



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Cálculo, modelación y diseño de una obra de Captación tipo
Coanda**

Tutor: Ing. Marco Masabanda, PhD.

Autores: Azogue Cocha Bryan Israel
Paredes Mena Luis Humberto
Quiroz Toscano Dylan Alexander

Sangolquí, 15 de marzo de 2024



Tabla de Contenidos

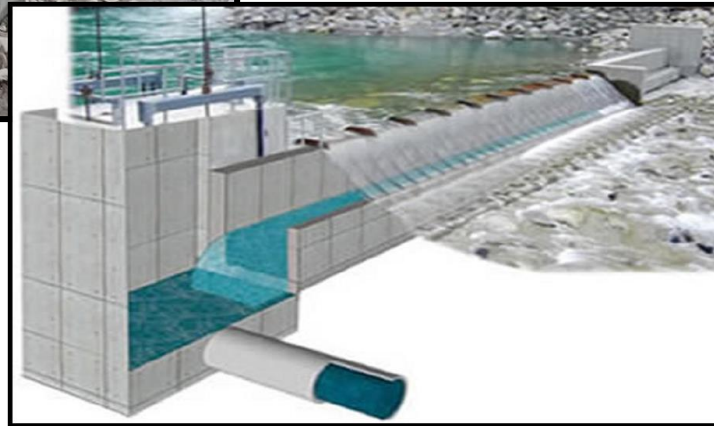
Antecedentes

Objetivos

Análisis de Resultados

Conclusiones y Recomendaciones





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una alternativa para el mejor aprovechamiento del recurso hídrico en una obra de captación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño hidráulico del azud con rejilla Coanda.
- Elaborar un modelo digital y a escala de la obra de captación tipo Coanda.
- Verificar la estabilidad estructural del azud con rejilla Coanda.



EFEECTO COANDA

- Henri Coanda 1910, ligado a la aeronáutica.
- Búsqueda de soluciones a la creciente demanda por manejo y uso racional del agua superficial.
- Mejorar la filtración primaria y remover sólidos en suspensión y vida acuática.



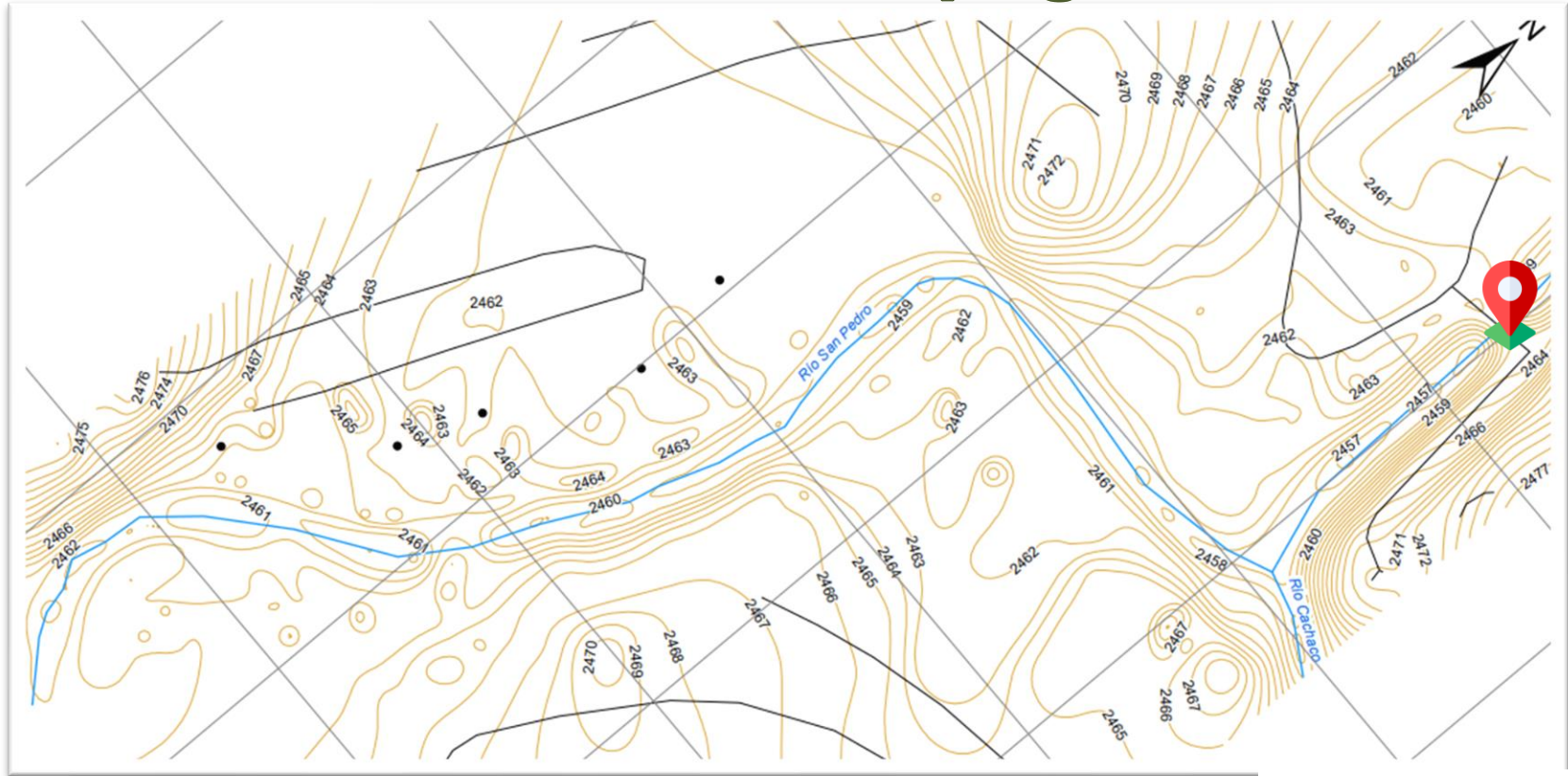
Ubicación del estudio

Sangolquí –Pichincha

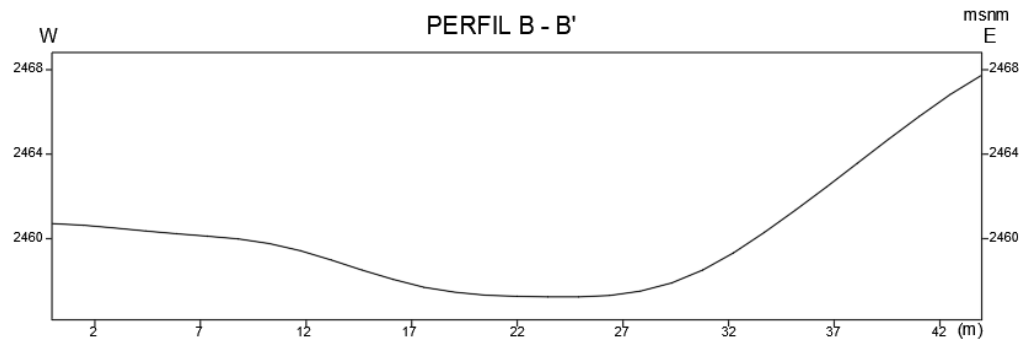
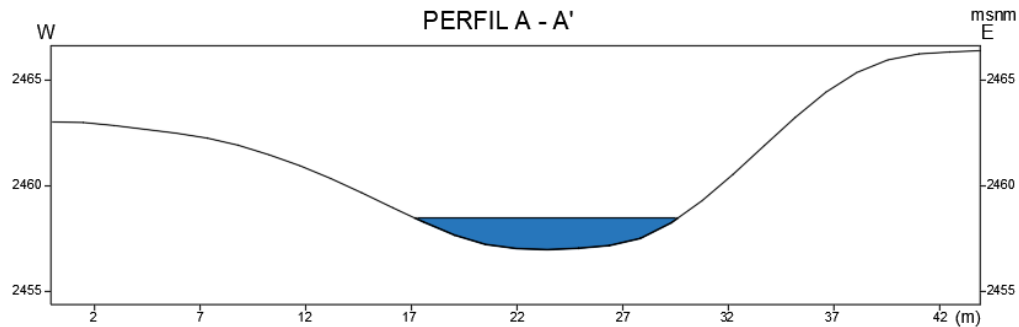
- Coordenadas decimales: - 0,30972; -78,45396
- Coordenadas UTM: 783399,90; 9965732,30 17S
- Latitud: 0°18'35.00"S
- Longitud: 78°27'14.27"O
- Elevación: 2464 msnm



Levantamiento topográfico

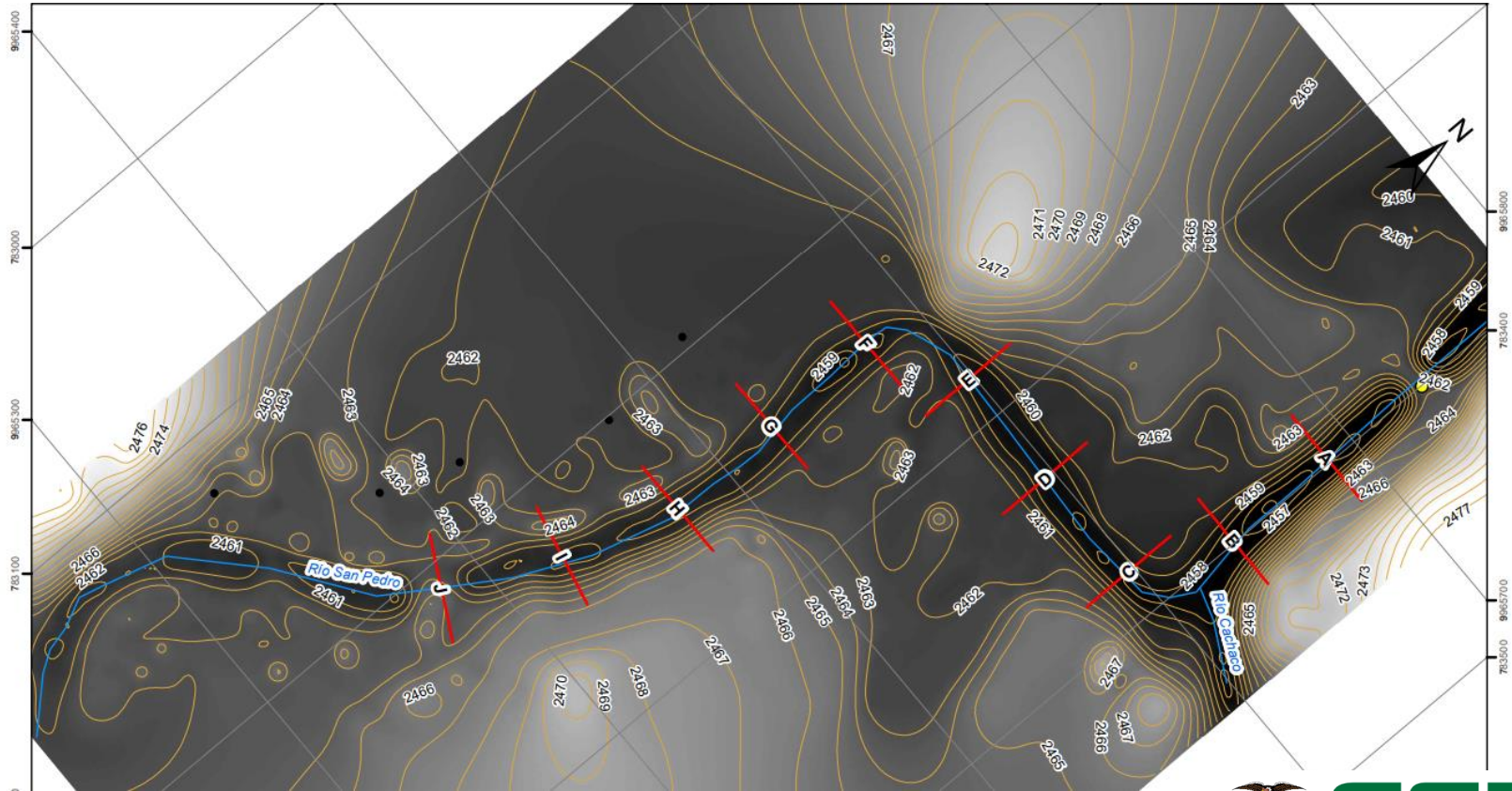


Secciones del río

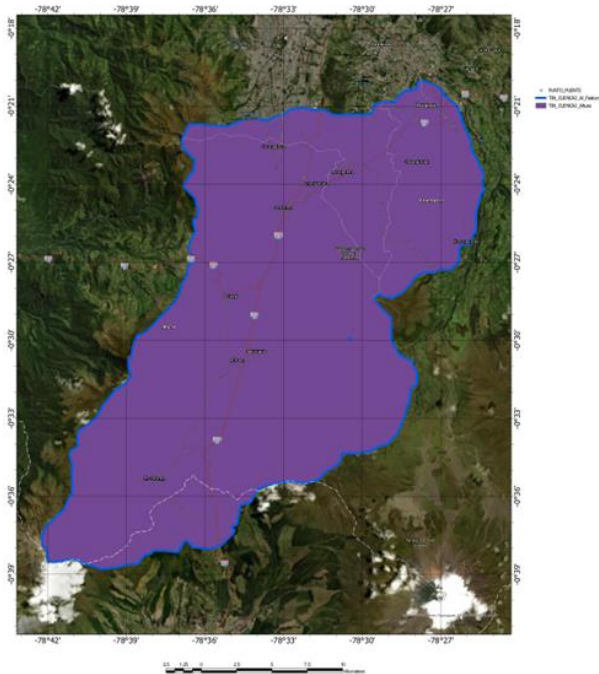


$$Rh = \frac{\text{area mojada}}{\text{perimetro mojado}} = \frac{13,1767}{13} = 1,04m$$

Ubicación de las secciones



Estudio hidrológico



Imágenes recuperadas del desarrollo en ArcGIS

Descripción	Fórmula	Resultado	Unidad
Área	-	664,81	km ²
Perímetro	-	133	km
Longitud del cauce principal	-	57,61	km
Pendiente cauce principal	$Scp = \frac{Hmax - Hmin}{L} * 100$	3,99	%
Coefficiente de compacidad	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$	1,46	
Factor de forma	$Ff = \frac{A}{L^2}$	0,28	



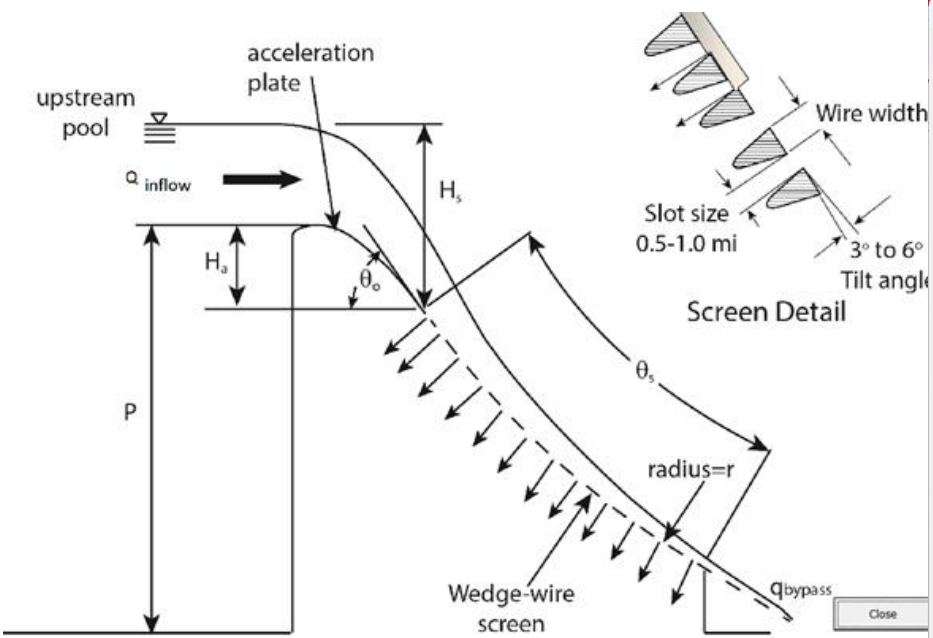
Parámetros de diseño

12

Descripción	Fórmula	Resultado	Unidad
Dotación	-	210	l/hab/día
Periodo de diseño	-	25	años
Pob. Actual Pa	-	56000	habitantes
Tasa de crecimiento r	-	1%	
Fac. de fugas	-	10%	
Pob. futura	$Pf = Pa * e^{r*T}$	71905	habitantes
Caudal de captación	$Q_{med} = 1,2 * KMD * \frac{Pf * dot}{86400} * (1 + ff)$	185,66	lts/s
Caudal del río	-	2100	lts/s
Coefficiente de rugosidad	$n = m(n0 + n1 + n2 + n3 + n4)$	0,055	s/m ^{1/3}
Velocidad media del río	$Vm = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$	3,67	m/s



Diseño de la malla Coanda



Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens - Modelo Coanda ESPE final final.coa

File Description: Malla Coanda Q 2.1

Structure | Accelerator Plate | Screen | Flow Condition | Batch Mode

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

Discharge Coefficient: 2 m^{0.5}/s

Solve for...: Design Discharge

Accelerator Drop (Ha): 0.2 m

Top-of-Screen Inclination θ_0 : 42 degrees

Design Discharge, Q0: 1.24 m³/s

Approach Channel Weir P-Height: 1 m

Results

Q Through Screen: 0.1889 m³/s

Q Bypass: 1.9111 m³/s

Wetted Screen Length: 0.3 m

Distance	Depth	Velocity	Q Thru	V Thru	V Ratio	Bypass Q	Re_slot	Froude	Weber_offset
0.2077	0.2473	3.976	0.1319	4.3951	1.6991	1.9891	3670	4.9593	213.3
0.2192	0.2452	3.9992	0.139	2.3905	1.6729	1.961	5703	2.9907	218.43
0.2308	0.2429	4.0222	0.1462	2.3862	1.6856	1.9538	5736	3.022	220.95
0.2423	0.2406	4.045	0.1533	2.3819	1.6982	1.9467	5769	3.0534	223.46
0.2538	0.2384	4.0676	0.1605	2.3778	1.7106	1.9395	5801	3.0846	225.97
0.2654	0.2362	4.09	0.1676	2.3739	1.7229	1.9324	5833	3.1159	228.46
0.2769	0.2341	4.1122	0.1747	2.37	1.7351	1.9253	5864	3.1471	230.95
0.2885	0.232	4.1343	0.1818	2.3663	1.7472	1.9182	5896	3.1783	233.43
0.3	0.2299	4.1562	0.1889	2.3626	1.7591	1.9111	5927	3.2095	235.91

Single Flow Condition

Record Summary Results in Output File

Show Profile Details

Compute One Profile

Show Sketch with Variable Definitions

Rating Curve for Range of Flows

Compute Multiple Profiles to Develop Rating Curve for This Screen

Output file: D:\ESPE\SEMESTRES\MIC\Coanda_Output.txt

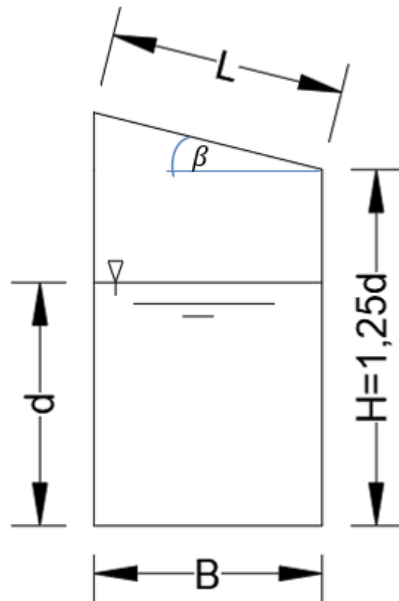
Diseño del canal colector

Fórmulas

$$B_{canal} = L * \cos\beta$$

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{\frac{5}{3}}}{P^{\frac{2}{3}}} * \sqrt{S}$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * d}}$$



Valores obtenidos

$$L = 30 \text{ cm}$$

$$d = 90 \text{ cm}$$

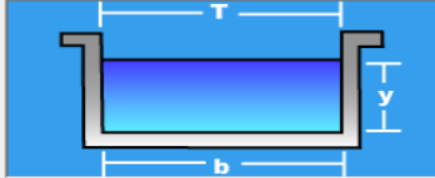
$$H = 113 \text{ cm}$$

$$B = 23 \text{ cm}$$

$$F = 0,302 < 1 \therefore \text{Subcrítico}$$



Modelación en HCanales

Cálculo del ancho solera (b)	Cálculo de la pendiente (S)	Cálculo de la rugosidad (n)										
<p>Datos:</p> <p>Caudal (Q): <input type="text" value="0.186"/> m³/s</p> <p>Tirante (y): <input type="text" value="0.9"/> m</p> <p>Ancho de solera (b): <input type="text" value="0.23"/> m</p> <p>Talud (Z): <input type="text"/></p> <p>Rugosidad (n): <input type="text" value="0.025"/></p>												
												
<p>Resultados:</p> <table border="0"> <tr> <td>Pendiente (S): <input type="text" value="0.010593"/> m/m</td> <td>Perímetro (p): <input type="text" value="2.0300"/> m</td> </tr> <tr> <td>Área hidráulica (A): <input type="text" value="0.2070"/> m²</td> <td>Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.1020"/> m</td> </tr> <tr> <td>Espejo de agua (T): <input type="text" value="0.2300"/> m</td> <td>Velocidad (v): <input type="text" value="0.8986"/> m/s</td> </tr> <tr> <td>Número de Froude (F): <input type="text" value="0.3024"/></td> <td>Energía específica (E): <input type="text" value="0.9412"/> m-Kg/Kg</td> </tr> <tr> <td>Tipo de flujo: <input type="text" value="Subcrítico"/></td> <td></td> </tr> </table>			Pendiente (S): <input type="text" value="0.010593"/> m/m	Perímetro (p): <input type="text" value="2.0300"/> m	Área hidráulica (A): <input type="text" value="0.2070"/> m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.1020"/> m	Espejo de agua (T): <input type="text" value="0.2300"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="0.8986"/> m/s	Número de Froude (F): <input type="text" value="0.3024"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="0.9412"/> m-Kg/Kg	Tipo de flujo: <input type="text" value="Subcrítico"/>	
Pendiente (S): <input type="text" value="0.010593"/> m/m	Perímetro (p): <input type="text" value="2.0300"/> m											
Área hidráulica (A): <input type="text" value="0.2070"/> m ²	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.1020"/> m											
Espejo de agua (T): <input type="text" value="0.2300"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="0.8986"/> m/s											
Número de Froude (F): <input type="text" value="0.3024"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="0.9412"/> m-Kg/Kg											
Tipo de flujo: <input type="text" value="Subcrítico"/>												
<p> <input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Limpiar Pantalla"/> <input type="button" value="Imprimir"/> <input type="button" value="Menú Principal"/> <input type="button" value="Calculadora"/> </p>												

Software desarrollado por el Ing. Máximo Villon Béjar

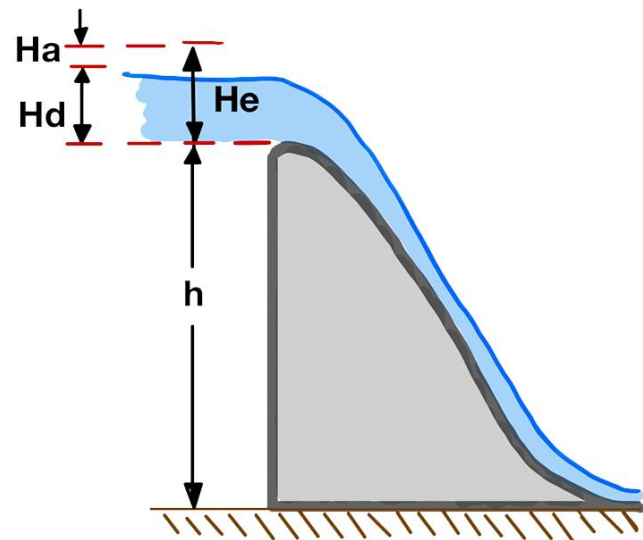


Capacidad de descarga del vertedero

H_a = Altura de velocidad.

H_d = altura de diseño excluyendo H_a .

H_e = altura total incluyendo H_a .



Descripción	Fórmula	Resultado	Unidad
Vel. Aproximación V_a	$V_a = \frac{Q}{y * L}$	0,569	m/s
Altura total H_e	$H_e = \left(\frac{Q_{dis}}{C * L}\right)^{1/1,5}$	0,521	m
Altura de velocidad H_a	$H_a = \frac{V_a}{2 * g}$	0,017	m
Altura H_d	$H_d = H_e - H_a$	0,505	m
Altura h	$h := y_{rio} - H_{d0}$	1	m

Modelación en HCanales

Vetadero rectangular

Datos del vertedero:

Longitud de cresta (L): m

Carga sobre el vertedero (h): m

Número de contracciones (n):

Coefficiente de descarga (Cd):

Vetadero triangular

Vetadero trapezoidal

Tipo:

Cresta aguda

Perfil Creager

Cresta ancha

Perfil Creager

perfil Creager
 $C_d = 2$

Resultados:

Caudal (Q): m³/s

l/seg

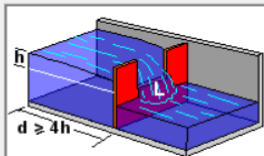
Calcular

Limpiar Pantalla

Imprimir

Menú Principal

Calculadora

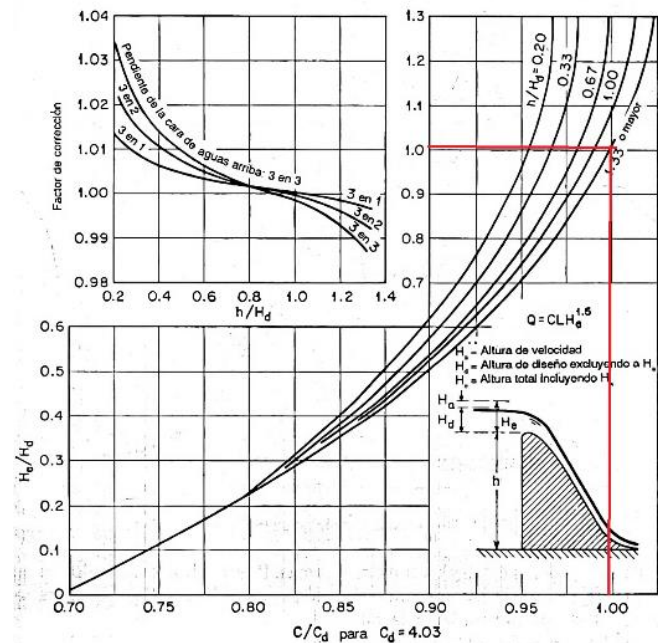


Ecuación:

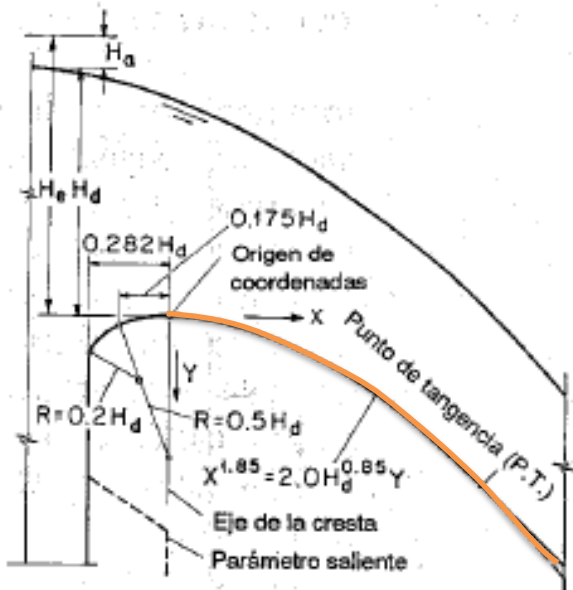
$$Q = C_d (L - 0.1nh) h^{3/2}$$

donde:

- Q = caudal que fluye por el vertedero, m³/s
- L = longitud de cresta del vertedero, m
- h = carga sobre el vertedero, m
- n = número de contracciones (0, 1 ó 2)
- C_d = coeficiente de descarga



Diseño de la cresta del vertedero



Curva 1

$$Y = \frac{-X^{1.85}}{2 * H_d^{0.85}}$$

X	Y
0	0
0,106	-0,014
0,212	-0,051
0,318	-0,107
0,424	-0,183
0,53	-0,276
0,636	-0,387
0,742	-0,515
0,848	-0,659
0,954	-0,819
1,063	-1

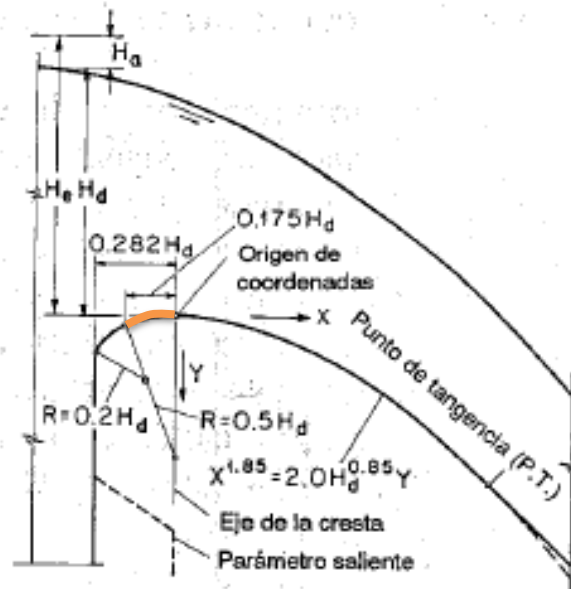
Forma de vertedero tipo WES. Tomado de Ven Te Chow, 2004

Diseño de la cresta del vertedero

Curva 2

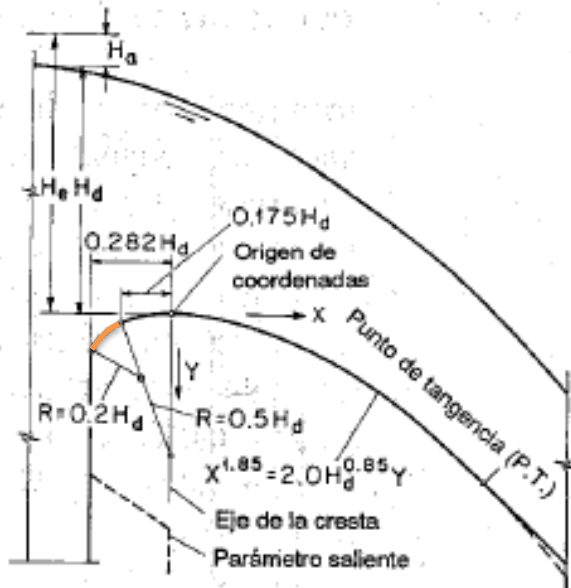
$$Y = \sqrt{(R_1)^2 - (X)^2} - R_1$$

X	Y
-0,088	-0,016
-0,077	-0,012
-0,066	-0,009
-0,054	-0,006
-0,043	-0,004
-0,032	-0,002
0	0



Forma de vertedero tipo WES. Tomado de Ven Te Chow, 2004

Diseño de la cresta del vertedero



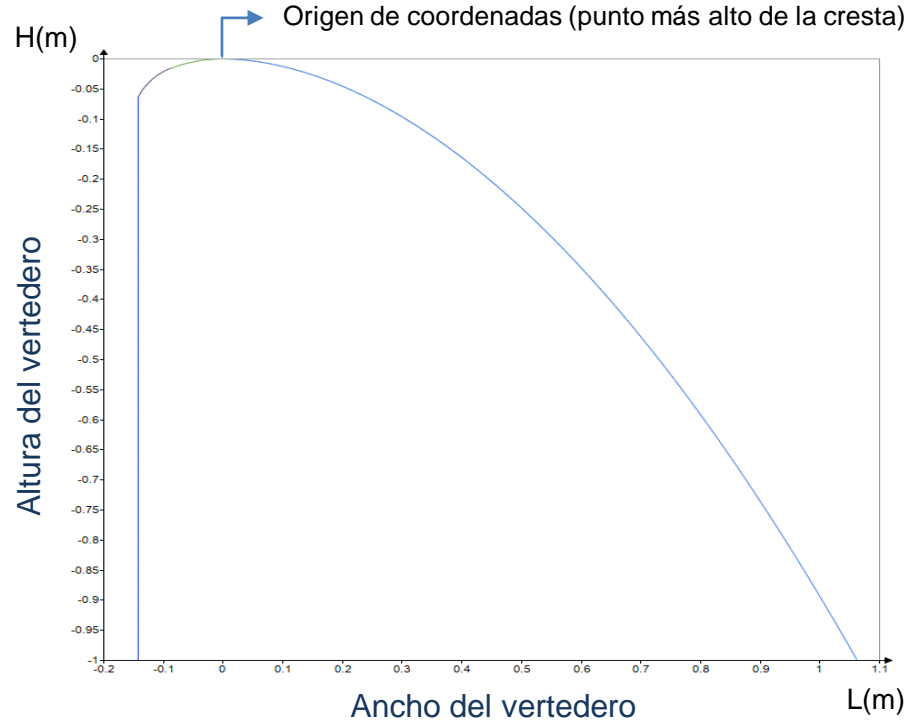
Forma de vertedero tipo WES. Tomado de Ven Te Chow, 2004

Curva 3

$$Y = \sqrt{(R_2)^2 - (X + 0,0529)^2} - 0,1105$$

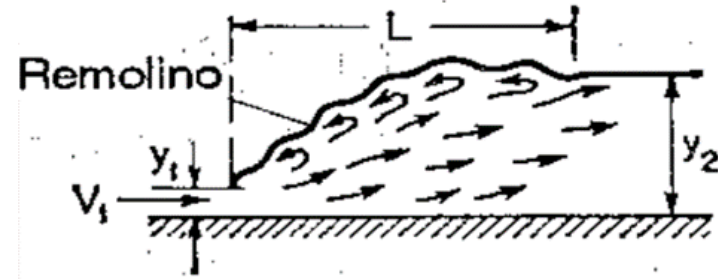
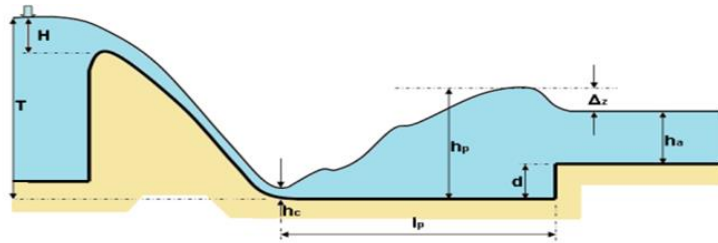
X	Y
-0,142	-0,064
-0,131	-0,046
-0,12	-0,035
-0,108	-0,026
-0,097	-0,02
-0,088	-0,016

Perfil del vertedero Mathcad

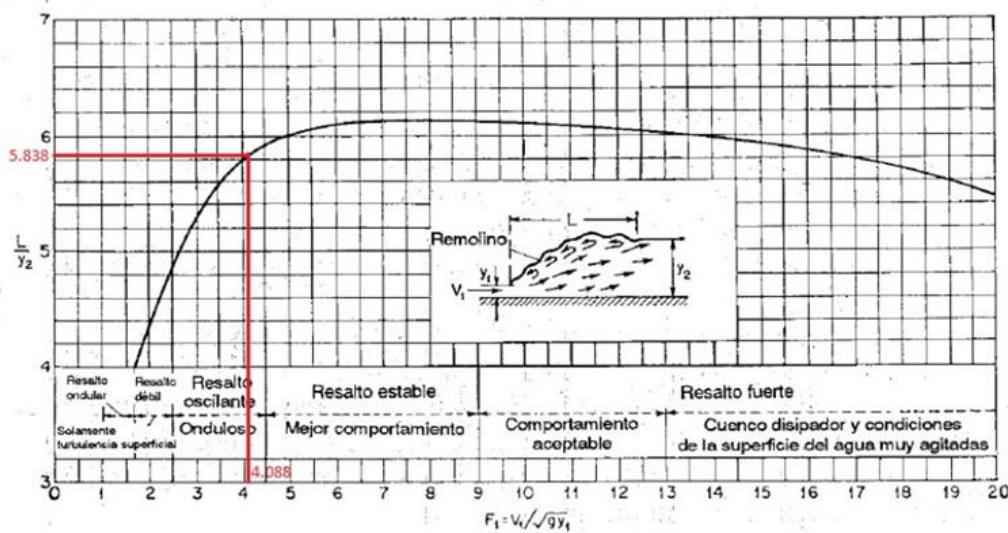


Software desarrollado por PTC (Empresa de Tecnología Paramétrica)



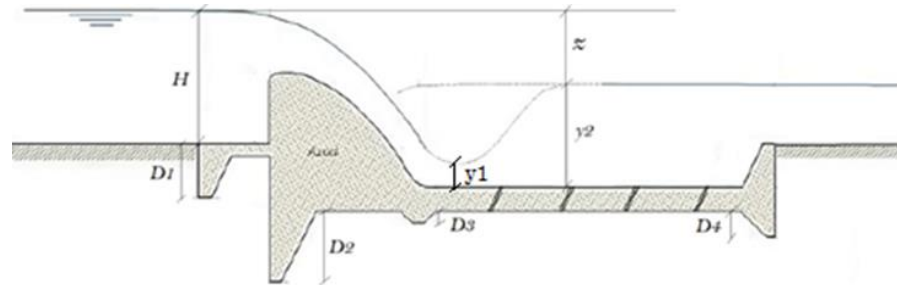


Descripción	Fórmula	Resultado	Unidad
Velocidad a la salida del vertedero	$\frac{(V_1^3 \cdot L + 2g \cdot Qdis)}{V_1 \cdot L} - 2g(Z + Ha) = 0$	5,164	m/s
Altura conjugada y1	$y_1 = \frac{Qdis}{L \cdot V_1}$	0,163	m
Número de Froude	$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot y_1}}$	4,088	supercrítico
Altura conjugada y2	$y_2 = \frac{y_1}{2} (\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1)$	0,863	m



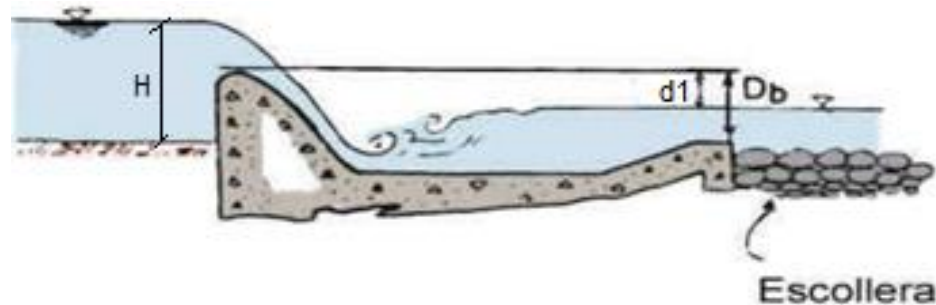
Descripción	Fórmula	Resultado	Unidad
		0	
Relación	$\frac{L}{y_2}$	5,838	-
Longitud de resalto	$Lr = \frac{L}{y_2} \cdot y_2$ (calculado)	5,036	m
Velocidad después del resalto	$V_2 = \frac{Q_{dis}}{L * y_2}$	1,058	m/s
Número de Froude después del resalto	$F_2 = \frac{V_2}{\sqrt{g * y_2}}$	0,363	subcrítico

Diseño de elementos de la obra de captación



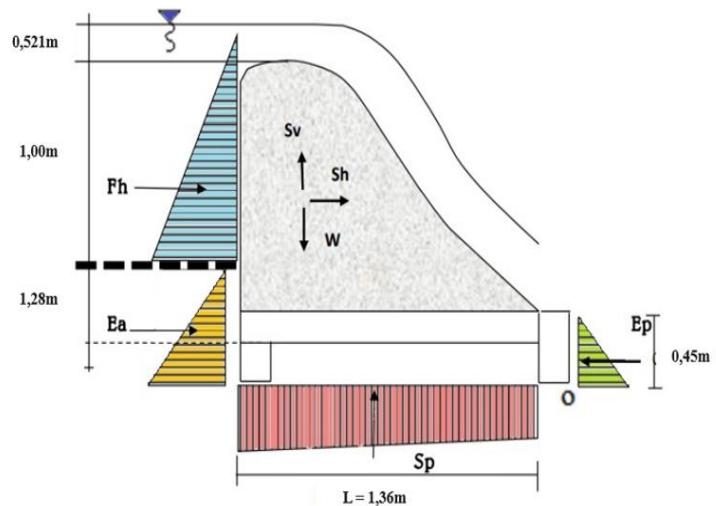
Descripción	Fórmula	Resultado	Unidad
Profundidad de la fosa	$pf = 1,25 \cdot y_1$	0,20	m
Espesor de la losa de zampeado	$e = 0,2 \cdot \sqrt{q} \cdot (H - y_2)^{0,25}$	0,30	m
Muros de encauzamiento	$Hm = 1,25 \cdot (h + He)$	2,24	m
Dentellones	$D1 = (0,75 \text{ a } 0,80)z$	0,35	m
	$D2 = (1 \text{ a } 1,5)z$	0,50	m
	$D3 = D4 = (0,3)z$	0,15	m

Diseño de elementos de protección



Descripción	Fórmula	Resultado	Unidad
Espesor del Enrocado	$e' = 0,6 \cdot q^{\frac{1}{2}} \left(\frac{H}{g} \right)^{\frac{1}{4}}$	0,20	m
Longitud del Enrocado	$L_s = 0,6 \cdot C \cdot d_1^{\frac{1}{2}} \cdot \left(1,12 \cdot \left(\frac{q \cdot D_b}{d_1} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right)$	2,05	m
Longitud del solado delantero	$L_d = 5 \cdot H_e$	2,60	m

Fuerzas actuantes



Fh = Fuerza hidrostática

Ea = Empuje activo del suelo

Wa = Peso de la estructura

Sp = Sub Presión

Sh = Fuerza sísmica horizontal

Sv = Fuerza sísmica vertical

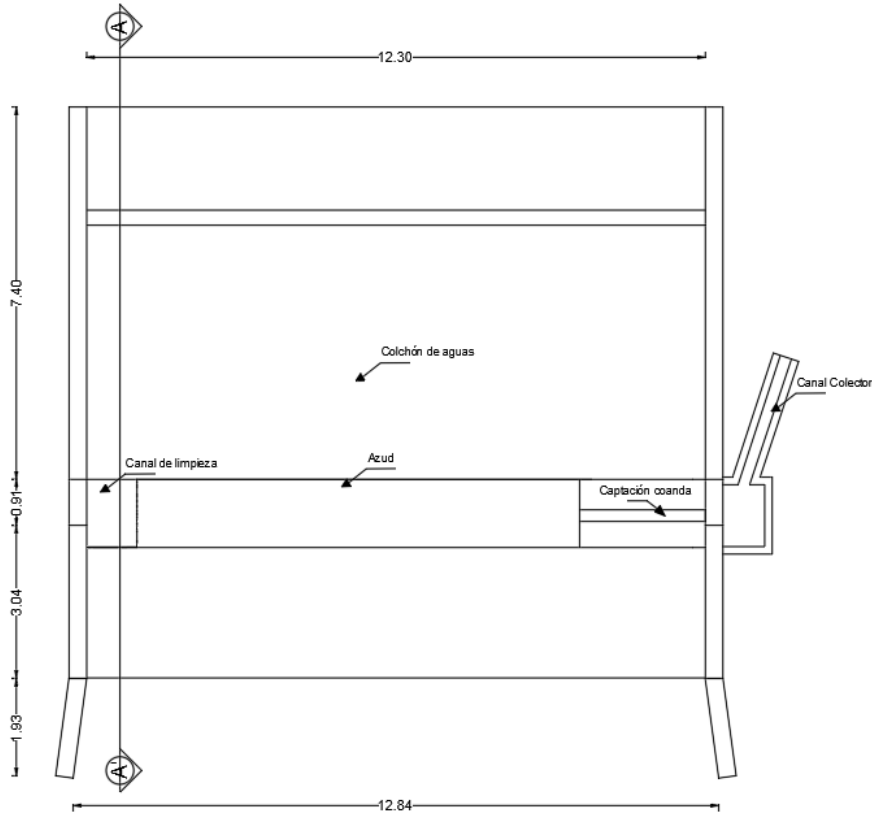
Ep = Empuje pasivo del suelo

Tipo de Fuerza	Fórmula	Fuerza (Kg)	Brazo (m)	Momento (Kg-m)
→Fh	$Fh = \frac{1}{2} * \gamma_w * h^2$	500,00	1,14	570
↑Sv	$Sv = \alpha_v * W$	492,48	0,79	391,18
→Sh	$Sh = \alpha_h * W$	738,72	0,86	637,81
↑Sp	$Sp = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot (h + Df) \cdot L \cdot$	884,00	0,68	604,66
↓W	-	4104,00	0,79	3259,81
→Ea	$Ea = Ka * \gamma_s * \frac{ha^2}{2}$	150,62	0,075	11,30
←Ep	$Ep = Kp * \gamma_s * \frac{hp^2}{2}$	548,37	0,22	118,83

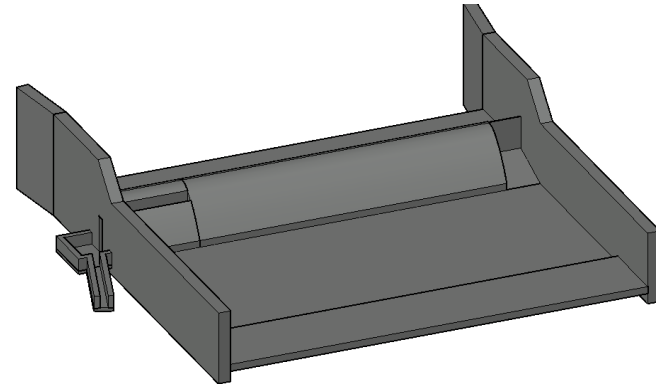
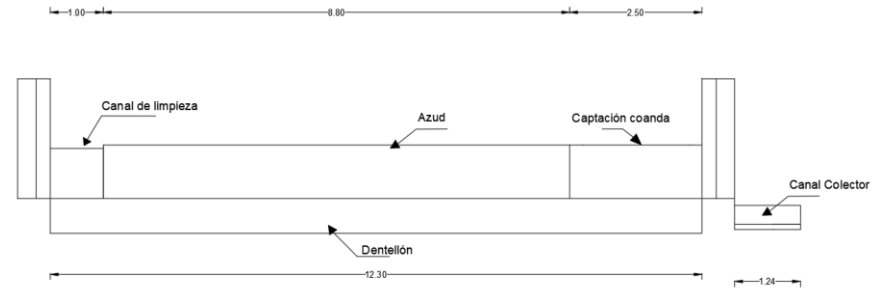


Descripción	Fórmula	Resultado	Unidades	Verificación
Momento resistente	$\sum Mr :$	3378,64	Kg.m	-
Momento de volteo	$\sum Mv :$	2214,94	Kg.m	-
Fuerzas verticales	$\sum Fv$	2727,52	kg	-
Fuerzas horizontales	$\sum Fh$	840,97	kg	-
Ub. Fuerza resultante	$Xr = \frac{\sum Mr - \sum Mv}{\sum Fv}$	0,427	m	-
Excentricidad ex	$e_x := \frac{L}{2} - X_r$	0,253	m	-
Verificación al volteo	$FSV = \frac{\sum Mr}{\sum Mv}$	1,525		>1,5 Cumple
Verificación al deslizamiento	$Fr = \sum Fv * \mu$	13663,76	Kg	-
	$FSD = \frac{Fr}{\sum Fh}$	1,622		>1,5 Cumple
Hundimiento	$\sigma_1 = \frac{Fv \left(1 + \frac{6 * ex}{L_{base} * b} \right)}{b * L_{base}}$	0,203	Kg/cm ²	< $\sigma_s=1,6$ Cumple
	$\sigma_2 = \frac{Fv \left(1 - \frac{6 * ex}{L_{base} * b} \right)}{b * L_{base}}$	0,198	Kg/cm ²	

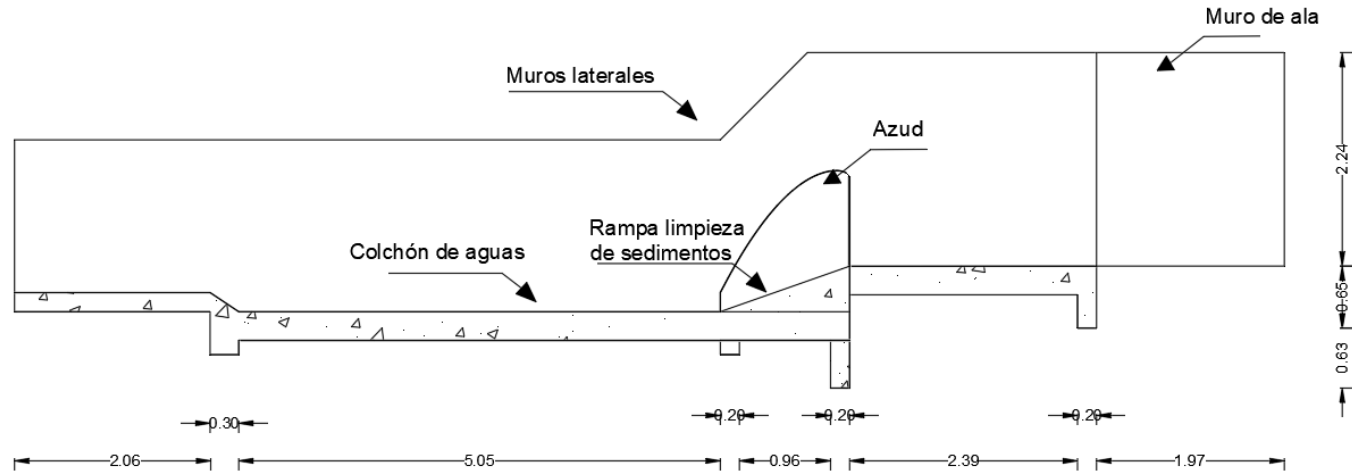
Vista en planta



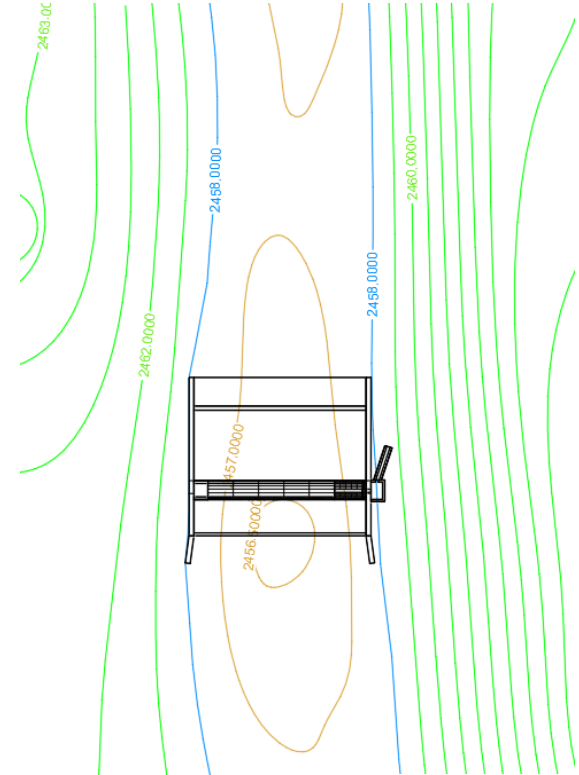
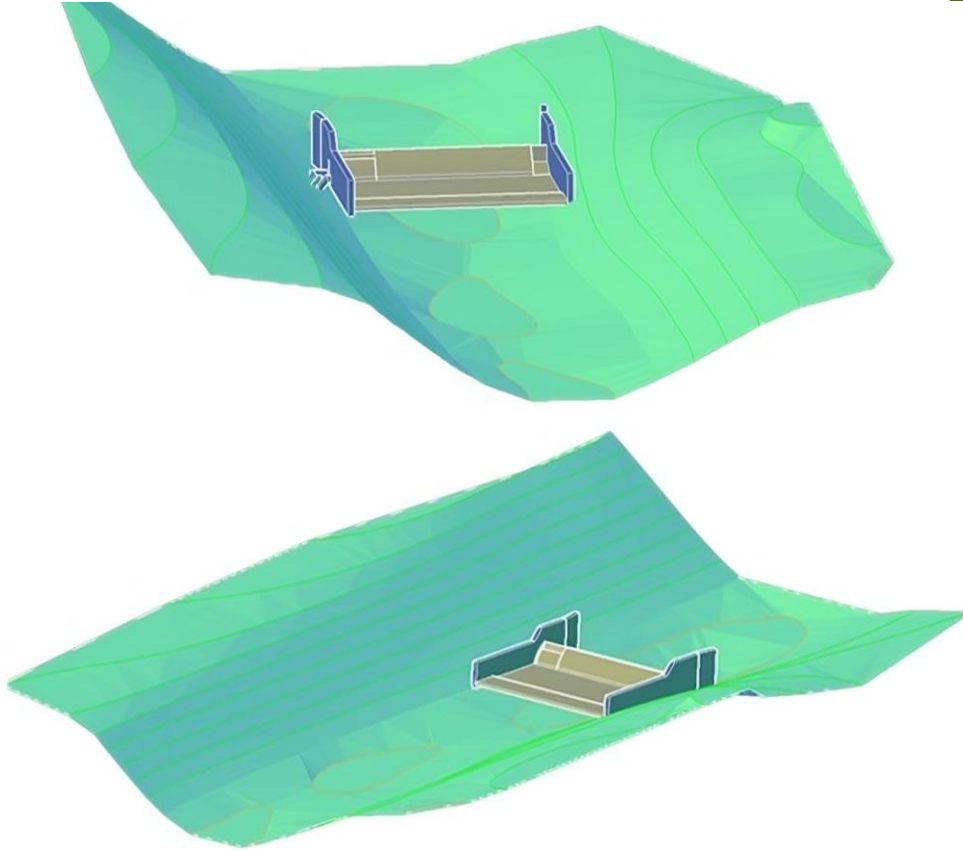
Vista en elevación



Corte A - A'

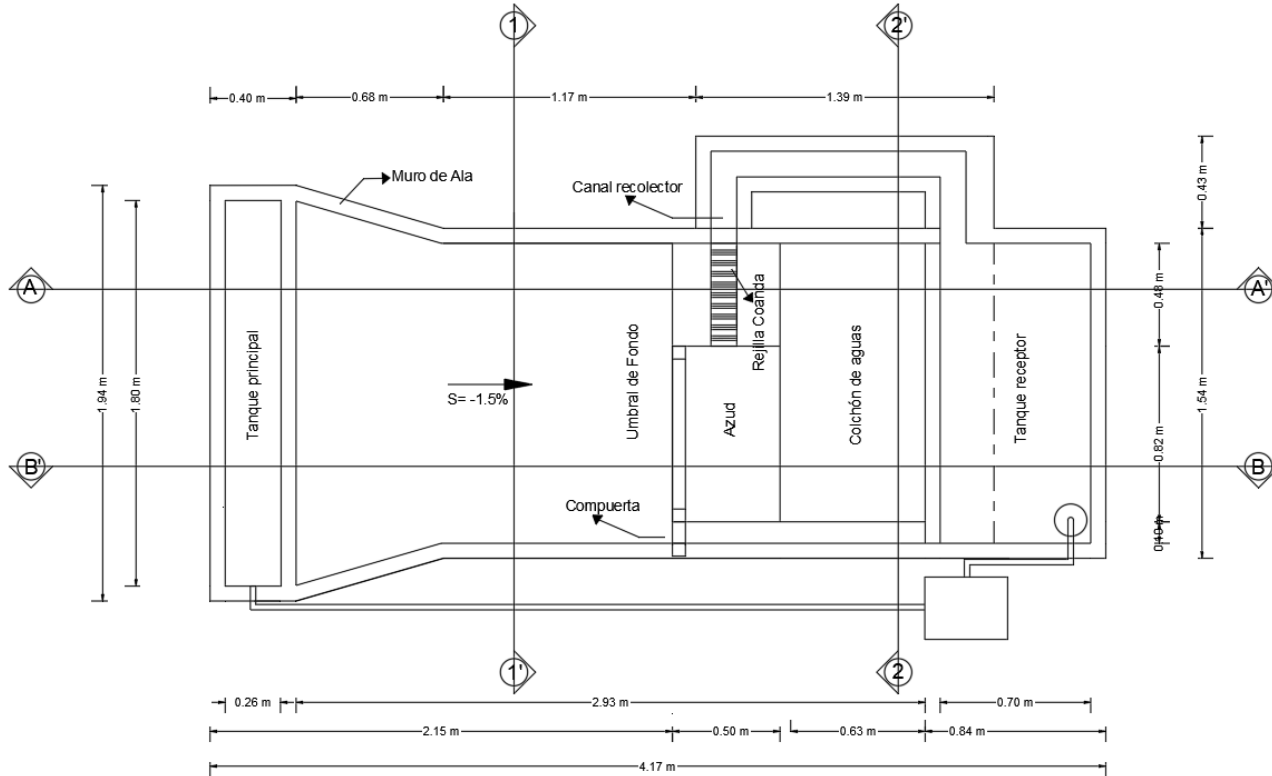


Modelo de implantación

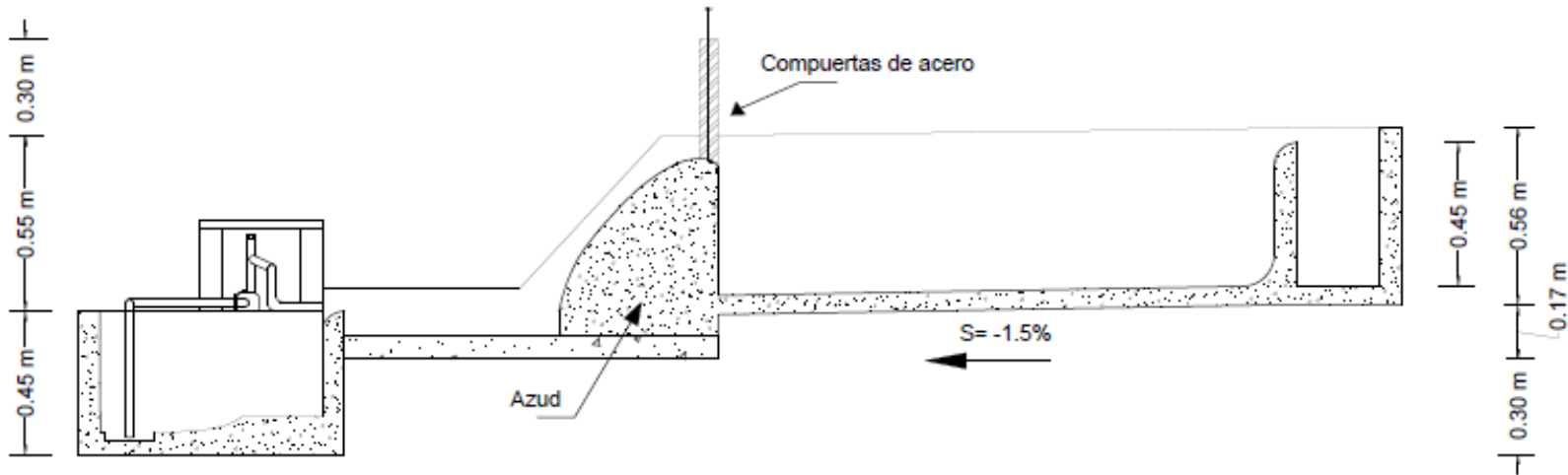


Modelo a escala

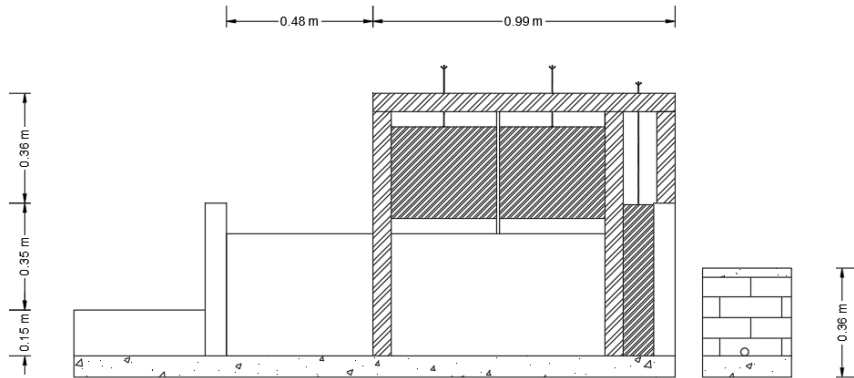
31



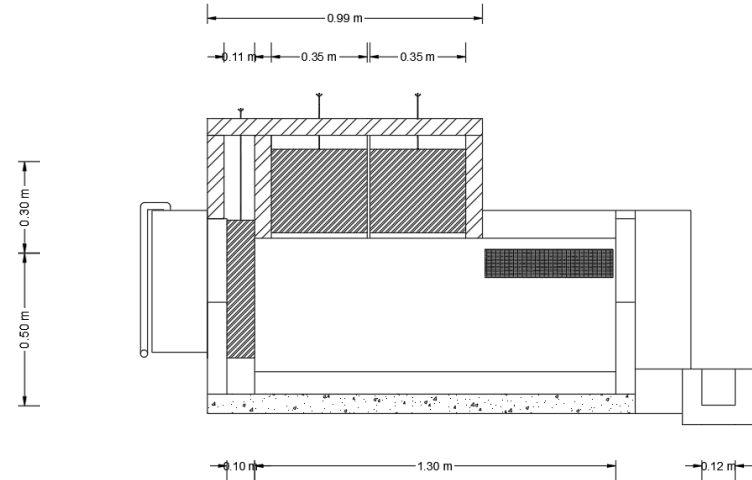
Corte B - B'



Corte 1 - 1'



Corte 2 - 2'



Construcción del modelo prototipo



Funcionamiento del prototipo



Toma de datos del Modelo a Escala



Descripción	Resultado	Unidad
Caudal de entrada	3,88	l/s
Altura de agua sobre la cresta	0,01	m
Caudal de recolección	0,135	l/s
Volumen total de agua	1664,5	l
Tiempo estimado de llenado	2	h

Conclusiones

- Como alternativa a las obras de captación convencionales utilizadas en el país se realiza el diseño de un azud en el cual se ubica una malla Coanda que aprovecha el efecto físico en el cual el fluido tiende a ser atraído por la superficie de esta.
- Se obtiene el diseño hidráulico del Azud con la rejilla Coanda determinando las características del sitio seleccionado para su implantación, como el coeficiente de compacidad $K_c = 1,46$, factor de forma $F_f = 0,28$, la pendiente media del cauce principal de 3,99% entre otros parámetros.
- Para la elaboración del modelo digital se utiliza el software Civil 3D para la creación de la superficie y la modelación de la obra de captación implantada en el sitio.

Conclusiones

- En el software H-Canales se modela el perfil creager y el canal colector con lo cual se verifican cálculos realizados a estas partes de la estructura. Puesto que el software H-Canales no cuenta con la opción para modelar una rejilla Coanda, se utiliza el software Hydraulic Performance of Coanda-Effect Screens.
- La estabilidad de la estructura se hace considerando el comportamiento de esta a gravedad en las que se consideran las fuerzas generadas por la presión hidrostática, sub-presión y el peso propio de la estructura, donde se cumplieron las verificaciones.
- El modelo a escala se instala dentro de las instalaciones de la universidad con el propósito de que este sea utilizado en las materias relacionadas con la hidráulica.



Recomendaciones

- Se sugiere realizar más investigaciones sobre las obras de captación de tipo Coanda, seguir recolectando información importante que pueda fundamentar el diseño y optimización de las ventajas del tipo de captación propuesta que no limite su construcción e implementación en nuestro país.
- Incluir tecnología avanzada en modelos y prototipos para el análisis de obras de captación tipo Coanda, es una sugerencia que conduciría a obtener resultados más exactos en su comportamiento.
- Es muy fundamental el estudio hidrológico y topográfico de la zona de estudio en donde se desea implementar asegurando una mayor precisión en la toma de decisiones para el diseño de obras de captación a través de esta metodología.
- Se recomienda realizar el cálculo y diseño estructural de hormigón armado de la obra de captación diseñada.



Muchas Gracias
por su
Atención



ESPE
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CAMINO A LA EXCELENCIA