



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



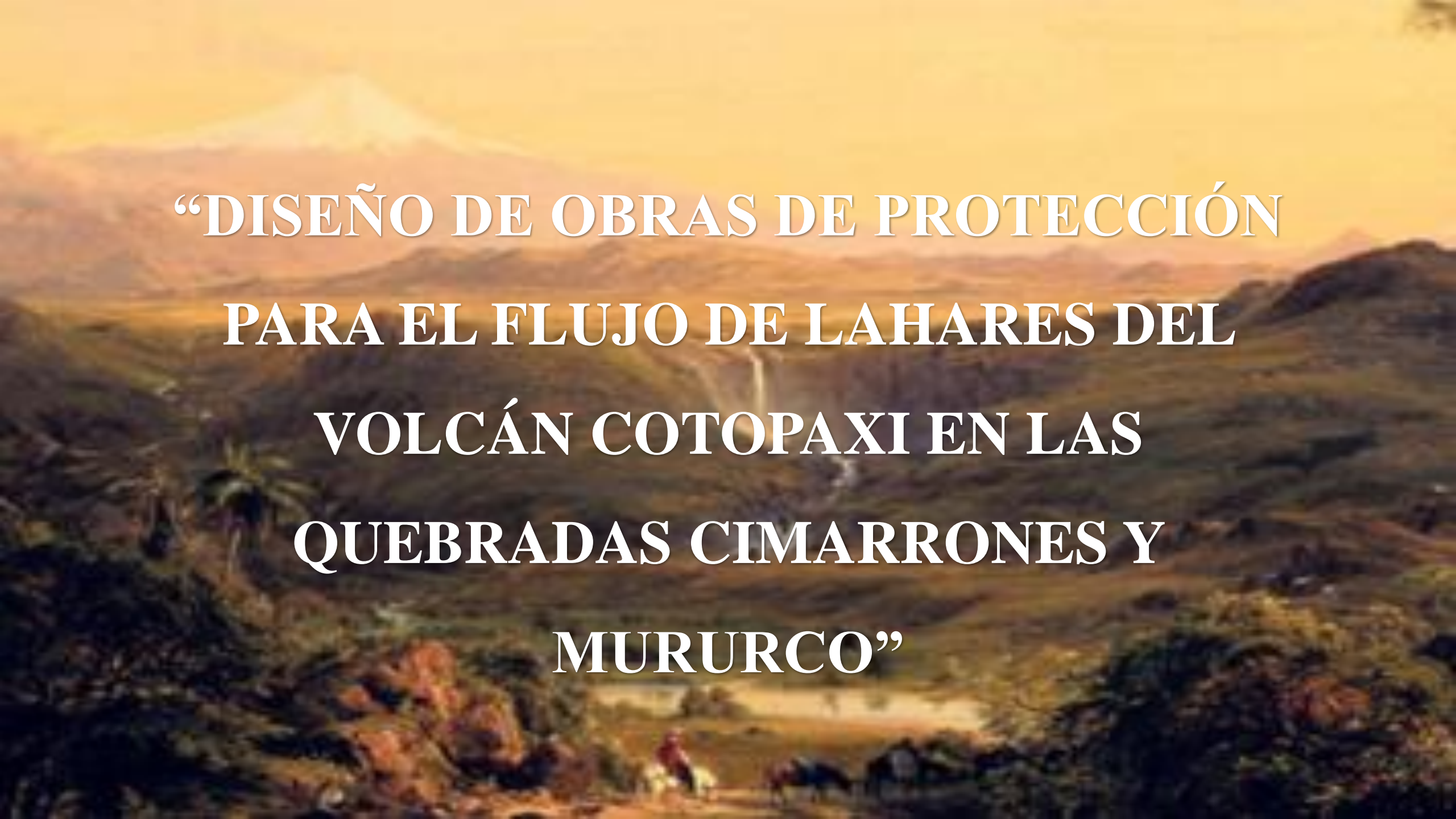
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:

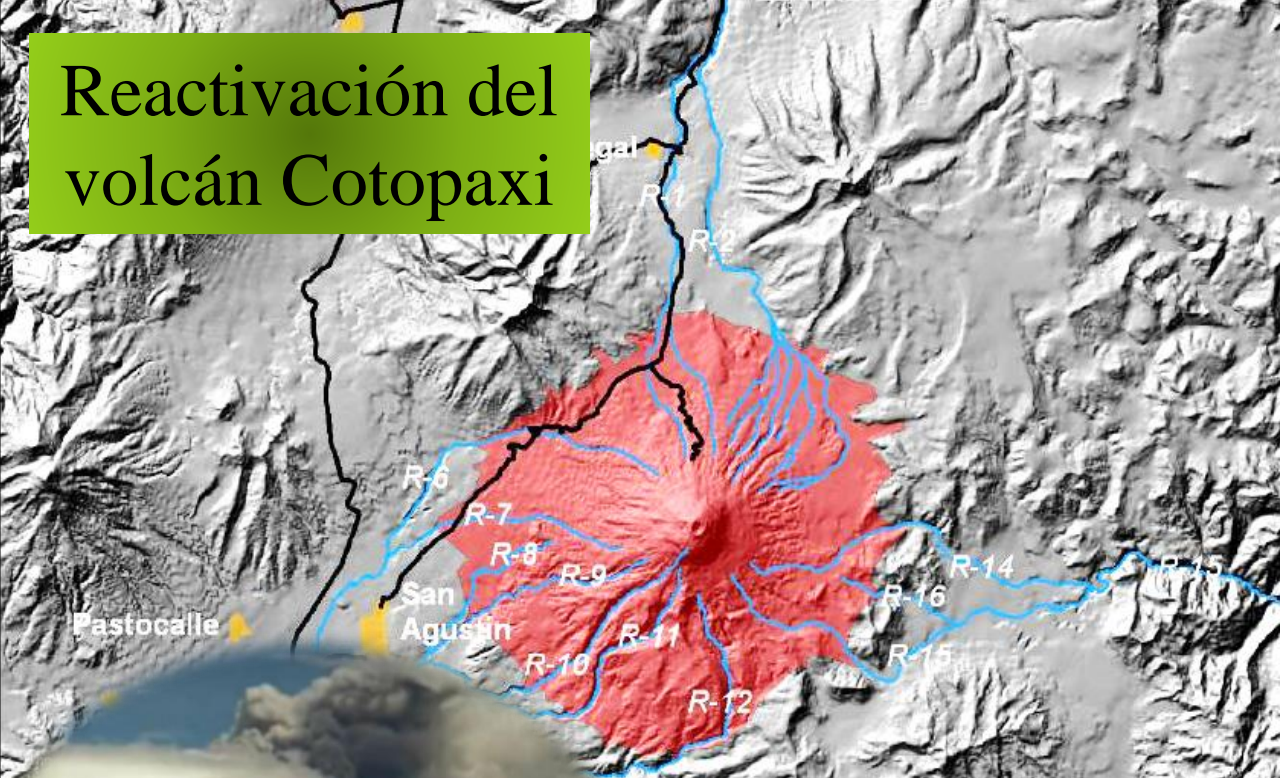
- DAYSI CAROLINA ARÉVALO MOYANO
- LUIS MIGUEL ÑAUPARI SIMBAÑA

JUNIO 2016

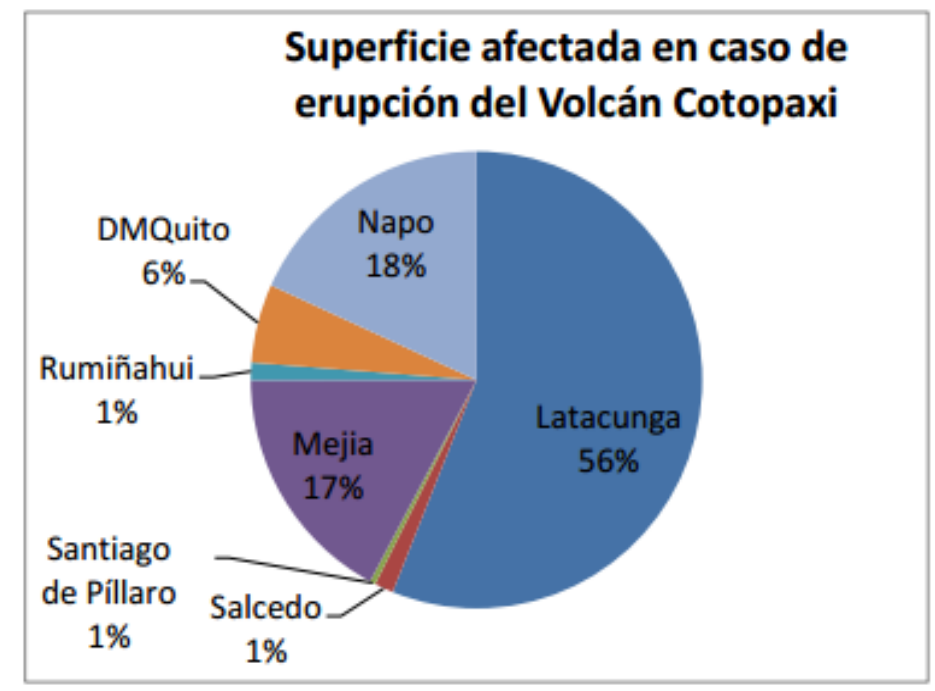


**“DISEÑO DE OBRAS DE PROTECCIÓN
PARA EL FLUJO DE LAHARES DEL
VOLCÁN COTOPAXI EN LAS
QUEBRADAS CIMARRONES Y
MURURCO”**

Reactivación del volcán Cotopaxi



Mayor afectación hacia el flanco sur del volcán debido a la gran cantidad de obras junto al río Cutuchi



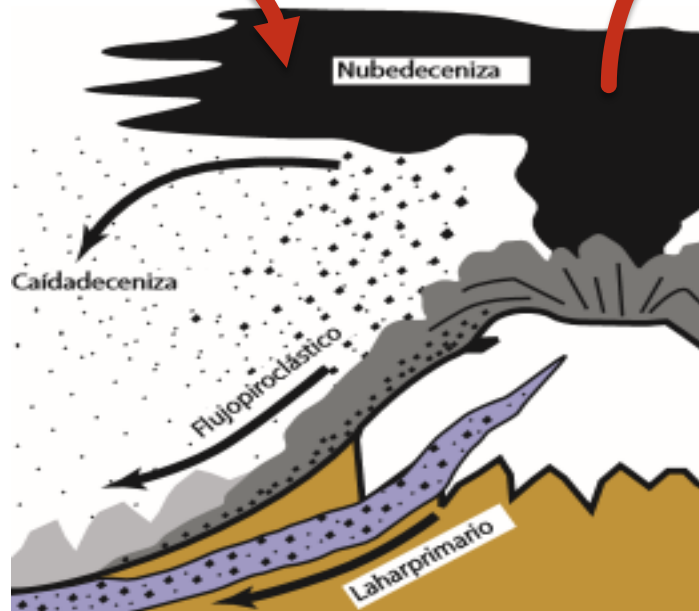
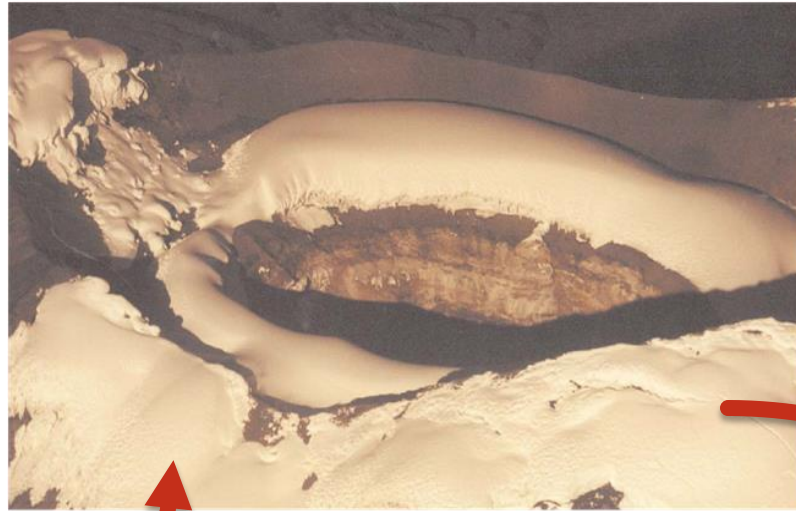
Objetivo General:

Diseñar las obras de protección para las cuencas altas del río Cutuchi correspondientes a las quebradas: Cimarrones y Mururco con la finalidad de disminuir el efecto destructivo del flujo lahárico en las poblaciones de la parte baja de la cuenca.

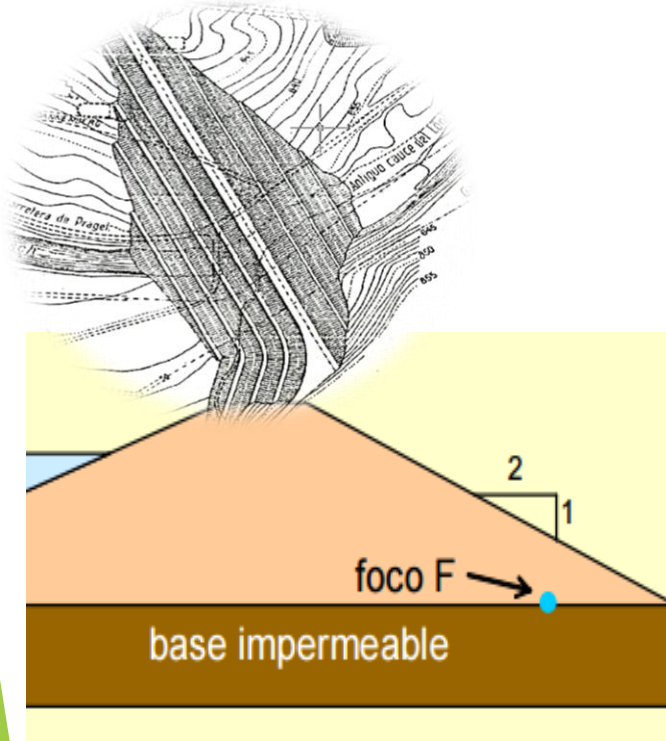
Objetivos específicos:

- Realizar un análisis del volumen de flujos laháricos que llegarían a las Quebradas Cimarrones y Mururco.
- Definir el lugar más adecuado para la implantación de una obra de protección.
- Diseñar una presa u obras que cumplan con los requisitos técnicos, económicos y constructivos más adecuados para la retención de lahares.

Peligros volcánicos



Presa de tierra



- Resquebrajamiento por rebose
- Obra de excedentes
- Filtración y erosión
- El lahar no se comporta como el agua

Presa de enrocado

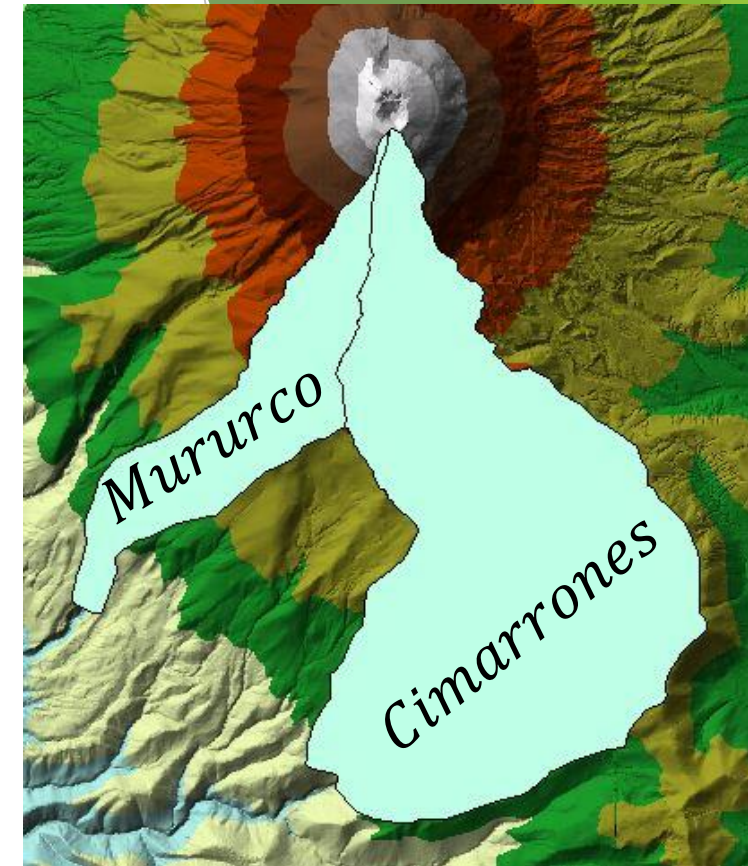
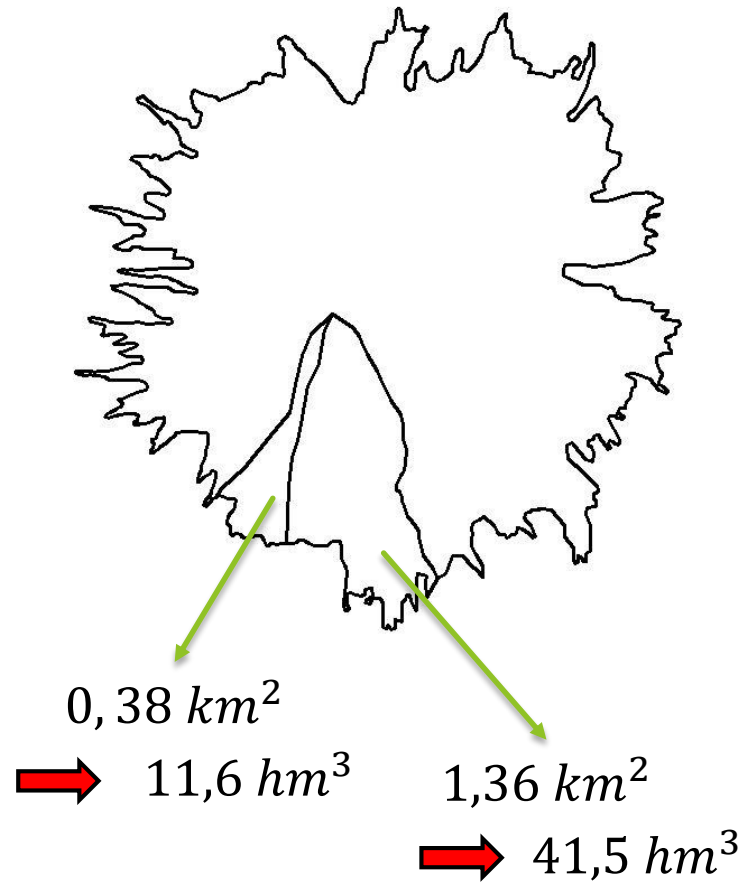
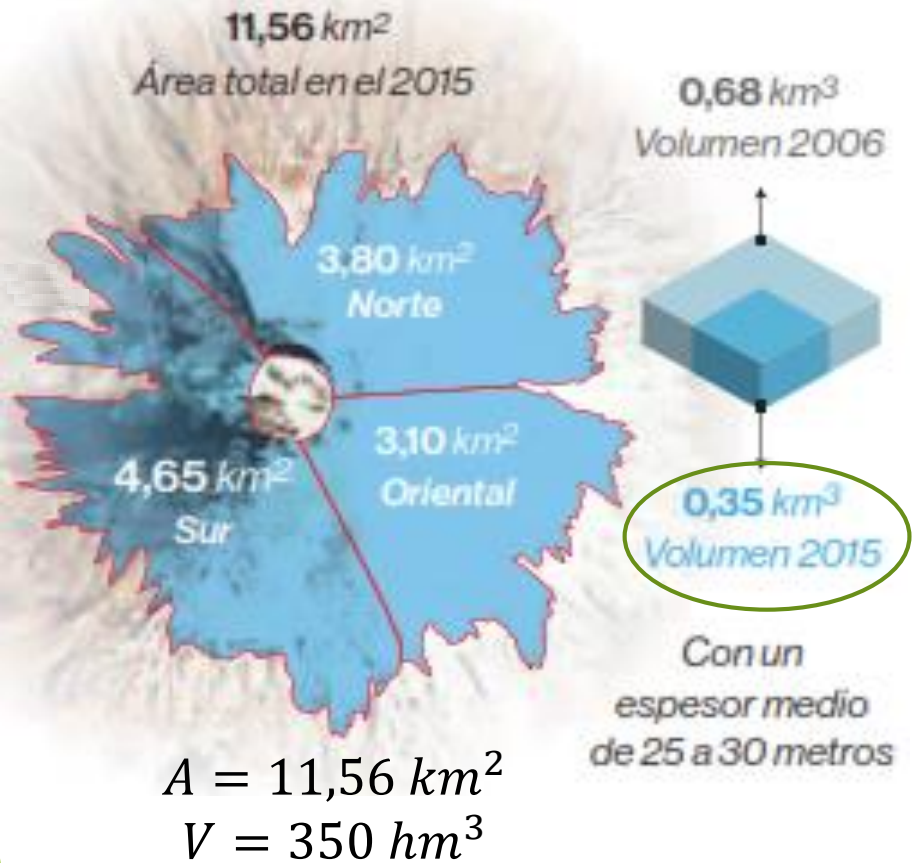


Presa mixta



- Mixta: pantallas de hormigón rellena de suelo
- Disminución de material
 - Sin obra de excedentes

Volumen de glaciar

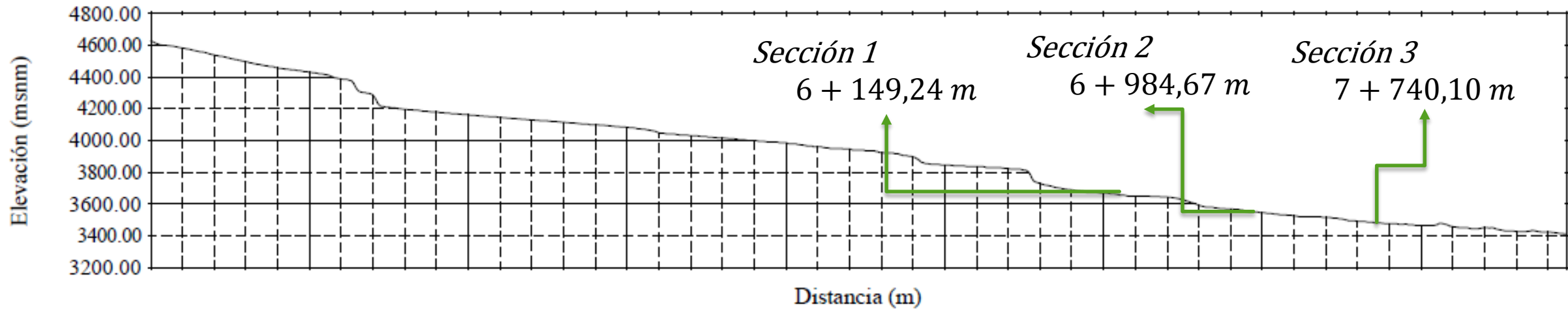


Volumen de glaciar	Altura lahar	Altura presa
Quebrada Cimarrones	(10%) 4,14 hm ³	(20%) 8,29 hm ³
Quebrada Mururco	(10%) 1,17 hm ³	(25%) 2,90 hm ³

Sección de control

QUEBRADA MURURCO 25%

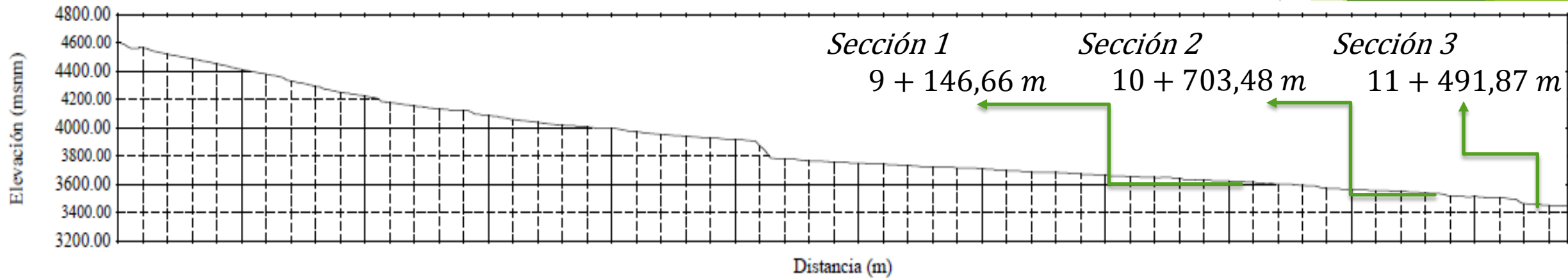
Abscisa	Volumen glaciar (hm^3)	H. presa (m)	Volumen embalsado (hm^3)	$\frac{V_p}{V_e}$
6+149,24	2,91	85,00	3,20	0,49
6+984,67	2,91	90,00	3,10	0,55
7+740,10	2,91	75,00	3,03	0,36



COTA TERRENO	4627.50	4581.90	4538.12	4495.49	4457.34	4429.99	4387.64	4284.14	4196.29	4179.22	4161.33	4144.76	4129.30	4114.48	4098.46	4082.43	4049.16	4029.96	4014.90	3999.59	3984.92	3959.69	3945.00	3924.87	3895.25	3844.96	3834.98	3822.41	3728.57	3687.33	3669.73	3650.00	3642.96	3592.69	3569.34	3544.93	3524.90	3514.91	3489.99	3474.98	3464.96	3455.65	3451.31	3426.37	3422.25	3409.96
PROGRESIVO	0+000.00	0+200.00	0+400.00	0+600.00	0+800.00	1+000.00	1+200.00	1+400.00	1+600.00	1+800.00	2+000.00	2+200.00	2+400.00	2+600.00	2+800.00	3+000.00	3+200.00	3+400.00	3+600.00	3+800.00	4+000.00	4+200.00	4+400.00	4+600.00	4+800.00	5+000.00	5+200.00	5+400.00	5+600.00	5+800.00	6+000.00	6+200.00	6+400.00	6+600.00	6+800.00	7+000.00	7+200.00	7+400.00	7+600.00	7+800.00	8+000.00	8+200.00	8+400.00	8+600.00	8+800.00	8+915.94

QUEBRADA CIMARRONES 20%

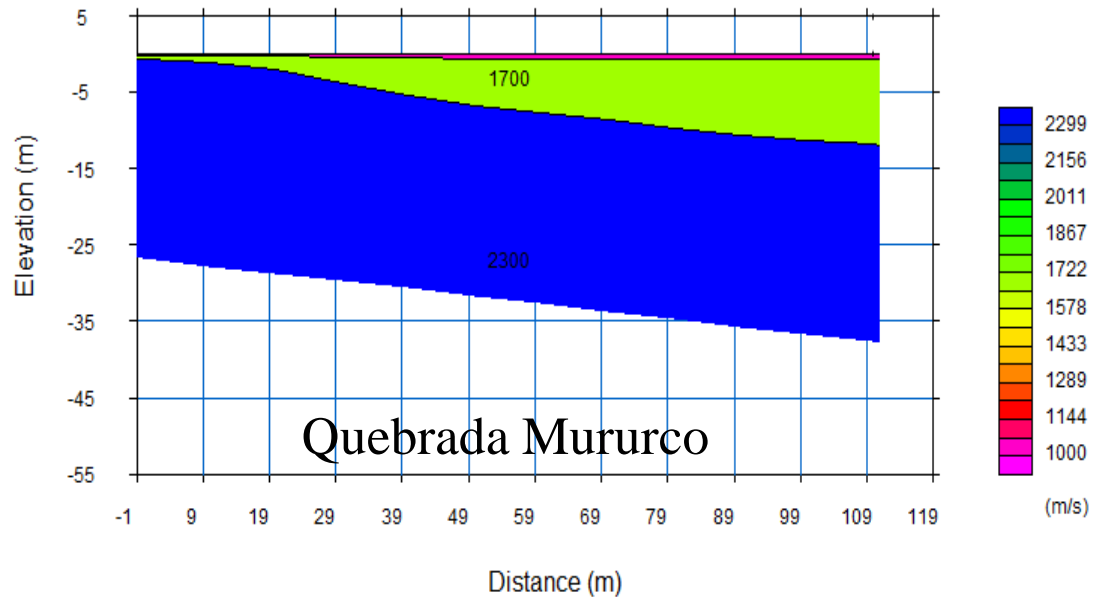
Abscisa	Volumen glaciar (hm^3)	H. asumida (m)	Volumen embalsado (hm^3)	$\frac{V_p}{V_e}$
9+146,66	8,29	90,00	8,30	0,22
10+703,48	8,29	80,00	9,25	0,20
11+491,87	8,29	115,00	8,62	0,42



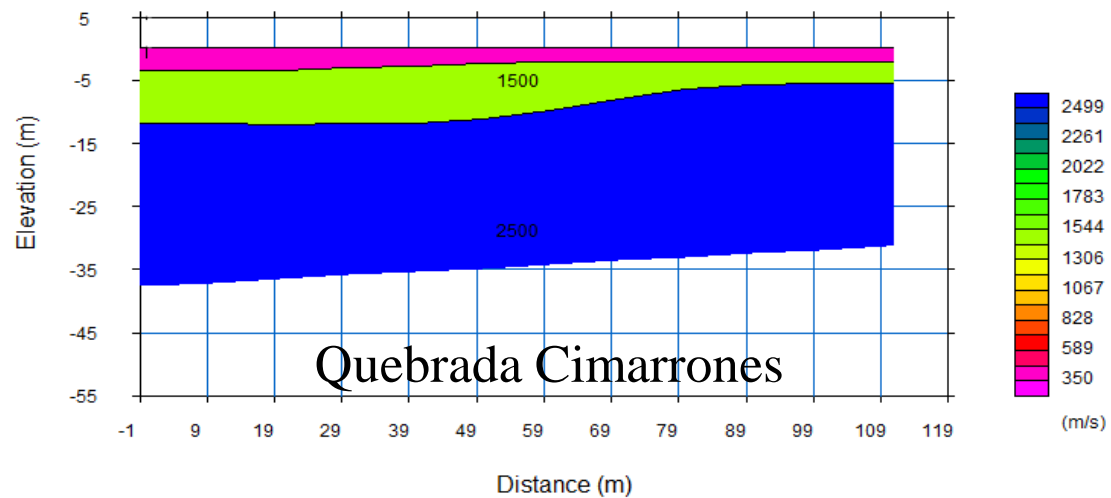
COTA TERRENO	PROGRESIVO
4668.25	0+000.00
4563.85	0+200.00
4519.71	0+400.00
4486.05	0+600.00
4452.01	0+800.00
4410.87	1+000.00
4379.12	1+200.00
4329.94	1+400.00
4290.54	1+600.00
4250.34	1+800.00
4224.15	2+000.00
4178.38	2+200.00
4154.95	2+400.00
4134.64	2+600.00
4119.99	2+800.00
4089.55	3+000.00
4059.89	3+200.00
4037.89	3+400.00
4018.88	3+600.00
4004.95	3+800.00
3994.85	4+000.00
3970.85	4+200.00
3952.74	4+400.00
3939.99	4+600.00
3927.14	4+800.00
3916.03	5+000.00
3873.26	5+200.00
3779.92	5+400.00
3765.00	5+600.00
3759.66	5+800.00
3749.84	6+000.00
3744.70	6+200.00
3734.83	6+400.00
3721.03	6+600.00
3715.00	6+800.00
3709.69	7+000.00
3697.38	7+200.00
3686.12	7+400.00
3684.63	7+600.00
3673.62	7+800.00
3664.90	8+000.00
3654.88	8+200.00
3648.74	8+400.00
3640.00	8+600.00
3629.97	8+800.00
3624.36	9+000.00
3614.72	9+200.00
3600.00	9+400.00
3594.68	9+600.00
3570.00	9+800.00
3562.22	10+000.00
3554.97	10+200.00
3549.76	10+400.00
3539.90	10+600.00
3520.00	10+800.00
3514.92	11+000.00
3504.98	11+200.00
3464.89	11+400.00
3450.74	11+600.00
3445.00	11+753.48

Estratos del suelo

Perfil tipo B (Roca de rigidez media)



$$V_s = 1033,70 \text{ m/s}$$



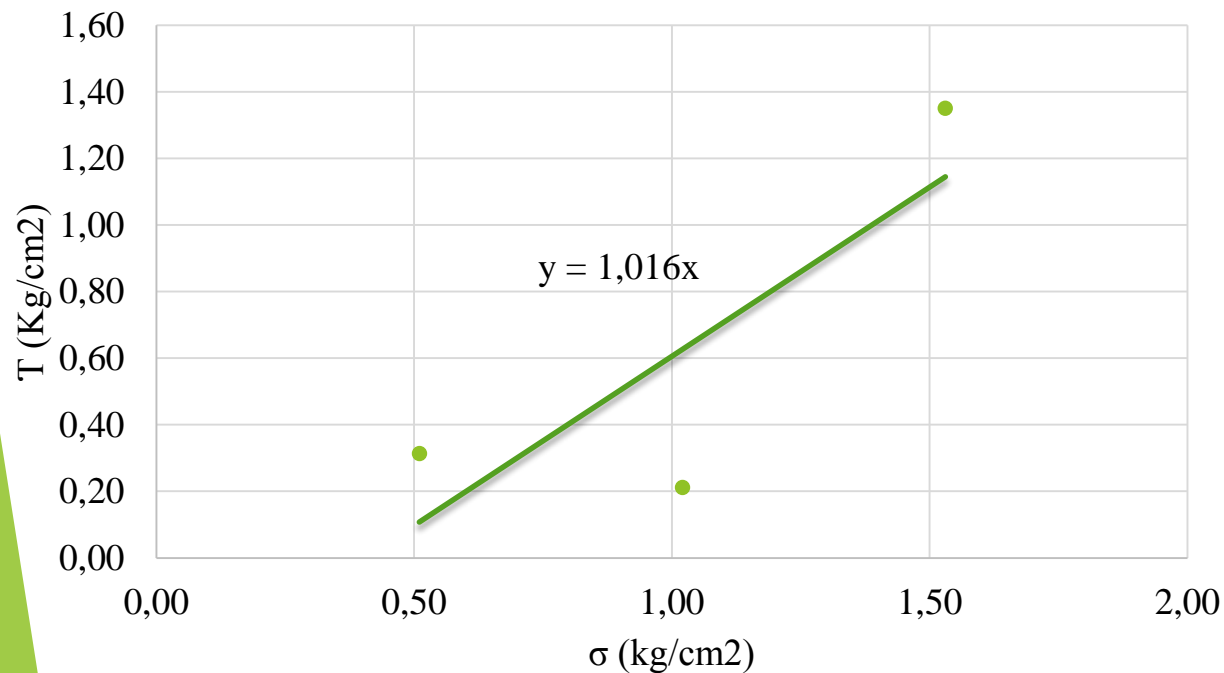
$$V_s = 1184,30 \text{ m/s}$$



Tabla de resultados

Carga máxima (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo T (kg/cm ²)	Esfuerzo σ (kg/cm ²)
7,86	25	0,314	0,510
5,31	25	0,212	1,020
33,78	25	1,351	1,531

Gráfico Esfuerzo cortante vs Esfuerzo normal



$$\phi = \tan^{-1}(1,01) = 45,28^\circ$$

DENSIDAD VARILLADA

Peso del molde	2384,3	g
Pes molde más suelo	6635	g
Peso suelo	4250,7	g
Volumen	2739,98	cm ³
Densidad varillada	1,55	g/cm ³

$$\text{Peso específico} = 2,2 \text{ g/cm}^3$$

Diseño de la presa mixta

Altura máxima recomendada: 80,00 m

Altura total Q. Mururco: 81,50 m ; Altura total Q. Cimarrones: 90,00 m

Lahar

$$E = \frac{1}{2} * ka * \gamma * H^2 = 6039,37 T$$

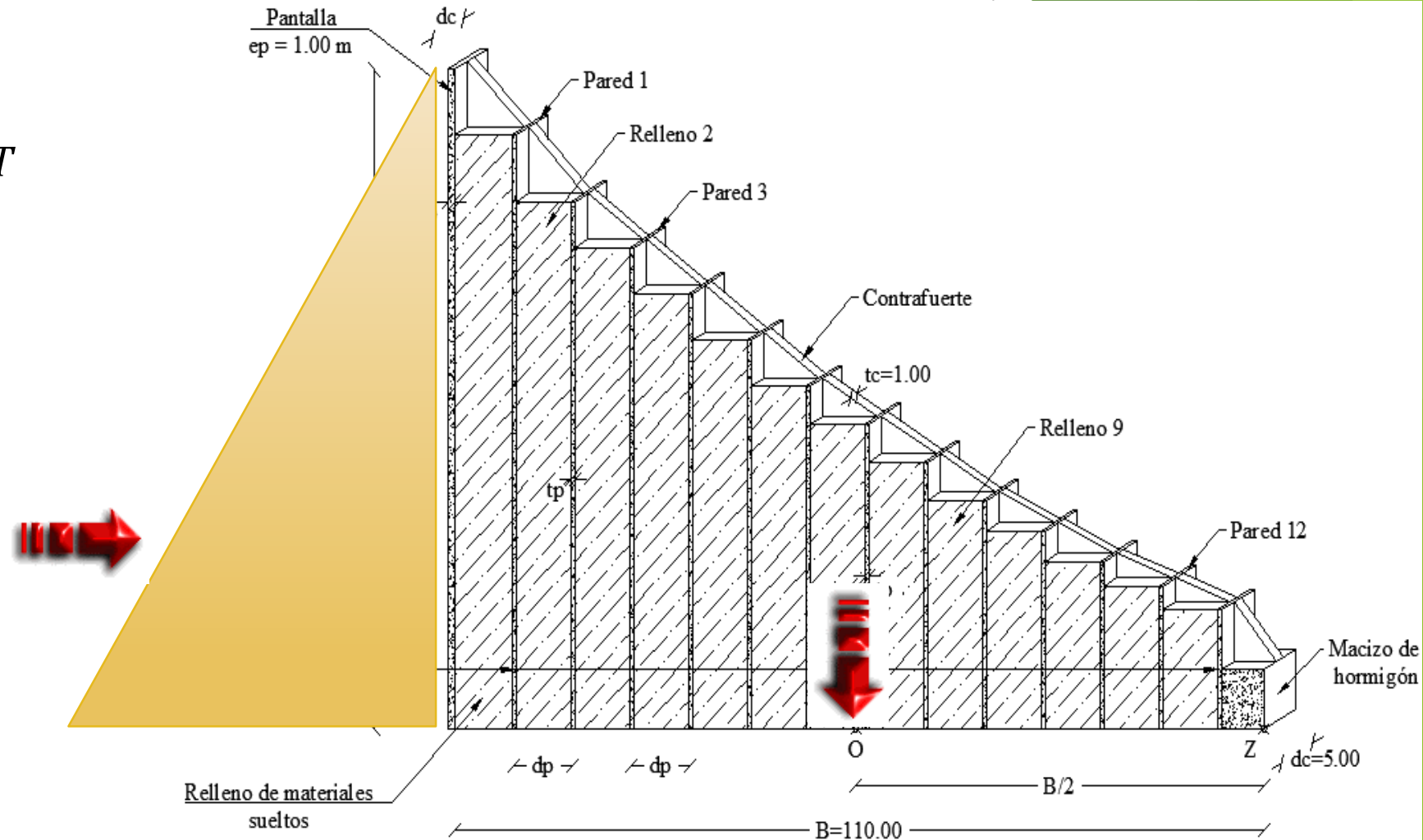
$$ka = \tan^2(45 - \phi/2)$$

$$M = F * \frac{H}{3} = 161049,74 T.m$$

Presa

$$W_{total} = 38961,66 T$$

$$M_{total} = 626807,26 T.m$$



Estabilidad

Condición estática	Fuerza vertical	Momento resultante	σ_{y1} (T/m^2)	σ_{y2} (T/m^2)
	V(T)	M(T.m)		
Con lahar	38961,66	465757,52	24,84	115,56
Sin lahar	38961,66	626807,26	131,25	9,15

Condición pseudo-estática	Fuerza vertical	Momento resultante	σ_{y1} (T/m^2)	σ_{y2} (T/m^2)
	V (T)	M(T.m)		
Con lahar	34239,04	465757,52	16,33	107,05
Sin lahar	34239,04	626807,26	122,74	0,64

Condición estática

$ksd = 4,21$

C. pseudo – estática

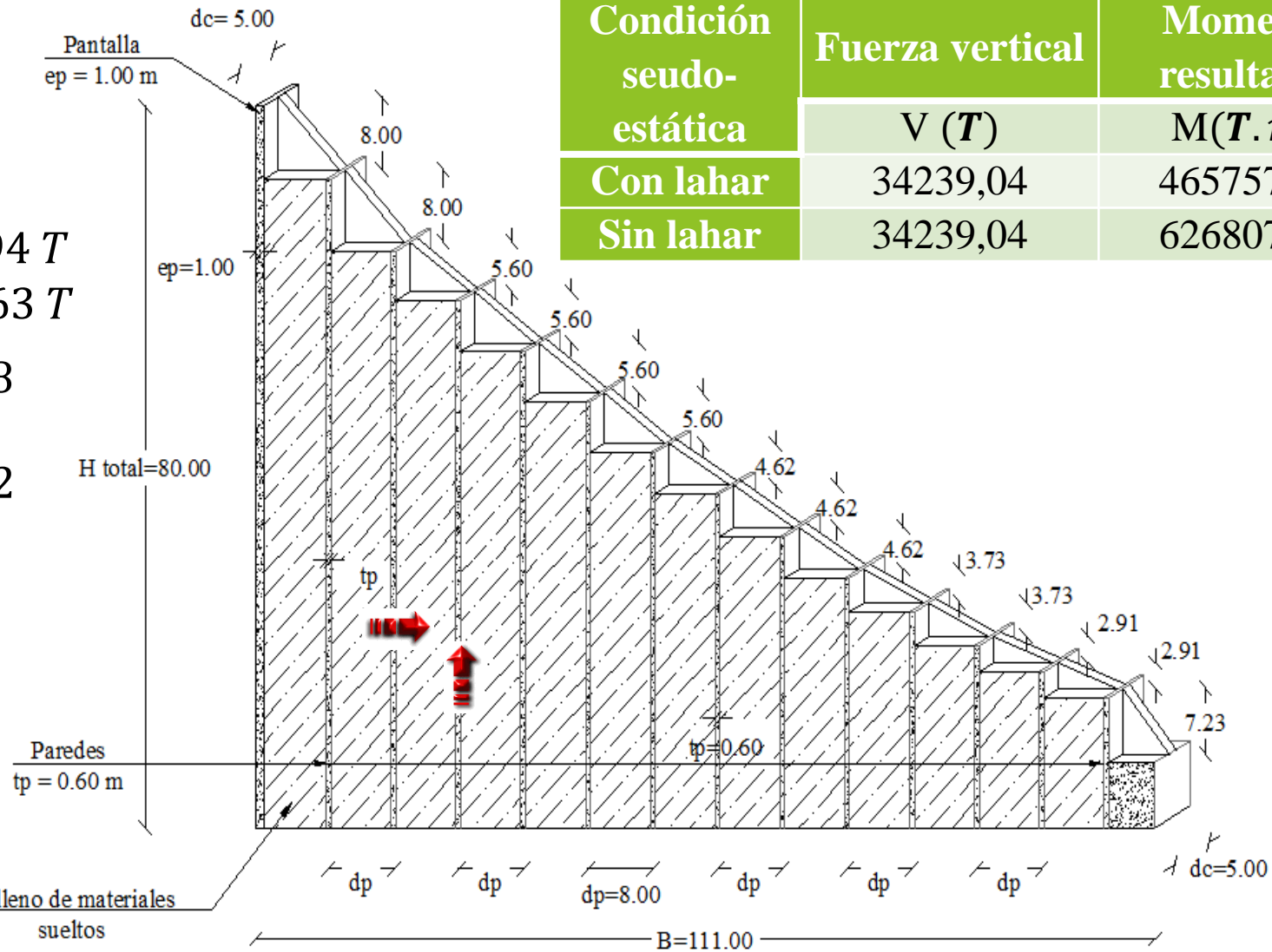
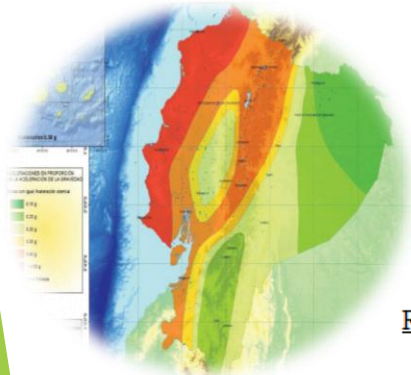
$Sh = G * \alpha h = 7083,94 T$

$Sv = G * \alpha v = 4722,63 T$

$\alpha h = \frac{z}{1 + 3z} = 0,18$

$\alpha v = \frac{2}{3} * \alpha h = 0,12$

$ksd = 1,7$

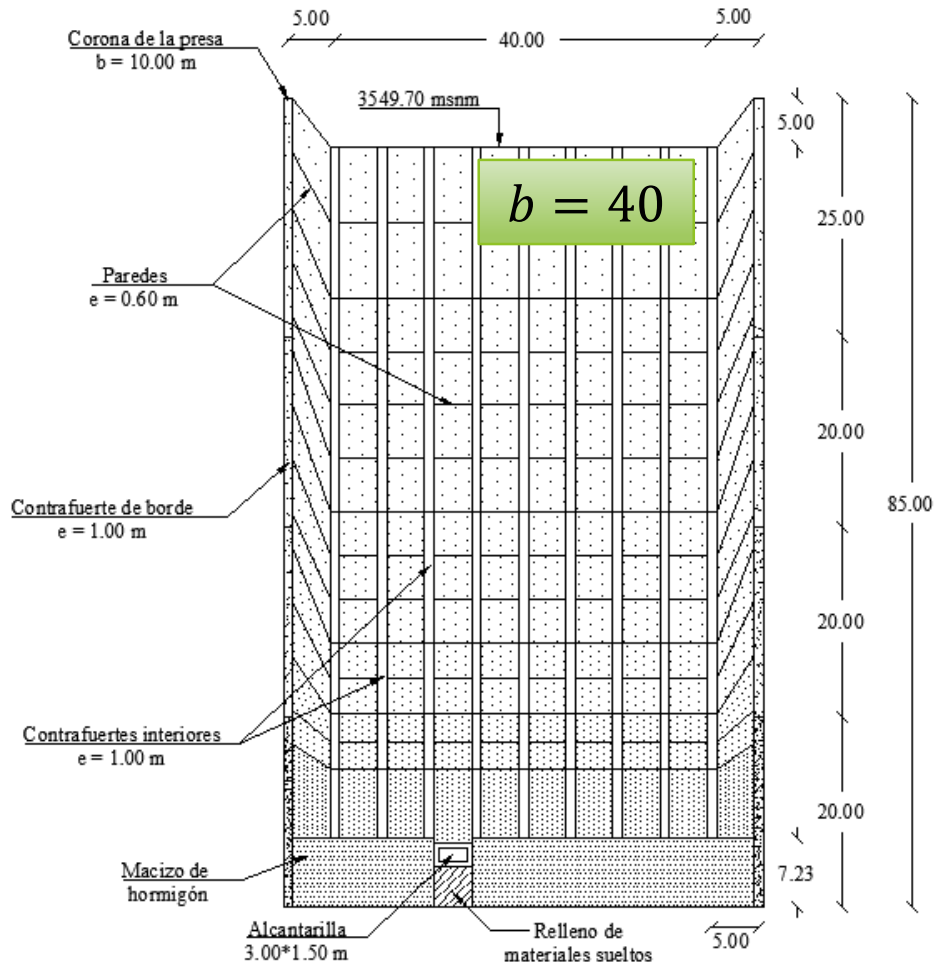
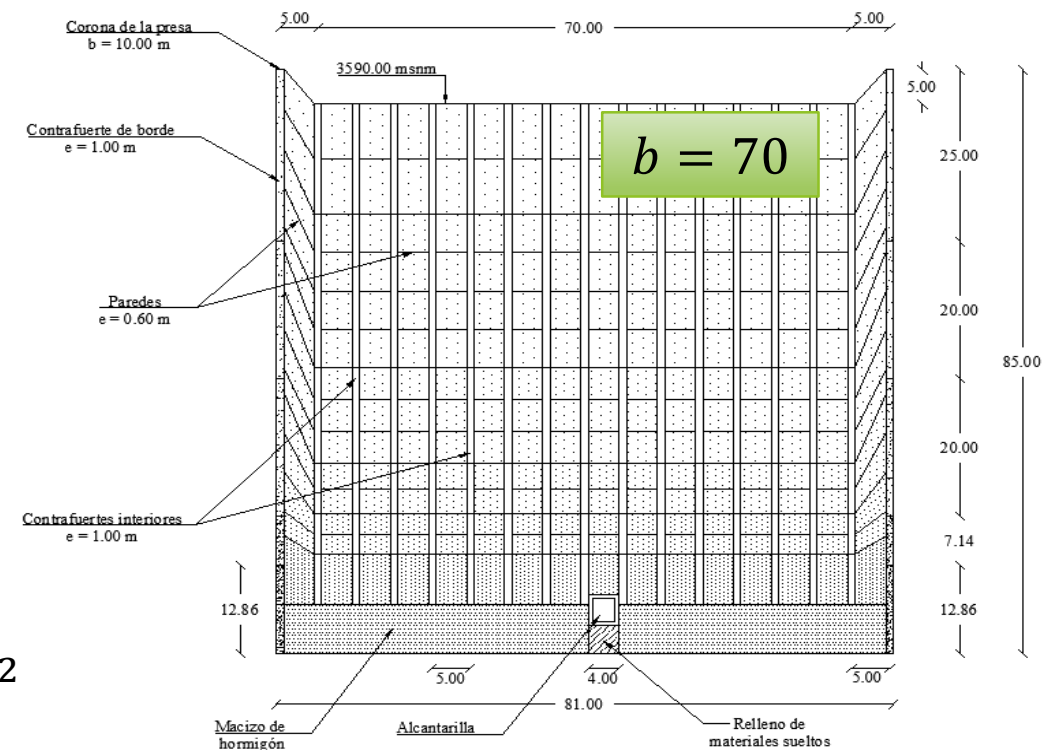


Quebrada Mururco

Volumen de lahar a retener = 2,91 hm³ (altura presa 75m)

Capacidad de embalse = 2,54 hm³ (altura de presa 70m)

Volumen a descargar = 2,91 - 2,54 = 0,38 hm³



Manning

$$Q = m * b * \sqrt{2g} * h^{3/2}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

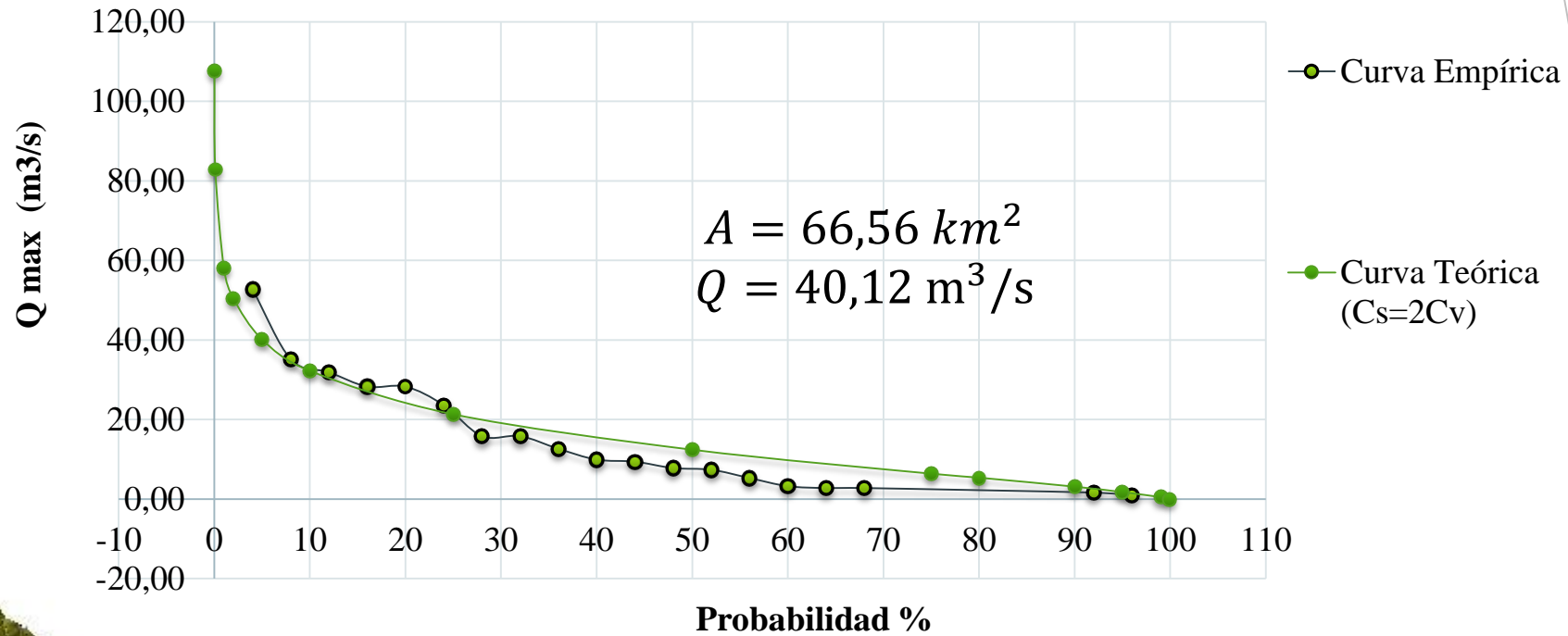
$$m = 0,32$$



Ancho b (m)	Caudal Q (m ³ /s)	Volumen descarga (hm ³)
30	475,18	0,43
40	633,57	0,57
50	791,96	0,71
60	950,35	0,86
70	1108,74	1,00
80	1267,14	1,14
90	1425,53	1,28
100	1583,92	1,43

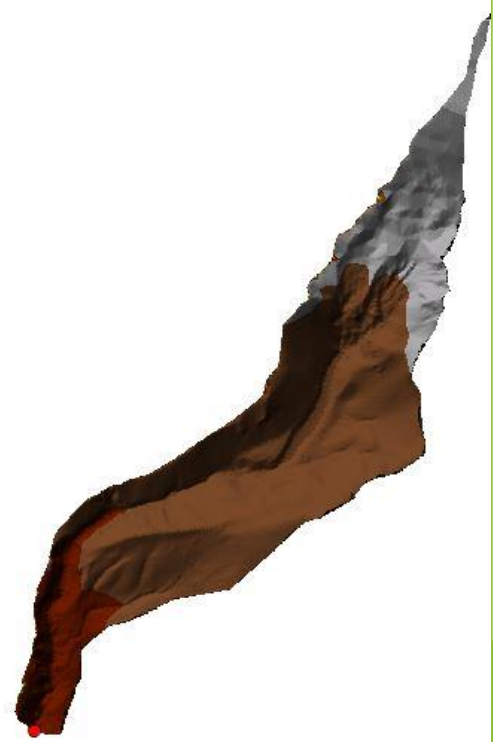
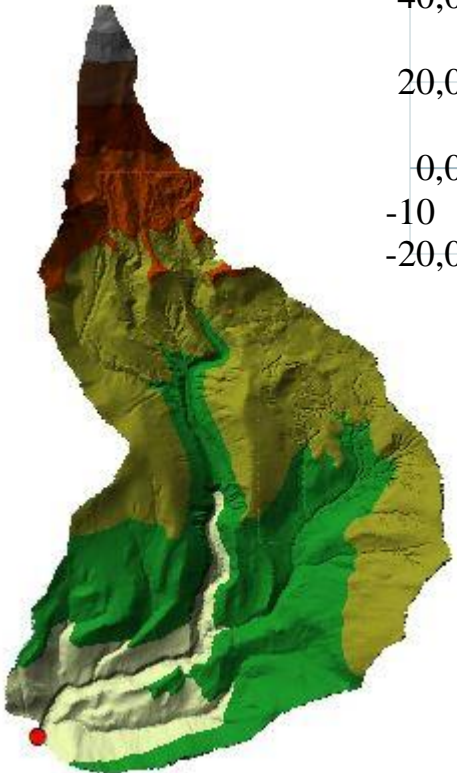
Alcantarilla

CURVA (Q máx vs %)
Estación Pansachi hacienda baños
H 0797



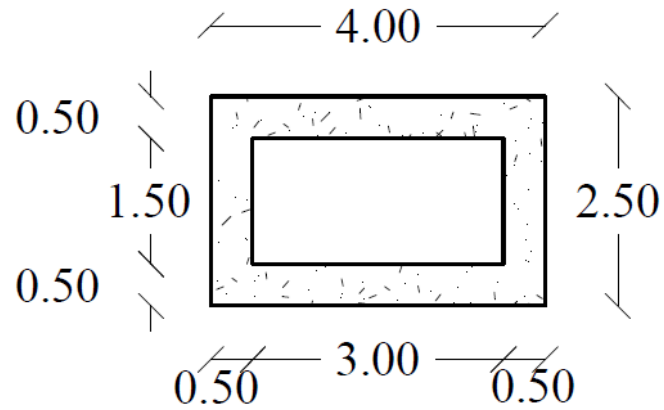
$A_c = 37,24 \text{ km}^2$
 $Q_c = 22,45 \text{ m}^3\text{/s}$

$A_m = 9,79 \text{ km}^2$
 $Q_m = 5,90 \text{ m}^3\text{/s}$

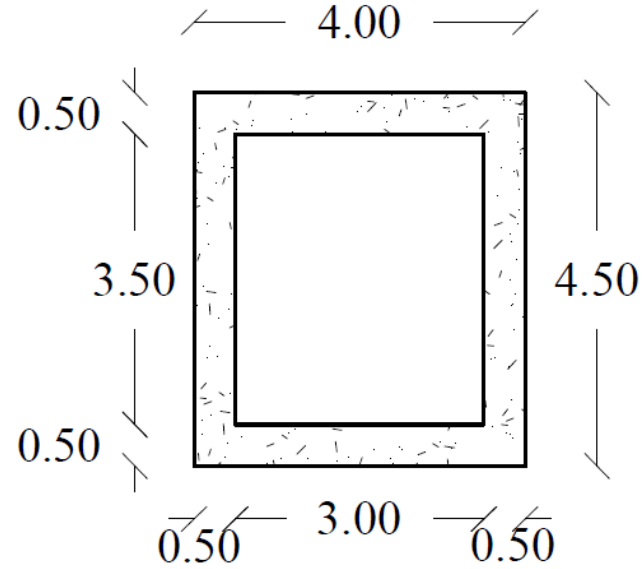


Alcantarilla

Quebrada Mururco



Quebrada Cimarrones



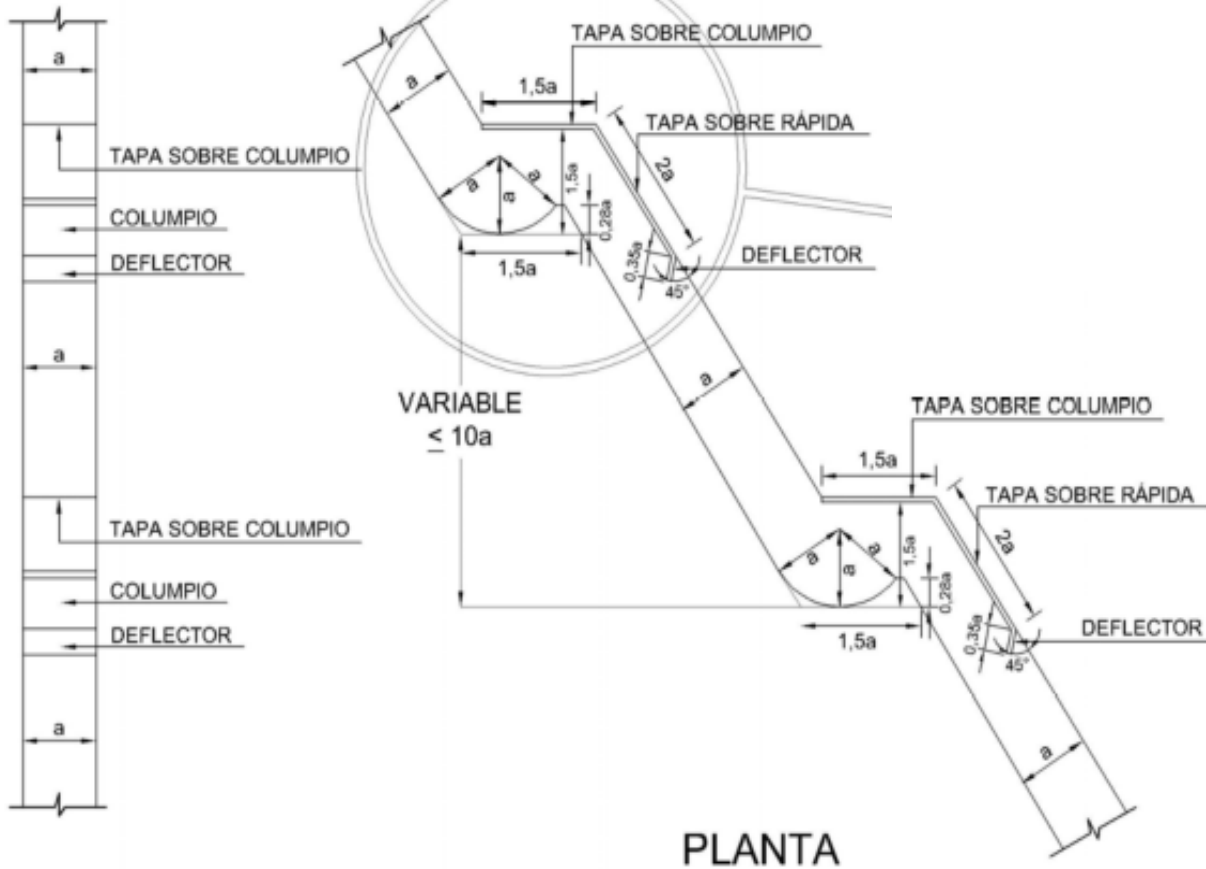
Section	Item	Input
Pipe	Inv Elev Dn =	10,0000
	Length (m) =	217,0900
	Slope (%) =	9,7000
	Inv Elev Up =	31,0577
	Rise (mm) =	3500,0
	Shape =	Box
	Span (mm) =	3000,0
	No. Barrels =	1
	n-value =	0,014
	Culvert Type =	Rectagular Concrete
	Culvert Entrance =	Tapered inlet throat
Embank	Top Elev =	50,0000
	Top Width (m) =	100,0000
	Crest Len (m) =	80,0000
Calcs	Q Min (cms) =	2,4500
	Q Max (cms) =	22,4500
	Q Incr (cms) =	5,0000
	Tailwater (m) =	Normal

Q			Veloc		Depth		HGL			
Total	Pipe	Over	Dn	Up	Dn	Up	Dn	Up	Hw	Hw/D
(cms)	(cms)	(cms)	(m/s)	(m/s)	(mm)	(mm)	(m)	(m)	(m)	
7,4500	7,4500	0,0000	8,5762	2,9011	289,5591	855,9780	10,2896	31,9137	32,3519	0,3698
12,4500	12,4500	0,0000	10,3147	3,4439	402,3347	1205,0050	10,4023	32,2627	32,8805	0,5208
17,4500	17,4500	0,0000	11,5657	3,8550	502,9181	1508,8360	10,5029	32,5665	33,3409	0,6523
22,4500	22,4500	0,0000	12,5263	4,1935	597,4066	1784,5000	10,5974	32,8422	33,7587	0,7717

Canal de rápidas con tapa y columpio

FRENTE

PERFIL



Fuente: Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales

$$a = 0,905 * Q^{0,4}$$

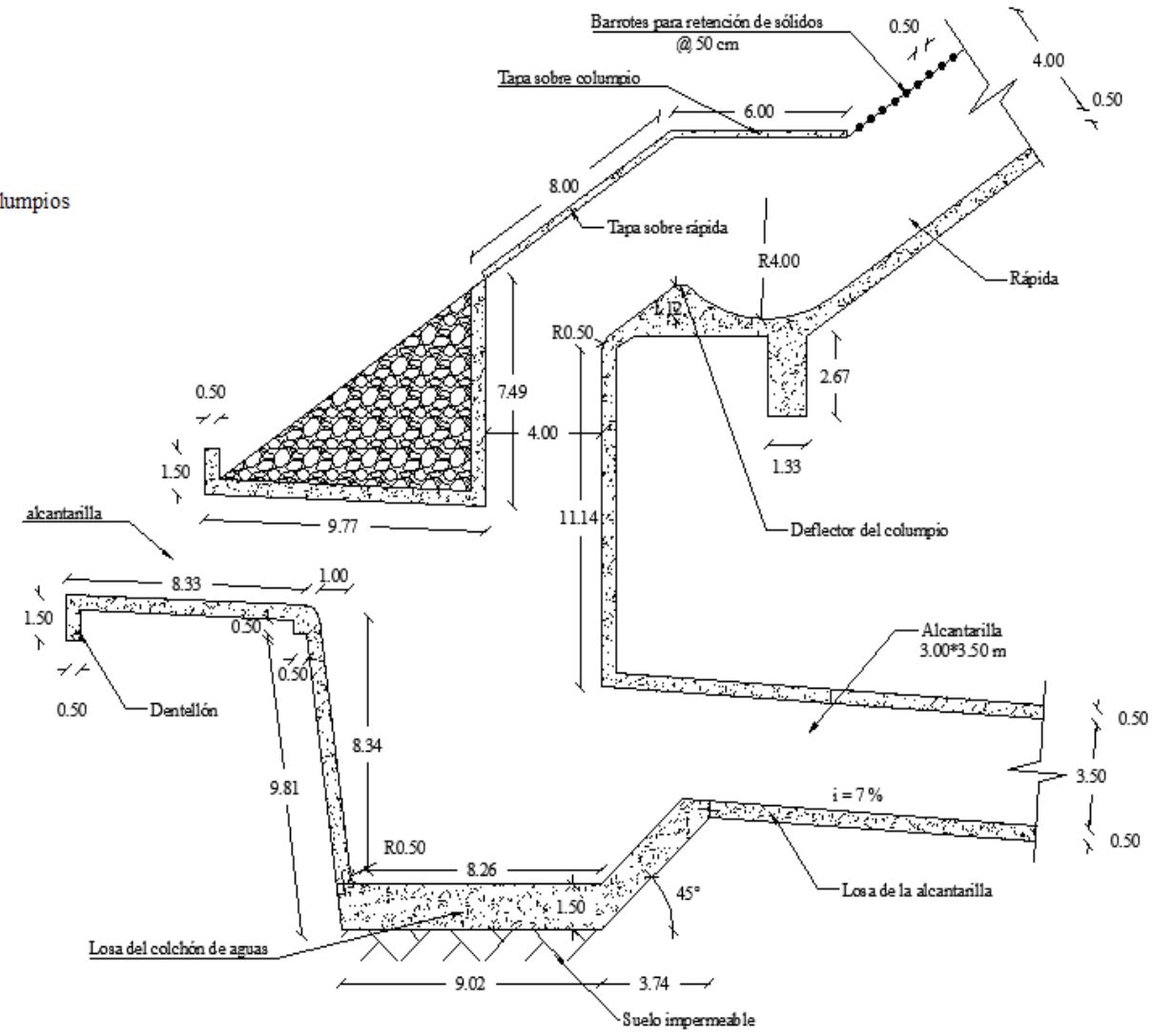
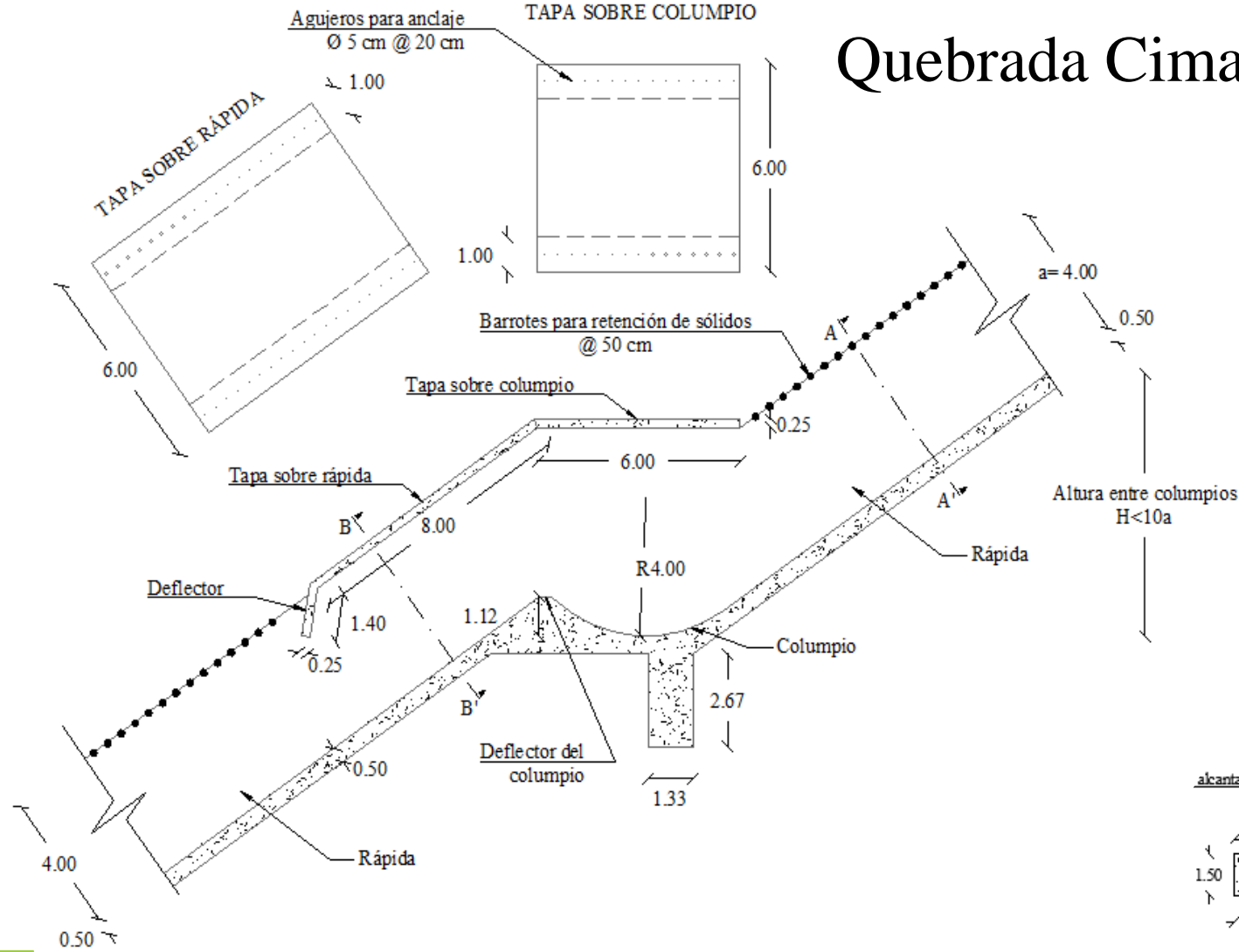
$$V_{rap} = 9,457 * Q^{0,2}$$

Quebrada Cimarrones

$$Q \text{ diseño} = 22,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

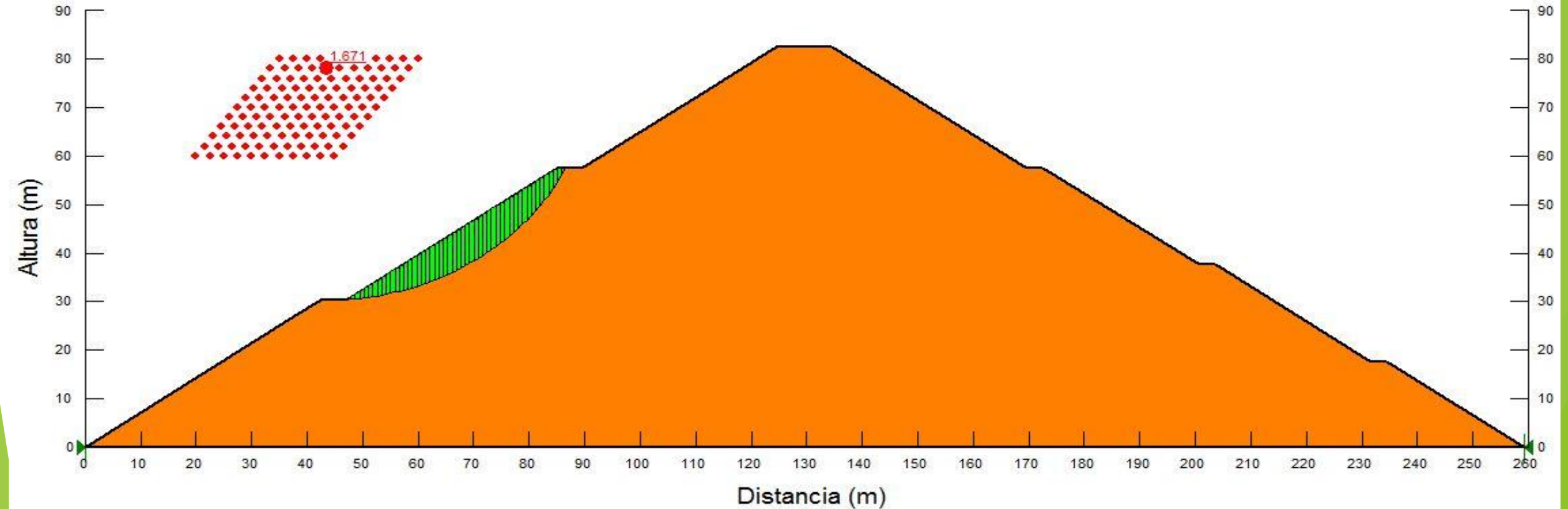
$$a = 0,905 * 22,45^{0,4} = 3,14 \text{ m}$$

$$V_{rap} = 9,457 * 22,45^{0,2} = 17,62 \text{ m/s}$$



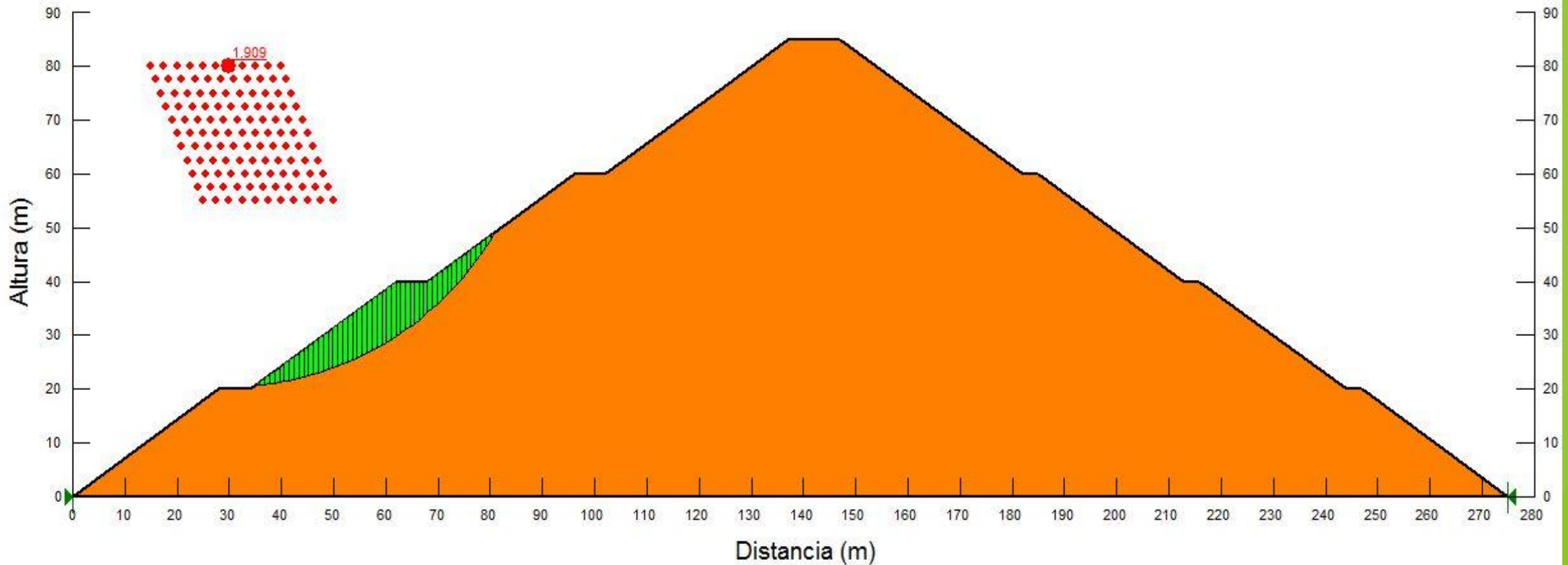
Material	Velocidad máxima (m/s)
Concreto 210 kg/cm ²	10
Concreto 280 kg/cm ²	15
Concreto 350 kg/cm ²	20

Estabilidad del talud



Factor de seguridad (FS) en Presa de materiales sueltos Q. Mururco

Análisis	Bermas aguas arriba a= 4,50 m		Bermas aguas abajo a=3,00 m	
	Bishop simplificado	Morgenstern-Price	Bishop simplificado	Morgenstern-Price
Estático	1,671	1,667	1,842	1,837
Seudoestático	1,244	1,255	1,371	1,384



Factor de seguridad (FS) en Presa de materiales sueltos Q. Cimarrones

Análisis	Bermas aguas arriba a= 6,00 m		Bermas aguas abajo a=3,00 m	
	Bishop simplificado	Morgenstern-Price	Bishop simplificado	Morgenstern-Price
Estático	1,909	1,906	1,852	1,848
Seudoestático	1,387	1,393	1,407	1,418

- El esfuerzo a la compresión $f'c$ en las alcantarillas de las Quebradas Mururco y Cimarrones es de 210 kg/cm^2 y 280 kg/cm^2 , ya que la velocidad de diseño es de $8,40 \text{ m/s}$ y $11,05 \text{ m/s}$, respectivamente; estas son menores a la velocidad máxima admisible para cada una de las resistencias del hormigón.
- Una vez que se ha realizado el análisis de estabilidad de taludes de la presa de materiales sueltos en las Quebradas Mururco y Cimarrones, se concluye que los factores de seguridad (FS) obtenidos son mayores al recomendable.
- El análisis pseudoestático para el diseño de la presa mixta y estabilidad de taludes es la condición más crítica; ya que, se reduce la seguridad estática inicial en un 60% y 27%, respectivamente.
- La relación de llenado de diseño en estructuras hidráulicas se encuentra en el rango de 0,60 a 0,80; de tal manera que su funcionamiento no se encuentre a “tubo lleno”, evitando de esta manera fisuras en la estructura debido a la presión que ejerce el agua sobre las paredes de la misma.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener la geometría de diseño establecida para la presa mixta de las Quebradas Mururco y Cimarrones, en vista que las verificaciones de las condiciones de estabilidad han sido realizadas para este caso. Si en algún momento se requiere disminuir la altura de la presa mixta, se deberá a la vez reducir la longitud de la misma, en la proporción (1:2) (altura, longitud), con el propósito de mantener el centro de gravedad de la estructura.
- Aguas abajo, en la salida de la segunda rápida de la alcantarilla es recomendable colocar un zampeado de rocas con la finalidad de proteger el suelo de su erosión y evitar que se presente socavación, para permitir el flujo normal del agua.
- Considerando la importancia de crear obras de mitigación para minimizar el riesgo que presentan los fenómenos naturales como los eventos laháricos del volcán Cotopaxi, se recomienda que autoridades consideren la ejecución de este tipo de proyectos, pues el crecimiento poblacional sigue en aumento, a pesar del peligro y vulnerabilidad al que se encuentran.

GRACIAS POR
SU ATENCIÓN

