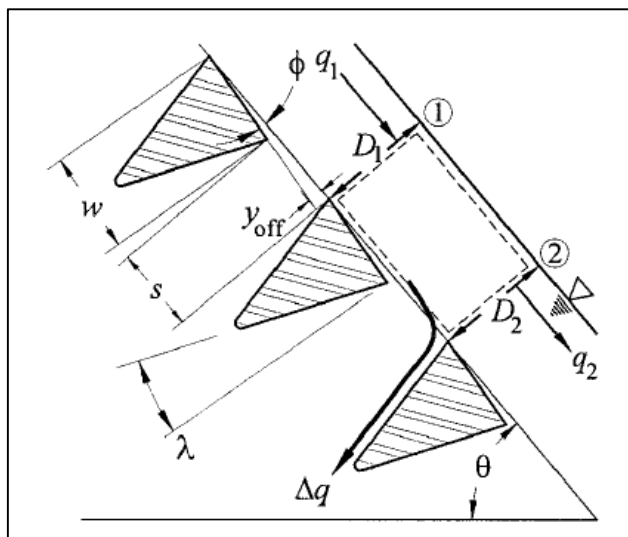


Figura 1. Principales características paramétricas de los alambres de captación de la rejilla Coanda

Las características que se mostraron en la figura anterior son aquellas que se deben ingresar al programa de la Bureau of Reclamation como datos de entrada.

Posteriormente, se da las condiciones de caudal de diseño y se ejecuta el modelo para evaluar el escenario de captación; si éste es adecuado se conservan las características paramétricas asignadas, caso contrario se plantean nuevas dimensiones y se reinicia el proceso.

Es importante mencionar que una vez determinadas las características paramétricas óptimas se debe comprobar la disponibilidad del producto requerido, en el caso del presente proyecto, dicha disponibilidad fue corroborada con la empresa americana CONN-WELD (<http://www.conn-weld.com/profile-screen.html>) quien brindó el apoyo técnico necesario para la comprobación de disponibilidad.

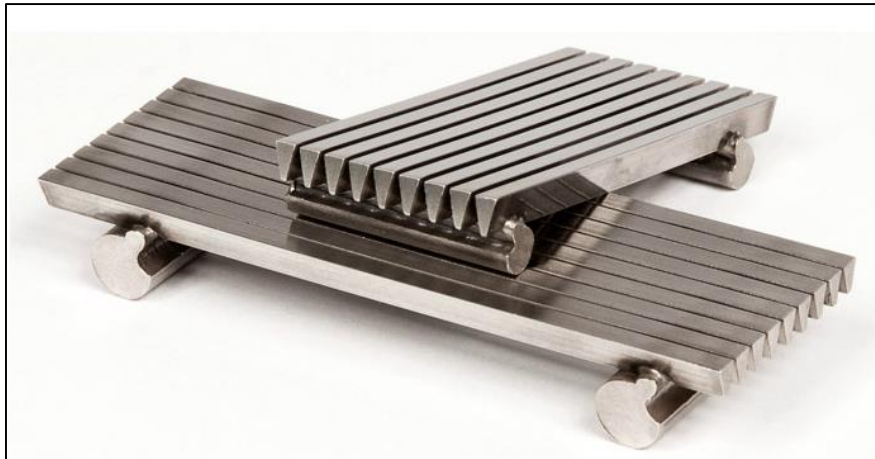


Figura 2. Fotografía estructura de Rejilla Coanda
Fuente: Conn-Weld

3. RESULTADOS REJILLA

Los datos ingresados al programa son los siguientes:

Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens - Untitled

File
Description: Default screen [Load Design] [Save Design]

Structure | Accelerator Plate | Screen | Flow Condition

Structure & Flow Units: m, m³/s

Crest Length (Screen Width): 0.4 m

Screen Panel:
☐ Curved Screen
☒ Flat Screen

Screen Length: 0.2 m

Figura 3. Datos de entrada para cálculo de la rejilla (1/4)

Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens - Untitled

File
Description: Default screen [Load Design] [Save Design]

Structure | **Accelerator Plate** | Screen | Flow Condition

Crest Shape:
☒ Ogee Crest (discharge coefficient varies)
☐ Generic Crest (constant discharge coefficient)

Put Ogee Crest Design Details on Clipboard

Solve for...: Design Discharge

Accelerator Drop (Ha): 0.15 m

Top-of-Screen Inclination: 45 degrees

Design Discharge, Q0: 0.115 m³/s

Approach Channel Weir P-Height: 0.61 m

Figura 4. Datos de entrada para cálculo de la rejilla (2/4)

Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens - Untitled

File

Description: Default screen [Load Design] [Save Design]

Structure Accelerator Plate **Screen** Flow Condition

Screen Units: mm

Screen Slot Size, s: 1 mm

Screen Wire Width, w: 1.52 mm

Screen Wire Tilt Angle, phi: 5 degrees

Wire Offset Height: 0.21913 mm

Number of Slots: 79

Screen Coefficient, C_{cv}

☒ Default Equation $C_{cv} = 3.537 (\delta + \psi)^{-0.539}$

☐ Wahl (2001) - OBSOLETE

☐ Custom Equation $C_{cv} = m2 (\delta + \psi)^2 + m1 (\delta + \psi) + b$

Figura 5. Datos de entrada para cálculo de la rejilla (3/4)

Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens - Untitled

File

Description: Default screen [Load Design] [Save Design]

Structure Accelerator Plate Screen **Flow Condition**

Inflow: 0.01 m³/s

Pool-to-Screen Drop Height (Hs): 0.206 m

Figura 6. Datos de entrada para cálculo de la rejilla (4/4)

La rejilla diseñada con el proceso indicado presenta las siguientes características:

Sección útil de captación: 0.4 x 0.2 m

Longitud horizontal = 0.80 m

Longitud vertical = 0.20 m

Ancho de alambre = 1.52 mm

Abertura = 1 mm

Inclinación de la pantalla: 45°

Con el fin de unificar las condiciones a nivel de diseño y futura construcción, se decidió que la rejilla mantenga las mismas características geométricas en todos los puntos de captación, este hecho además brindará las condiciones adecuadas de manufactura e importación de las Rejillas Coanda. Para este efecto se comprobó a través de las condiciones hidrológicas que las rejillas presentan las condiciones óptimas de captación.

Adicionalmente, es importante mencionar que las captaciones en general presentan un dimensionamiento tal que abastece del caudal de diseño y derivan el sobrante nuevamente al cauce a través de un sistema de retorno.

4. DISEÑO DE DIQUE/AZUD

Datos de entrada

Los datos de entrada iniciales son: Caudal de diseño, caudal máximo, caudal mínimo y características morfológicas de la zona de interés. El caudal de diseño es el correspondiente al caudal máximo diario más un incremento del 20%, según la norma CPE INEN parte 9-1:1992 "NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES"

El primer parámetro que se debe establecer es el **ancho de la estructura de retención (L)**, en este caso el azud, para ello, se evalúa las características morfológicas de la zona de interés con el fin de detectar un emplazamiento óptimo para la ubicación del azud, en la cual se presenten las condiciones adecuadas de embalsamiento que garanticen la funcionalidad de la infraestructura. Con el punto de interés identificado es posible determinar el ancho del azud con la respectiva medición de campo.

Una vez definida la dimensión correspondiente al ancho de la estructura de retención se procede a definir, bajo criterio propio, la **altura del dique (h)**, en función de la recomendación plasmada en el libro de "Diseño Hidráulico" de Sviatoslav Krochin, la cual especifica que la altura para este tipo de infraestructura debe estar comprendida en el rango de 0.6-0.8 m.

A continuación se determina la **altura total sobre la cresta del vertedero (Hd)**, para lo cual se hace uso de la fórmula que se presenta a continuación:

$$Hd = \left(\frac{Q}{1.84 \times L} \right)^{\frac{2}{3}} \quad [1]$$

El caudal que debe ser remplazado en la expresión mostrada es el correspondiente al caudal de máxima crecida, determinado a partir del estudio hidrológico.

$$H_d = \left(\frac{Q_{max}}{1.84 \times L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Con el valor de H_d es posible determinar la **altura de los muros laterales** así:

$$H_{muro} = 1,35 * H_d \quad [2]$$

Como punto adicional, se determina el valor de H_d con el caudal de estiaje como dato de entrada:

$$H_d = \left(\frac{Q_{min}}{1.84 \times L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Con el fin de determinar la carga sobre la cresta del vertedero se debe determinar el valor de la relación h/H_d , con éste se debe determinar, en la gráfica de la **Figura 7**, el valor del **coeficiente de descarga (C)**.

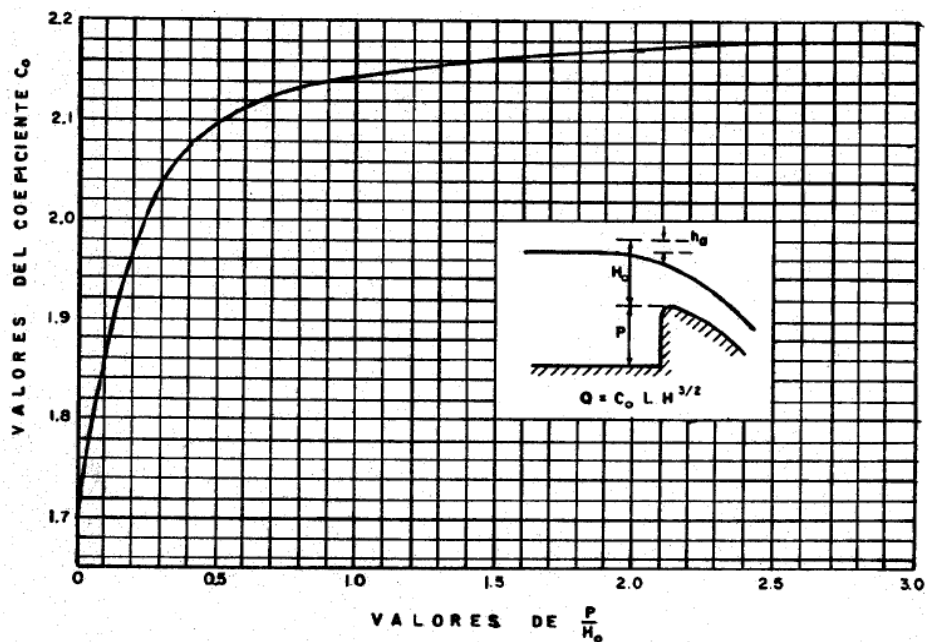


Figura 7. Coeficientes de descarga para crestas en pared vertical

Si el resultado de la relación h/H_d es inferior a 1.33 entonces se considera que el efecto de la velocidad es un parámetro despreciable.

El siguiente paso es el proceso de verificación de velocidades, para lo cual se hace uso de las siguientes expresiones:

$$V_m = \frac{Q}{L * H_d} \quad [3]$$

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{Q_{max}^2}{g \cdot L^2}} \quad [4]$$

$$V_c = \sqrt{g \cdot Y_c} \quad [5]$$

Si $V_m < V_c$ entonces se trata de un flujo subcrítico, si $V_m = V_c$ se trata de un flujo crítico, mientras que si $V_m > V_c$ el flujo tiene condiciones supercríticas.

Las características del flujo subcrítico son las necesarias para el óptimo desempeño de la estructura de captación.

Se procede entonces a determinar el perfil del aliviadero. Se seleccionó un aliviadero tipo estándar WES (Waterways Experiment Station) para todas las captaciones del proyecto. Este tipo de perfil otorga características hidráulicas favorables bajo las condiciones hidráulicas y morfológicas del proyecto. La ecuación para determinar el perfil es:

$$X^n = K * H_d^{n-1} * Y \quad [6]$$

Se despeja la ecuación con el fin de obtener una expresión en la cual se pueda determinar valores de “Y” a partir de valores “X” de ingreso. Por lo tanto:

$$Y = X^n / K * H_d^{n-1} \quad [7]$$

Donde K y n son factores que se pueden determinar a través de la siguiente tabla:

Pendiente de la Cara Aguas arriba	K	n
Vertical	2,000	1,850
3 : 1	1,936	1,836
3 : 2	1,939	1,810
3 : 3	1,873	1,776
Fuente: Obras Hidráulicas Rurales, Hernán Materon, Pag 35.		

Tabla 2. Exponentes para la ecuación de perfil de aliviadero

Se determina los componentes geométricos de la cresta del vertedero a través de las expresiones reflejadas en la figura siguiente:

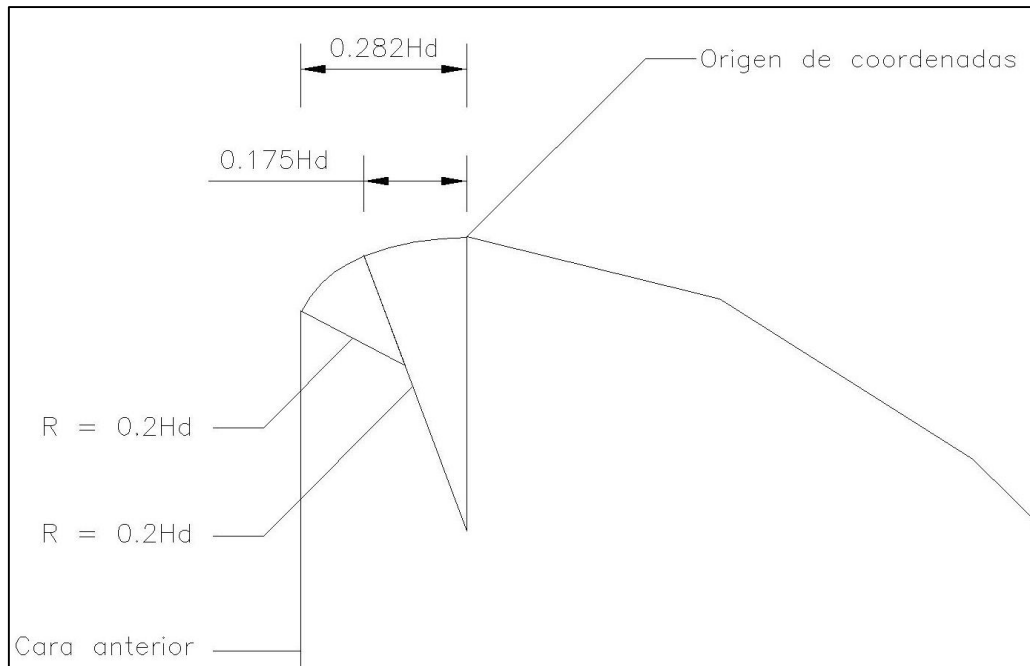


Figura 8. Expresiones de determinación para componentes geométricos de cresta del azud

Se procede a determinar la curva circular contraria que permitirá realizar la transición geométrica entre perfil y zona horizontal contigua al canal que se encuentra en el paramento aguas abajo del azud. Gráficamente el componente geométrico a determinar es el mostrado en la figura a continuación:

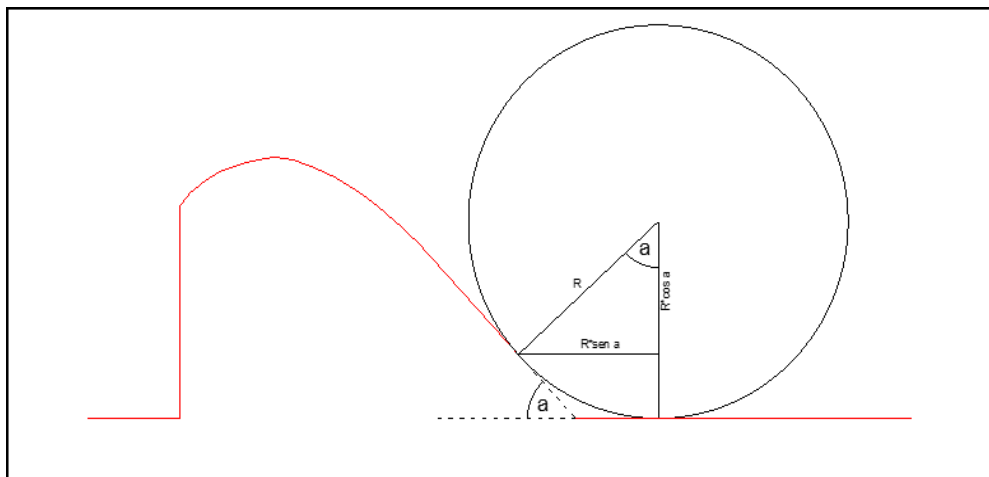


Figura 9. Representación del radio de enlace en el pie del azud

Las expresiones que permiten determinar el radio de enlace al pie del azud son las siguientes:

$$R = 10^{-(V1+6.4*Hd)/(3.6*Hd+64)} \quad [8]$$

$$V1 = \sqrt[2]{2 * g * (Z - 0,5 * H)} \quad [9]$$

Para el cálculo del **pozo de amortiguación**, se debe calcular la denominada altura “Z”, ésta se obtiene con la suma de los valores “Hd” y la altura del dique “h”. Con este valor es posible calcular los parámetros: velocidad en el pie de la presa, altura de agua en pie de la presa y número de Froude, a través del uso de las siguientes expresiones:

$$V1 = \sqrt[2]{2 * g * (Z - 0,5 * H)} \quad [10]$$

$$Y1 = \frac{Q_{max}}{L * V1} \quad [11]$$

$$F1 = \frac{V1}{\sqrt[2]{g * Y1}} \quad [12]$$

Se determina la relación h/y1 en la gráfica que se muestra a continuación, donde “h” representa la altura de la viga de zampeado.

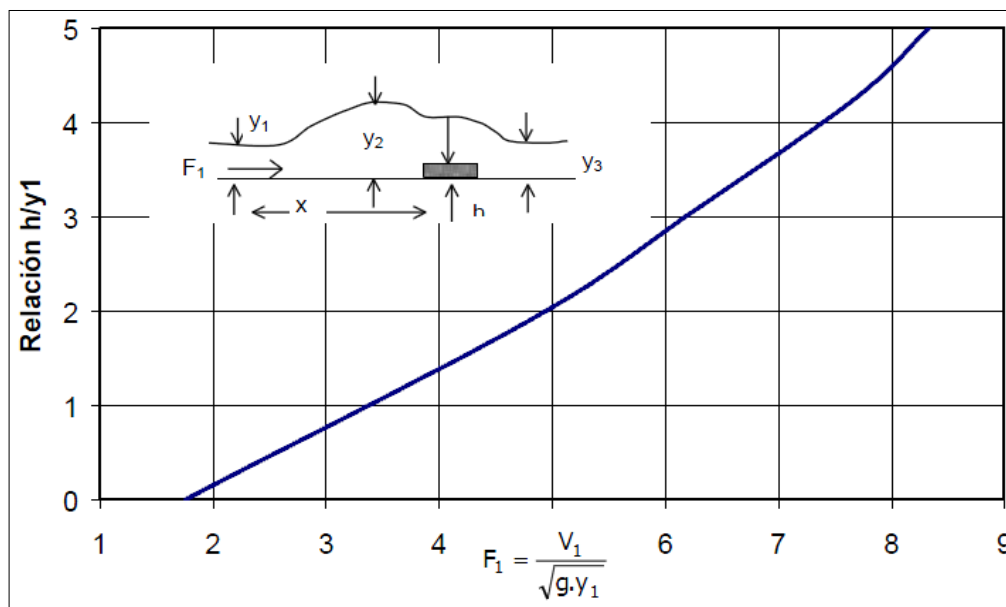


Figura 10. Gráfica para la determinación de la relación h/y1
Fuente: Acueductos, teoría y diseño; Fredy Corcho Romero.

Se procede a calcular el valor de “Y2” el cual se puede visualizar gráficamente en la figura anterior. Para determinar el Y2 se procede a aplicar la siguiente ecuación, en la cual para resolverla se debe proceder a un procedo de tanteos que permita igual los términos en la expresión:

$$2,666 F1^2 (1 + (h/y1)/(y2/y1)) = ((y2/y1) - (h/Y1))^3 \quad [13]$$

Se calcula el valor de “Y2” aplicando otro método para corroborar la dimensión determinada con anterioridad:

$$\frac{Y2}{Y1} = \frac{1}{2} \left[\sqrt[2]{1 + 8 * F1^2} - 1 \right] \quad [14]$$

Se determina el valor de Y3 a través de la siguiente expresión:

$$Y3 \leq \left[\frac{2*Y2+h}{3} \right] \quad [15]$$

Como valor de Y2 es posible utilizar un promedio de los valores obtenidos con las 2 expresiones mostradas.

Finalmente con los valores de los diferentes tirantes, se procede a determinar, a través de 5 métodos, la **longitud del pozo de amortiguación**:

Método 1

$$L = 5 * (h + Y3) \quad [16]$$

Método 2

$$L = 5 * (Y2 - Y1) \quad [17]$$

Método 3

$$L = 10,3 * Y1 * (F1 - 1)^{0,81} \quad [18]$$

Método 4

$$L = 2,5 * (1,9 * Y2 - Y1) \quad [19]$$

Método 5

El método 5 hace uso de la siguiente gráfica, en la cual al ingresar con el número de Froude en el eje x es posible determinar la relación L/y2 con la cual se calcula la longitud del pozo de amortiguación

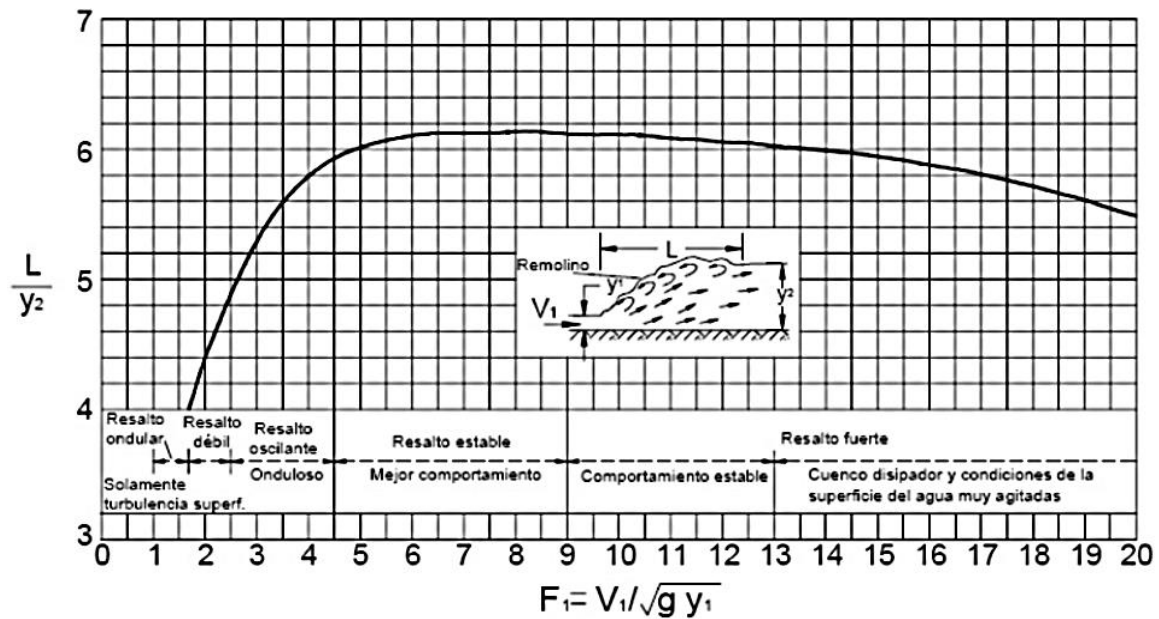


Figura 11. Gráfica para la determinación de la relación L/y_2
Fuente: Acueductos, teoría y diseño; Fredy Corcho Romero.

Finalmente, se debe promediar los 5 valores.

Se calcula la longitud del enrocado después del dentellón, así:

$$Le = 0,67 * C^*(Z1*q) \quad [20]$$

Donde C es un coeficiente con un valor de 0.6 para el caso de diseño, Z1 es la altura desde el nivel máximo aguas arriba hasta el nivel del pozo de quietamiento (z) menos el valor de Y2, y "q" es el caudal de diseño.

Con los componentes de la estructura ya dimensionados se procede a determinar la **Estabilidad del azud**. Los datos de entrada para este efecto son los siguientes:

- Peso específico del agua (γ_{agua})
- Peso específico del hormigón armado (W)
- Peso específico del material de arrastre (β)
- Diámetro del material de arrastre (ϕ)

Estos datos provienen de la recopilación de información de campo en las zonas de interés.

Se determina la altura de la carga de agua:

En crecida:

$$Z1 = h_{adoptada} + Hd - Y2 \quad [21]$$

En estiaje:

$$Z1 = h_{adoptada} + Hd \quad [22]$$

Se asumen valores de altura y ancho de la zapata del azud, los cuales serán comprobados más adelante al concluir el proceso de chequeo de estabilidad, de no cumplir se cambiará los valores de altura y ancho y se repite el proceso hasta que se cumplan las condiciones de chequeo.

Se determina el valor de la subpresión con el uso de las siguientes fórmulas:

Longitud de la curva anterior a la cresta

$$Xc = 0.282Hd \quad [23]$$

Azud

$$Azud = \sqrt[1.85]{(2 * h_{Adoptado} * Hd^{0.85})} \quad [24]$$

Resultante de subpresión

$$X = \frac{2}{3}(Azud + Hc) \quad [25]$$

Subpresión

$$S = \frac{Z1 * X}{2} \gamma_{agua} \quad [26]$$

Para el cálculo del **espesor del zampeado** se hace uso de la siguiente expresión:

$$t = \frac{S}{W-1} \quad [27]$$

Donde “t” representa al espesor que desea calcular, “S” la subpresión y “W” el peso específico del hormigón armado.

Se determina el valor de la **fuerza de empuje** así como su posición de la siguiente manera:

Fuerza de empuje (E)

$$E = h_{adoptado} * \left(Hd + \frac{1}{2} h_{adoptado} \right) * \gamma_{agua} \quad [28]$$

Posición de la fuerza de empuje (YE)

$$A1 = \frac{1}{2} (h_{adoptado}^2 * \gamma_{agua}) \quad [29]$$

$$A2 = E - A1 \quad [30]$$

$$YE = \frac{\sum Ay}{A} = \frac{\left(A1 * \frac{h_{adoptado}}{3} \right) + \left(A2 * \frac{h_{adoptado}}{2} \right)}{E} \quad [31]$$

Para el cálculo del **impacto** se debe contar con los siguientes datos de entrada:

- Diámetro de materiales de arrastre (φ)
- Longitud de arrastre (La)
- Peso específico de material de arrastre (β)
- Velocidad media (V_m). - se trata de la velocidad media determinada en un inicio para el chequeo de velocidades.

Se calcula los siguientes parámetros:

Tiempo de arrastre de los materiales

$$ta = \frac{La}{V_m} \quad [32]$$

Aceleración del arrastre de los materiales

$$Aa = \frac{V_m}{ta} \quad [33]$$

Volumen de arrastre del material

$$Vol = \frac{1}{6} * \tau * \varphi^3 \quad [34]$$

Masa de material de arrastre

$$Masa = \frac{(\beta - \gamma_{agua})}{g} * Volumen \quad [35]$$

Impacto de las partículas

$$Ip = Masa * Aa \quad [36]$$

Se determina además la ordenada del impacto de las partículas (Yip) el cual es igual a $\varphi/2$.

Con estos valores ya calculados es posible determinar el **empuje total**:

$$\text{Empuje Total} = \text{Empuje de agua} + \text{Impacto de material}$$

Se procede a realizar los chequeos de estabilidad

Chequeo al deslizamiento

$$FSD = \left(\frac{W-S}{E} \right) * f \quad [37]$$

Donde “W” representa el peso de la estructura el cual se determina multiplicando el área total de la estructura por el peso específico del hormigón. “S” es la subpresión que ya se determinó con anterioridad y “E” representa el empuje de agua.

Si $FSD \geq 1.30$ no existe deslizamiento, caso contrario se debe revisar las condiciones anteriores y cambiar las características geométricas de la zapata hasta que se cumpla la condición.

Chequeo al volcamiento

$$FSV = \frac{M_{RESISTENTE}}{M_{MOTOR}} = \frac{W * Xi}{E.y + S.X + I.P} \quad [38]$$

El chequeo al volcamiento se realiza empleando la fórmula mostrada, en la cual “W” representa el peso total de la estructura, “Xi” representa el brazo de momento y las expresiones en el denominador corresponden al empuje de agua, subpresión e impacto, con sus respectivos brazos de fuerza ya determinados.

Si $FSV \geq 1.30$ no existe volcamiento, caso contrario se deben cambiar las dimensiones de la zapata conservando criterios de homogeneidad.

Chequeo a la posición de la resultante

Para el chequeo a la posición de la resultante se hace uso de la siguiente expresión:

$$Xm = \frac{M_{RESISTENTE} - M_{MOTOR}}{N} \quad [39]$$

El momento resistente y el momento motor se determinan al igual que en el chequeo al volcamiento. Por su parte “N” es la diferencia entre el peso de la estructura y la subpresión:

$$N = W - S \quad [40]$$

Para comprobar que la posición de la resultante es la adecuada “X_m” debe encontrarse en el tercio medio de la estructura.

La excentricidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{B}{2} - X_m \quad [41]$$

Donde “B” es la suma entre el ancho del azud y la longitud del pozo de amortiguación.

5. RESULTADOS DEL AZUD

A continuación se presentan los resultados del cálculo de los azudes correspondientes a cada una de las captaciones.

LANDAPO DERECHA

	Landapo Derecha	Unidades
Datos de entrada		
Caudal de diseño	10	l/s
Caudal máximo	950	l/s
Caudal mínimo	6.2	l/s
Ancho del río	5	m
Diseño del dique		
Ancho de la presa (L)	4.6	m
Altura del dique (h adoptada)	0.6	m
Altura sobre la cresta del vertedero (H _d)	0.23	m
Incremento de altura de muros laterales (H _{muro})	0.35	m
Altura sobre la cresta del vertedero en caudal de estiaje (H _d)	0.0081	m
Velocidad media (V _m)	0.89	m/s
Coeficiente de descarga [C]	2.18	m
Verificación de velocidades		
Tirante crítico (Y _c)	0.16	m
Velocidad crítica (V _c)	1.25	m/s
Características del aliviadero		
Coeficiente K	2	
Coeficiente n	1.85	
Ecuación general	$X_n = K \cdot H_d^{n-1} \cdot Y$	

X (m)	Y (m)	-Y (m)
0.1	0.024388949	-0.024389
0.2	0.087922205	-0.087922
0.3	0.186151868	-0.186152
0.4	0.316959711	-0.31696
0.5	0.478947143	-0.478947
0.6	0.67107783	-0.671078
Cresta del vertedero		
0.282Hd	0.0656	m
0.175Hd	0.0407	m
R1 = 0.5Hd	0.1164	m
R2 = 0.2Hd	0.0465	m
Curva circular contraria		
Radio [R]	0.17	m
Pozo de amortiguación		
Velocidad al pie de la presa (V1)	3.75	m/s
Altura del agua al pie de la presa (Y1)	5.51	cm
Número de Froude (F1)	5.1	
Longitud del pozo de amortiguación (L)	2	m
Longitud del enrocado después del dentellón	1.73	m
Estabilidad del talud		
Chequeo al deslizamiento (FSD)	1.858	
Condición	No hay deslizamiento	
Chequeo al volcamiento (FSV)	3.316	
Condición	No hay volcamiento	
Chequeo de la posición de la resultante (Xm)	0.31	
Condición	Ok, la resultante se encuentra en el tercio medio	

Tabla 3. Resultados cálculo azud quebrada Landapo derecha

LANDAPO IZQUIERDA

	Landapo izquierda	Unidades
Datos de entrada		
Caudal de diseño	10	l/s
Caudal máximo	2350	l/s
Caudal mínimo	8.7	l/s
Ancho del rio	6	m
Diseño del dique		
Ancho de la presa (L)	4	m
Altura del dique (h adoptada)	0.6	m

Altura sobre la cresta del vertedero (Hd)	0.4672	m
Incremento de altura de muros laterales (Hmuro)	0.65	m
Altura sobre la cresta del vertedero en caudal de estiaje (Hd)	0.0112	m
Velocidad media (Vm)	1.26	m/s
Coeficiente de descarga [C]	2.15	m
Verificación de velocidades		
Tirante crítico (Yc)	0.33	m
Velocidad crítica (Vc)	1.8	m/s
Características del aliviadero		
Coeficiente K	2	
Coeficiente n	1.85	
Ecuación general	$X_n = K \cdot H_d^{n-1} \cdot Y$	
X (m)	Y (m)	-Y (m)
0.1	0.013486293	-0.013486
0.2	0.048618112	-0.048618
0.3	0.102935912	-0.102936
0.4	0.175268383	-0.175268
0.5	0.264842149	-0.264842
0.6	0.371084153	-0.371084
0.7	0.493541833	-0.493542
0.8	0.631842844	-0.631843
Cresta del vertedero		
0.282Hd	0.1318	m
0.175Hd	0.0818	m
R1 = 0.5Hd	0.2336	m
R2 = 0.2Hd	0.0934	m
Curva circular contraria		
Radio [R]	0.14	m
Pozo de amortiguación		
Velocidad al pie de la presa (V1)	4.04	m/s
Altura del agua al pie de la presa (Y1)	14.54	cm
Número de Froude (F1)	3.38	
Longitud del pozo de amortiguación (L)	3	m
Longitud del enrocado después del dentellón	1.73	m
Estabilidad del talud		
Chequeo al deslizamiento (FSD)	1.585	
Condición	No hay deslizamiento	
Chequeo al volcamiento (FSV)	3.315	
Condición	No hay volcamiento	

Chequeo de la posición de la resultante (Xm)	0.45
Condición	Ok, la resultante se encuentra en el tercio medio

Tabla 4. Resultados cálculo azud quebrada Landapo izquierda

QUEBRADA TUSHE

	Tushe	Unidades
Datos de entrada		
Caudal de diseño	15	l/s
Caudal máximo	2890	l/s
Caudal mínimo	11	l/s
Ancho del rio	5	m
Diseño del dique		
Ancho de la presa (L)	4.5	m
Altura del dique (h adoptada)	0.6	m
Altura sobre la cresta del vertedero (Hd)	0.506	m
Incremento de altura de muros laterales (Hmuro)	0.7	m
Altura sobre la cresta del vertedero en caudal de estiaje (Hd)	0.0121	m
Velocidad media (Vm)	1.31	m/s
Coeficiente de descarga [C]	2.14	m
Verificación de velocidades		m/s
Tirante crítico (Yc)	0.35	m
Velocidad crítica (Vc)	1.85	m/s
Características del aliviadero		
Coeficiente K	2	
Coeficiente n	1.85	
Ecuación general	$Xn = K \cdot Hd^{n-1} \cdot Y$	
X (m)	Y (m)	-Y (m)
0.1	0.012602075	-0.012602
0.2	0.045430504	-0.045431
0.3	0.096187001	-0.096187
0.4	0.163777052	-0.163777
0.5	0.247477986	-0.247478
0.6	0.346754318	-0.346754
0.7	0.461183158	-0.461183
0.8	0.590416575	-0.590417
0.9	0.734159981	-0.73416
Cresta del vertedero		
0.282Hd	0.1427	m
0.175Hd	0.0886	m

R1 = 0.5Hd	0.253	m
R2 = 0.2Hd	0.1012	m
Curva circular contraria		
Radio [R]	0.14	m
Pozo de amortiguación		
Velocidad al pie de la presa (V1)	4.09	m/s
Altura del agua al pie de la presa (Y1)	16.19	cm
Número de Froude (F1)	3.25	
Longitud del pozo de amortiguación (L)	3.1	m
Longitud del enrocado después del dentellón	2.59	m
Estabilidad del talud		
Chequeo al deslizamiento (FSD)	1.554	
Condición	No hay deslizamiento	
Chequeo al volcamiento (FSV)	3.406	
Condición	No hay volcamiento	
Chequeo de la posición de la resultante (Xm)	0.47	
Condición	Ok, la resultante se encuentra en el tercio medio	

Tabla 5. Resultados cálculo azud quebrada Tushe

QUEBRADA HONDA

	Quebrada honda	Unidades
Datos de entrada		
Caudal de diseño	5	l/s
Caudal máximo	820	l/s
Caudal mínimo	6	l/s
Ancho del rio	3.86	m
Diseño del dique		
Ancho de la presa (L)	2.8	m
Altura del dique (h adoptada)	0.6	m
Altura sobre la cresta del vertedero (Hd)	0.2937	m
Incremento de altura de muros laterales (Hmuro)	0.4	m
Altura sobre la cresta del vertedero en caudal de estiaje (Hd)	0.0111	m
Velocidad media (Vm)	1	m/s
Coeficiente de descarga [C]	2.16	m
Verificación de velocidades		m/s
Tirante crítico (Yc)	0.21	m
Velocidad crítica (Vc)	1.44	m/s

Características del aliviadero		
Coeficiente K	2	
Coeficiente n	1.85	
Ecuación general	$X_n = K \cdot H_d^{n-1} \cdot Y$	
X (m)	Y (m)	-Y (m)
0.1	0.02001021	-0.02001
0.2	0.072136845	-0.072137
0.3	0.152730569	-0.152731
0.4	0.260053458	-0.260053
0.5	0.392958021	-0.392958
0.6	0.550593986	-0.550594
0.7	0.732289866	-0.73229
Cresta del vertedero		
0.282Hd	0.0828	m
0.175Hd	0.0514	m
R1 = 0.5Hd	0.1469	m
R2 = 0.2Hd	0.0587	m
Curva circular contraria		
Radio [R]	0.16	m
Pozo de amortiguación		
Velocidad al pie de la presa (V1)	3.83	m/s
Altura del agua al pie de la presa (Y1)	7.65	cm
Número de Froude (F1)	4.42	
Longitud del pozo de amortiguación (L)	2.15	m
Longitud del enrocado después del dentellón	0.94	m
Estabilidad del talud		
Chequeo al deslizamiento (FSD)	1.422	
Condición	No hay deslizamiento	
Chequeo al volcamiento (FSV)	2.842	
Condición	No hay volcamiento	
Chequeo de la posición de la resultante (Xm)	0.34	
Condición	Ok, la resultante se encuentra en el tercio medio	

Tabla 6. Resultados cálculo azud quebrada honda

QUEBRADA CHINCHAL

	Quebrada honda	Unidades
Datos de entrada		
Caudal de diseño	5	l/s

Caudal máximo	820	l/s
Caudal mínimo	6	l/s
Ancho del río	3.86	m
Diseño del dique		
Ancho de la presa (L)	2.8	m
Altura del dique (h adoptada)	0.6	m
Altura sobre la cresta del vertedero (Hd)	0.2937	m
Incremento de altura de muros laterales (Hmuro)	0.4	m
Altura sobre la cresta del vertedero en caudal de estiaje (Hd)	0.0111	m
Velocidad media (Vm)	1	m/s
Coeficiente de descarga [C]	2.16	m
Verificación de velocidades		m/s
Tirante crítico (Yc)	0.21	m
Velocidad crítica (Vc)	1.44	m/s
Características del aliviadero		
Coeficiente K	2	
Coeficiente n	1.85	
Ecuación general	$X_n = K \cdot H_d^{n-1} \cdot Y$	
X (m)	Y (m)	-Y (m)
0.1	0.02001021	-0.02001
0.2	0.072136845	-0.072137
0.3	0.152730569	-0.152731
0.4	0.260053458	-0.260053
0.5	0.392958021	-0.392958
0.6	0.550593986	-0.550594
0.7	0.732289866	-0.73229
0.8	0.937493199	-0.937493
0.9	1.165736225	-1.165736
1	1.416614392	-1.416614
1.1	1.689772031	-1.689772
1.2	1.984892337	-1.984892
1.3	2.30169011	-2.30169
Cresta del vertedero		
0.282Hd	0.0828	m
0.175Hd	0.0514	m
R1 = 0.5Hd	0.1469	m
R2 = 0.2Hd	0.0587	m
Curva circular contraria		
Radio [R]	0.16	m
Pozo de amortiguación		
Velocidad al pie de la presa (V1)	3.83	m/s
Altura del agua al pie de la presa (Y1)	7.65	cm

Número de Froude (F1)	4.42	
Longitud del pozo de amortiguación (L)	2.15	m
Longitud del enrocado después del dentellón	0.94	m
Estabilidad del talud		
Chequeo al deslizamiento (FSD)	1.422	
Condición	No hay deslizamiento	
Chequeo al volcamiento (FSV)	2.842	
Condición	No hay volcamiento	
Chequeo de la posición de la resultante (Xm)	0.34	
Condición	Ok, la resultante se encuentra en el tercio medio	

Tabla 6. Resultados cálculo azud quebrada Chinchal

6. DISEÑO DE GALERÍA Y CAJA DE RECOLECCIÓN

Los datos de entrada para esta estructura son:

- Caudal captado (Q)
- base de la rejilla (b)
- Longitud de la reja (L)
- Longitud de la cresta del vertedero (L1)
- Ángulo de la rejilla

El caudal en la galería bajo la rejilla es un flujo de caudal variable en ruta. Por este motivo para determinar su sección se diseñará sus parámetros para condiciones de flujo subcrítico:

En primer lugar se calcula la profundidad (Y_c) y la velocidad crítica (V_c):

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}} \quad [42]$$

$$V_c = \sqrt{gY_c} \quad [43]$$

Se determina la altura del agua al final del canal recolector (H_2):

$$H_2 = 1.1 * Y_c \quad [44]$$

Se procede a calcular la altura del agua al inicio del canal recolector

$$H1 = \sqrt{\frac{2Yc^3}{H2}} + \left(H2 - \frac{LS}{3}\right)^2 - \frac{2}{3}LS \quad [45]$$

“S” corresponde a la pendiente longitudinal en dirección a la zona de salida, este valor es asumido, sin embargo se recomienda valores entorno al 2%.

En lo referente al canal recolector, en lugar de éste se empleará una tubería cuya sección permita derivar el caudal necesario. Para dar continuidad y basados en el principio de conservación de masa el diámetro de la tubería de recolección será igual al diámetro de la tubería de conducción.

Se procede a realizar el chequeo de las condiciones de flujo:

Se determina la velocidad al final del canal recolector haciendo uso de la ecuación de continuidad: $Q = A \cdot V$, se despeja la velocidad: $V = Q/A$, el caudal es el correspondiente al caudal de diseño mientras que área es la sección mojada de la galería, cuya base es equivalente a la base de la rejilla y su altura corresponde a la altura al final del canal recolector.

Luego, se debe comparar que la velocidad al final del canal recolector sea menor a la velocidad crítica (V_c) ya determinada.

Se procede entonces a determinar las dimensiones verticales de los distintos componentes de la galería tales como: espesor de rejilla (e), desnivel de rejilla (h); el desnivel de rejilla hace referencia a la diferencia de altura generada por la inclinación de la misma; la altura libre de flujo ($r1$) y la ya determinada altura al final del canal recolector ($H1$).

En el siguiente esquema es posible diferenciar la ubicación de caracterización geométrica de los parámetros indicados:

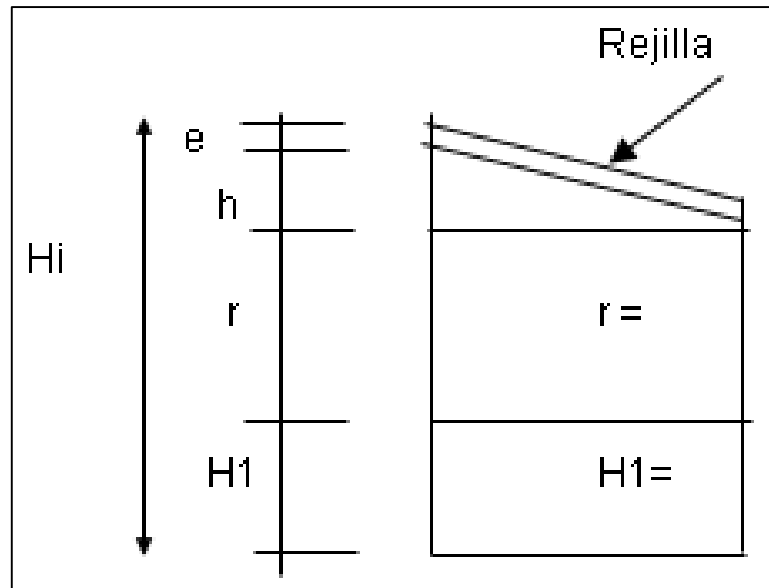


Figura 12. Esquema de las dimensiones verticales de la galería

El siguiente paso es dimensionar la cámara de recolección

Como primer paso se adopta una altura de cámara, este valor es tentativo ya que su dimensión definitiva se determina al final de todo el cálculo de la caja.

Con este valor de la altura de caja (y) es posible determinar el tiempo de caída del agua basados en el principio de caída libre a través de la siguiente expresión:

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad [46]$$

Se asume que se cuenta con condiciones físicas de movimiento uniforme para estimar la longitud de la caja, por tanto:

$$V = e/t \quad [47]$$

$$e = V * t \quad [48]$$

Con este proceso se tiene un valor mínimo de la longitud de la caja, el cual sirve de base para asumir un valor igual o mayor (x).

El siguiente paso es determinar el caudal máximo que ingresa a la galería de recolección, este caudal se determina a través del programa “Coanda” de la Bureau of Reclamation.

El siguiente paso es determinar el volumen de la cámara a través de la siguiente ecuación:

$$V = Q_{max} * t_{RT} \quad [49]$$

“Qmax” corresponde al caudal máximo ya calculado, mientras que t_{RT} corresponde al tiempo de retención, valor que es asumido bajo criterio del diseñador.

Con el tiempo de retención ya determinado es posible calcular una primera aproximación de la altura de la caja, así:

$$Volumen = base * longitud * altura$$

Se asume un valor de la base, mientras que la longitud corresponde al valor ya calculado anteriormente (x). Se despeja el valor de la altura y así se tiene la primera estimación.

El siguiente paso es determinar el caudal de excesos, el cual corresponde a la diferencia entre el caudal máximo captado (Qmax) y el caudal de diseño.

Con respecto a la tubería de purga su diámetro se calcula como se muestra a continuación:

$Q = V/t$ por tanto, debido a que ya se cuenta con el volumen de la caja, se asume un tiempo de descarga (t) y se determina el caudal, con este caudal es posible determinar el diámetro de la tubería a través de la siguiente expresión:

$$\phi = 1.356 * \sqrt{Q} \quad [50]$$

Luego por criterio del diseñador se adopta un diámetro comercial en base al resultado del cálculo.

Con estos parámetros se empieza a definir las dimensiones finales de la caja de recolección.

La primera dimensión que se debe definir es la altura desde la base de la caja hasta la batea de la tubería de conducción (h1), esta altura se determina considerando el diámetro de la tubería de purga más el criterio de facilidad constructiva.

Con el valor de “h1” definido, y con el diámetro de tubería de conducción ya establecido, se procede a determinar la carga sobre la tubería de conducción (hs).

$$hs = \frac{1}{2 * g} * \left(\frac{Q}{C * A} \right)^2 \quad [51]$$

Donde “C” corresponde a un coeficiente de descarga que adopta un valor de 0.6 para el caso estos casos y “A” se define cómo el área de la tubería de conducción. Por tanto con esta altura de carga definida se puede determinar la altura en la cual debe colocarse la tubería de excesos, la cual sería la suma entre h1, diámetro externo de la tubería de conducción y hs.

Se procede entonces a determinar el diámetro de la tubería de excesos para lo cual se hace uso de la ecuación [50] con el caudal de exceso ya determinado. Se incrementa un borde de seguridad a la altura vertical de la caja se obtiene así las dimensiones finales de la caja.

7. RESULTADOS GALERÍA Y CAJA DE RECOLECCIÓN

Landapo derecha		
Galería		
e =	20	mm
h =	0.15	m
r =	0.093	m
D tubería =	0.16	m
Hi =	0.33	m
Caja de recolección		
Altura (h) =	75	cm
ancho (x) =	70	cm
Longitud (L) =	100	cm
Altura batea tubería de purga =	0	cm
Diámetro nominal tubería de purga =	110	mm
Altura batea tubería de conducción =	5	cm
Diámetro nominal tubería de conducción =	160	mm
Altura batea tubería de excesos =	27	cm
Diámetro nominal tubería de excesos =	200	mm

Tabla 7. Resultados cálculo galería y caja de recolección quebrada Landapo derecha

Landapo izquierda		
Galería		
e =	20	mm
h =	0.15	m
r =	0.093	m
D tubería =	0.16	m
Hi =	0.33	m
Caja de recolección		
Altura (h) =	75	cm
ancho (x) =	70	cm
Longitud (L) =	100	cm
Altura batea tubería de purga =	0	cm
Diámetro nominal tubería de purga =	110	mm
Altura batea tubería de conducción =	5	cm
Diámetro nominal tubería de conducción =	160	mm
Altura batea tubería de excesos =	27	cm
Diámetro nominal tubería de excesos =	200	mm

Tabla 8. Resultados cálculo galería y caja de recolección quebrada Landapo izquierda.

Tushe		
Galería		
e =	20	mm
h =	0.15	m
r =	0.009	m
D tubería =	0.11	m
Hi =	0.28	m
Caja de recolección		
Altura (h) =	75	cm
ancho (x) =	70	cm
Longitud (L) =	100	cm
Altura batea tubería de purga =	0	cm
Diámetro nominal tubería de purga =	110	mm
Altura batea tubería de conducción =	5	cm
Diámetro nominal tubería de conducción =	200	mm
Altura batea tubería de excesos =	30	cm
Diámetro nominal tubería de excesos =	200	mm

Tabla 9. Resultados cálculo galería y caja de recolección quebrada Tushe

Quebrada Honda		
Galería		
e =	20	mm
h =	0.15	m
r =	0.133	m
D tubería =	0.2	m
Hi =	0.37	m
Caja de recolección		
Altura (h) =	75	cm
ancho (x) =	70	cm
Longitud (L) =	100	cm
Altura batea tubería de purga =	0	cm
Diámetro nominal tubería de purga =	110	mm
Altura batea tubería de conducción =	5	cm
Diámetro nominal tubería de conducción =	110	mm
Altura batea tubería de excesos =	27	cm
Diámetro nominal tubería de excesos =	200	mm

Tabla 10. Resultados cálculo galería y caja de recolección quebrada Honda

Quebrada Chinchal		
Galería		
e =	20	mm
h =	0.15	m
r =	0.133	m
D tubería =	0.2	m
Hi =	0.37	m
Caja de recolección		
Altura (h) =	75	cm
ancho (x) =	70	cm
Longitud (L) =	100	cm
Altura batea tubería de purga =	0	cm
Diámetro nominal tubería de purga =	110	mm
Altura batea tubería de conducción =	5	cm
Diámetro nominal tubería de conducción =	110	mm
Altura batea tubería de excesos =	27	cm
Diámetro nominal tubería de excesos =	200	mm

Tabla 11. Resultados cálculo galería y caja de recolección quebrada Chinchal

8. DISEÑO CAJONES DE CONEXIÓN DE FLUJO

Para el diseño de los tanques se sigue el siguiente procedimiento:

En primer lugar es necesario asumir dimensiones tentativas de la estructura como son largo, ancho y altura: x , b y h respectivamente, con el fin de determinar los parámetros hidráulicos y comprobar así que se cumplan las solicitaciones de funcionamiento de este elemento.

Asumiendo, en primera instancia, un valor de y , es posible obtener un valor referencial de x .

Con la altura (y) es posible determinar el tiempo de caída del agua basados en el principio de caída libre a través de la siguiente expresión:

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad [46]$$

Se asume que se cuenta con condiciones físicas de movimiento uniforme para estimar la longitud del tanque, por tanto:

$$V = e/t \quad [47]$$

$$e = V * t \quad [48]$$

Con este proceso se tiene un valor mínimo de la longitud del tanque, el cual sirve de base para asumir un valor igual o mayor (x).

El siguiente paso es determinar la tubería de purga su diámetro se calcula como se muestra a continuación:

La tubería de purga se puede calcular con la expresión mostrada a continuación, haciendo uso del caudal de diseño de la caja,

$$\phi = 1.356 * \sqrt{Q} \quad [50]$$

Luego por criterio del diseñador se adopta un diámetro comercial en base al resultado del cálculo.

Con estos parámetros se empieza a definir las dimensiones finales de la caja de recolección.

La primera dimensión que se debe definir es la altura desde la base de la caja hasta la batea de la tubería de conducción (h_1), esta altura se determina considerando el diámetro de la tubería de purga más el criterio de facilidad constructiva.

Con el valor de “h1” definido, y con el diámetro de tubería de conducción ya establecido, se procede a determinar la carga sobre la tubería de conducción (hs).

$$hs = \frac{1}{2 \cdot g} * \left(\frac{Q}{C \cdot A} \right)^2 \quad [51]$$

Donde “C” corresponde a un coeficiente de descarga que adopta un valor de 0.6 para el caso estos casos y “A” se define cómo el área de la tubería de conducción. Por tanto con esta altura de carga definida se puede determinar la altura en la cual debe colocarse la tubería de excesos, la cual sería la suma entre h1, diámetro externo de la tubería de conducción y hs.

Se procede entonces a determinar el diámetro de la tubería de excesos. Dado a que los excesos serán controlados en el inicio de la conducción se colocará una tubería de excesos mínima, únicamente por cuestiones de seguridad. Se incrementa un borde de seguridad a la altura vertical de la caja se obtiene así las dimensiones finales de la caja.

9. RESULTADOS TANQUES DE PASO

Tanque número 1		
Caudal de entrada y salida =	20	l/s
Altura (h) =	75	cm
ancho (x) =	100	cm
Longitud (L) =	100	cm
Altura batea tubería de purga =	0	cm
Diámetro externo tubería de purga =	110	mm
Altura batea tubería de conducción =	15	cm
Diámetro externo tubería de conducción =	250	mm
Altura batea tubería de excesos =	44	cm
Diámetro externo tubería de excesos =	110	mm

Tabla 12. Resultados tanque de paso número 1

Tanque número 2		
Caudal de entrada y salida =	25	l/s
Altura (h) =	75	cm
ancho (x) =	100	cm
Longitud (L) =	100	cm
Altura batea tubería de purga =	0	cm
Diámetro externo tubería de purga =	110	mm
Altura batea tubería de conducción =	15	cm
Diámetro externo tubería de conducción =	250	mm
Altura batea tubería de excesos =	44	cm
Diámetro externo tubería de excesos =	110	mm

Tabla 13. Resultados tanque de paso número 2

10. DISEÑO DE DESARENADOR

El desarenador tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar se produzcan depósitos en las obras de conducción, y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento.

Al desarenador llegan los caudales procedentes de las cinco fuentes de captación.

El desarenador será de doble cámara para facilitar la operación y mantenimiento.

Para su diseño se debe considerar en principio los siguientes datos de entrada:

- Caudal de diseño (Q_{dis})
- Aceleración de la gravedad (g)
- Diámetro de las partículas que se pretende retener ($\phi_{part.}$)
- Grado del desarenador (n)
- Diámetro tubería de salida ($\phi_{part.}$)
- Peso específico de la partícula (D_s)
- Temperatura del agua (T)
- Tiempo de retención (T_r)
- Viscosidad cinemática del agua (ν)

La norma INEN 5 parte 9-1 de 1992 en Tabla 5 apartado 4.1.6 recomienda caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable. El caudal máximo diario + 20% es el correspondiente a captación de aguas superficiales, por lo tanto es el **caudal de diseño** para la estructura de desarenación.

El diámetro de las partículas que se pretende retener es asumido por criterio del diseñador, del diámetro de partículas elegido dependerán las dimensiones de la estructura así como también que tipo de partículas serán derivadas a las siguientes fases del sistema.

Con respecto al grado del desarenador existen las siguientes posibilidades:

$n=1$, deflectores deficientes o sin ellos.

$n=2$, deflectores regulares;

$n=3$; deflectores buenos;

$n=5-8$ deflectores muy buenos y

$n \geq$ infinito, caso teórico

La temperatura de agua puede ser asumida como un valor medio de la temperatura de la zona de interés, mientras que el tiempo de retención es un valor asumido por el diseñador, considerando que un rango recomendado es de 10 a 20 minutos.

Con los datos de entrada ya definidos, se establece los parámetros de diseño.

En primer lugar se determina la velocidad de asentamiento. En necesario obtener este dato a partir de dos métodos con el fin de promediar sus resultados. El

primer método es obtener la velocidad de asentamiento a través de relación de Stokes, mientras que el segundo método es obtener la misma velocidad a través de la tabla de Allen Hazen.

Relación de Stokes:

$$V_s = \left(\frac{g}{18} \right) (D_s - 1) \left(\frac{\phi_{part}}{u} \right) \quad [52]$$

Tabla de Allen Hazen:

Material	ϕ Partículas Límite	Número de Reynolds	Velocidad Sedimentación	Régimen	Ley Aplicada
Grava	1 cm	>10000	=100 cm/s	Turbulento	Newton
Arena gruesa y media	0.10 cm	=1000	10 cm/s	Transición	Allen
	0.08 cm	=660	8.3 cm/s	Transición	
	0.05 cm	=380	6.3 cm/s	Transición	
	0.05 cm	=27	5.3 cm/s	Transición	
	0.04 cm	=17	4.2 cm/s	Transición	
	0.03 cm	=10	3.2 cm/s	Transición	
	0.02 cm	=4	2.1 cm/s	Transición	
	0.015 cm	=2	1.5 cm/s	Transición	
Arena fina	0.010 cm	=0.8	0.8 cm/s	Laminar	Stokes
	0.008 cm	=0.5	0.6 cm/s	Laminar	
	0.006 cm	=0.24	0.4 cm/s	Laminar	
	0.005 cm	<1	0.3 cm/s	Laminar	
	0.004 cm	<1	0.2 cm/s	Laminar	
	0.003 cm	<1	0.13 cm/s	Laminar	
	0.002 cm	<1	0.06 cm/s	Laminar	
	0.001 cm	<1	0.015 cm/s	Laminar	

Tabla 14. Relación entre diámetro de partícula y velocidad de sedimentación

Fuente: Acueductos, teoría y diseño; Fredy Corcho Romero

Con el resultado de la velocidad de asentamiento es posible determinar la carga hidráulica superficial diaria (VS1) por metro cuadrado a través de la siguiente expresión:

$$VS1 = 86400 \cdot V_s \cdot 0.01 \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{/día)} \quad [53]$$

Se debe asumir una magnitud para el ancho del desarenador (B), la cual debe ser superior a 0.60, según recomendación técnica de normativas vigentes.

Luego, se procede a determinar el volumen útil del desarenador a través de la siguiente ecuación:

$$V = Q_{dis} \cdot T_r \quad [54]$$

Se determina entonces el área del desarenador (S), así:

$$S = \frac{Q_{dis}}{V_{s1}} \quad [55]$$

Previo al cálculo se debe realizar la transformación respectiva de unidades para la validez de la expresión.

Una vez determinada la superficie, es posible calcular la longitud del desarenador, como se muestra a continuación:

$$L = \frac{S}{L} \quad [56]$$

La longitud del desarenador debe tener una magnitud mínima de 2.50.

El siguiente paso es determinar la profundidad del desarenador, así:

$$H = \frac{V}{S} \quad [57]$$

Es necesario incrementar un 20% a la magnitud de la altura, con el fin de generar una zona de lodos.

Con estos valores es posible realizar el primer chequeo:

La relación L/h debe mantenerse en el rango de 3-25, caso contrario se deberá realizar un cambio de magnitud en las dimensiones asumidas, hasta que se cumpla la condición.

Por otro lado la relación L/B debe estar comprendida entre el rango 2.25-5, caso contrario se deberá variar las dimensiones asumidas.

Con estas consideraciones es posible establecer las dimensiones constructivas del desarenador. Estas dimensiones deben ser chequeadas calculando: el volumen útil = L*B*H; el tiempo de retención = Volumen útil / Q_{dis} y tiempo de asentamiento de las partículas = h/V_s. Los resultados de aplicar las formulas expuestas debe ser cercano a los valores adoptados inicialmente.

El siguiente paso es realizar el cálculo de velocidades. La primera en ser calculada es la velocidad de arrastre (V_a):

$$V_a = k\sqrt{g * (D_s - 1) * \phi_p} \quad [58]$$

Donde, como ya se indicó anteriormente "D_s" corresponde al peso específico de la partícula; "g" es la aceleración debida a la gravedad, "φ_p" es el diámetro de partícula y, finalmente, "k" corresponde a un coeficiente de rozamiento que puede adoptar valores entre 3 y 4.5, según el criterio del diseñador.

El siguiente valor de velocidad a ser determinado es el correspondiente a la velocidad horizontal (V_h):

$$V_h = \frac{Q_{\text{diseño}}}{A_t} \quad [59]$$

Donde " A_t " corresponde a la superficie transversal del desarenador:

$$A_t = B * h \quad [60]$$

Una vez determinadas las velocidades, se procede a realizar a comprobar que las condiciones, presentadas a continuación, se cumplan:

$$V_h / V_s \leq 20$$

$$V_{h\text{máx}} = 1/3 * V_a; V_h < V_{h\text{máx}}$$

$$V_h / V_a \leq 0,30$$

" V_s " corresponde a la velocidad de sedimentación ya determinada con anterioridad.

Como siguiente paso, se procede a determinar la tolva de sedimentación. Para ello se toma en consideración que se generó un 20% más de altura para estos fines. El proceso de cálculo de las características geométricas de la tolva de sedimentación es el siguiente:

$$\text{Volumen de tolva} = 0.20 * B * L * H$$

$$\text{Área transversal de la tolva} = \text{Volumen de tolva} / B$$

Las características geométricas de la tolva de sedimentación corresponde a la siguiente figura:

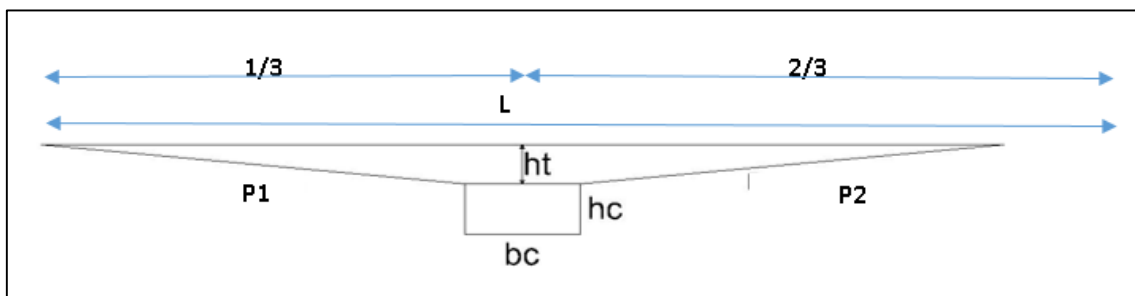


Figura 14. Características geométricas tolva sedimentadora

Se debe asumir valores para los diferentes componentes de la tolva, P1 y P2 corresponden a las pendientes laterales, las cuales deben poseer un valor comprendido entre 5 y 15%. Para asumir los valores se debe tener en consideración que la sección transversal generada a partir de los valores asumidos debe ser similar al área transversal de la tolva, valor ya calculado.

El siguiente paso es determinar el dispositivo de entrada. Se trata de una pantalla de forma rectangular, en cuya pared se sitúa un determinado número de orificios, a través de los cuales ingresa el agua a la cámara de sedimentación.

El primer paso es asumir, bajo criterio del diseñador, el número de orificios de la pantalla. Se determina entonces el caudal que pasará por cada orificio, a través de la siguiente expresión:

$$Q_o = Q \text{ dis} / \# \text{ orificios} \quad [61]$$

Luego, se determina la velocidad en los orificios:

$$V_o = Q_o / A_o \quad [62]$$

Para determinar el término “ A_o ” en primer lugar se debe asumir un diámetro de tubería para que sea la sección de los orificios, se selecciona un diámetro comercial con su respectivo diámetro interno (D_o). Se calcula el área de la sección del orificio (A_o) con “ D_o ” como dato principal.

El siguiente paso es determinar el área total de orificios en la pantalla, para lo cual se multiplica el área de orificio por el número de orificios.

El dispositivo de entrada (pantalla difusora) debe ubicarse entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada, según recomendaciones de la GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES de la Organización Panamericana de la Salud.

Se procede entonces a determinar el dispositivo de salida, para lo cual se ha seleccionado un vertedero rectangular, cuyo ancho será igual al de la cámara de sedimentación.

La ecuación del vertedero es la siguiente:

$$Q = M B H^{3/2} \quad [63]$$

En donde para determinar la carga de agua que debe circular por el vertedero se debe despejar “ H ”; con el valor del ancho “ B ” ya conocido, al igual que el caudal “ Q ”, se debe seleccionar un valor de “ M ” bajo criterio del diseñador.

“ M ” puede tener un valor comprendido entre 1.3 y 2.2.

Se determina a continuación las características de la tubería de desagüe. Esta tubería tendrá una pendiente de por lo menos 2%. Esto con el fin de generar una elevada velocidad de purga. Se adopta un diámetro de desagüe según criterio del diseñador. Por otro lado esta tubería debe ubicarse sobre el canal de la tolva sedimentadora, es decir a 1/3 de la longitud de la cámara de desarenador.

Luego, se calcula las dimensiones de la cámara de salida, para lo cual en principio se determina el área mojada del vertedero (A_v):

$$A_v = B \cdot H_{\text{vert}} \quad [64]$$

Donde H_{vert} es la altura determinada a través de la ecuación [63].

Se calcula la velocidad de salida del vertedero:

$$V_v = \frac{Q_{dis}}{A_v} \quad [65]$$

Se asume un valor de la altura de la cámara de salida (Y'), para determinar así el tiempo de llenado de la cámara:

$$t' = \left(\frac{2 \cdot Y'}{g} \right)^{1/2} \quad [66]$$

Luego se determina la longitud mínima de la cámara de salida (X):

$$X = V_v * t' \quad [67]$$

Como paso siguiente se debe asumir un valor constructivo de la longitud de la cámara de salida (X').

Finalmente se determina la carga sobre la tubería de descarga a través de la ecuación [51].

11. RESULTADOS DESARENADOR DOBLE CÁMARA

Datos de diseño		
Caudal de diseño (Q_{dis}) =	40	l/s
Diámetro de las partículas ($\phi_{partic.}$) =	0.01	cm
Grado del desarenador (n) =	3	
Diámetro de tubería de salida ($\phi_{tub\ sal}$) =	355	mm
Temperatura del agua (T) =	16	°C
Tiempo de retención (Tr) =	15	min
Parámetros de diseño		
Aceleración de la gravedad (g) =	981	cm/s ²
Peso específico de la partícula (Ds) =	2.65	
Diámetro de las partículas (ϕ_p) =	0.01	cm
Viscosidad cinemática del agua (u) =	0.011168	cm ² /s
Velocidad de asentamiento (Relación de Stokes) =	0.80520	cm/s
Cálculo de valores preliminares		
Ancho (B) =	2.0	m
Volumen útil del desarenador (V) =	36	m ³
Área del desarenador (S) =	13.66	m ²
Longitud del desarenador (L) =	18	m
Profundidad (h) =	1.25	m
Dimensiones finales desarenador		
L =	18	m
B =	2.0	m
h . Desar. = h + 20% lodos	1.75	m
Calculo de velocidad		
Velocidad de arrastre (V_a) =	16.09	cm/s
Coeficiente de rozamiento (K) =	4	

Velocidad horizontal (V_h) =	1.6	cm/s
Área transversal-desarenador (A_t) =	2.5	m ²
Cálculo de tolva sedimentadora		
b_c =	0.6	m
h_c =	0.4	m
h_t =	0.29	m
h_t constructivo =	0.5	m
A_{t2} =	4.89	m ²
V_t' =	9.78	m ³
P_1 =	9	%
P_2 =	4	%
Dispositivo de entrada		
Número de orificios (N) =	178	
Velocidad en los orificios (V_o) =	0.1145	m/s
Diámetro del orificio (D_o) =	50	mm
Dispositivo de salida		
$H_{vert.}$ =	4.9137	cm
Tubería de desagüe		
Diámetro tubería de desagüe ($\phi_{t.des}$) =	300	mm
Dimensiones cámara de salida		
Altura de cámara Y' =	0.6	m
Longitud de cámara X' =	0.6	m
Cálculo de la carga sobre la tubería (H_s) =	4.19	cm

Tabla 15. Resultados cálculo desarenador