



ESTUDIO DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA PARA LOS SITIOS CRÍTICOS K22+200 Y K22+600, DE LA VÍA ATACO – PLANADAS

INFORME - VERSIÓN 0

CONTRATO DE OBRA – 2096-2022



INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	OBJETIVO.....	6
3.	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	7
3.1	localización general	7
4.	ESTUDIO HIDROLÓGICO Y ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	8
4.1	PRECIPITACIÓN TOTAL.....	8
4.2	ANÁLISIS HIDROLÓGICO	9
4.2.1	Áreas de drenaje	9
4.2.2	Tiempos de concentración	10
4.2.3	Periodo de retorno.....	10
4.3	estimación de caudales de diseño	10
4.3.1	Coeficiente de escorrentía	11
4.3.2	Intensidad de la precipitación	11
4.3.3	Caudales de diseño	12
5.	SOLUCIÓN DE INGENIERÍA Y DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS PROPUESTAS	13
5.1	dimensionamiento CUNETAS	13
5.2	OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL y complementos	14
5.2.1	Diagnóstico	14
5.2.2	Análisis de capacidad hidráulica de ODTs.....	15
5.2.3	Chimeneas propuestas	16
5.2.4	Canal de rápidas con tapa y columpio.....	16
5.2.5	Canales escalonados para el descole de ODTs	18
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones climatológicas analizadas.	8
Tabla 2. Valores de precipitación máxima en 24 horas.	9
Tabla 3. Áreas de drenaje.	10
Tabla 4. Coeficientes de escorrentías adoptados.	11
Tabla 5. Coeficientes de la ecuación de regionalización de las IDF	11
Tabla 6. Estimación de intensidad de lluvia para duraciones de aguacero entre 5 y 60 minutos.	11
Tabla 7. Caudales de diseño.	12
Tabla 8. Capacidad cuneta triangular en función de la pendiente de la vía.	13
Tabla 9. Dimensiones canal de rápidas con tapa y columpio	17
Tabla 10. Dimensiones de canales escalonados propuestos.	18

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización general del proyecto.	7
Ilustración 2. Polígonos de Thiessen para el área del proyecto. Fuente: elaboración propia.	8
Ilustración 3. Áreas de drenaje.	10
Ilustración 4. Curva IDF Estación Antena TV Rusia.	12
Ilustración 5. Sección cuneta propuesta.	13
Ilustración 6. Detalle filtro.	14
Ilustración 7. Formación de cursos en ODTs.	15
Ilustración 8. Chimeneas proyectadas.	16
Ilustración 9. Esquema canal de rápidas con tapa y tapa y columpio.	17
Ilustración 10. Descole ODT 22+525.	17
Ilustración 11. Esquema flujo en canales escalonados.	18

ANEXOS

- ANEXO 1. Áreas de Drenaje.DWG
- ANEXO 2. CANAL ESCALONADO Y DETALLES.DWG
- ANEXO 3. IMPLANTACIONES.DWG
- ANEXO 4. Planta Perfil.DWG
- ANEXO 5. Drenaje transversal y longitudinal.xlsx

1. INTRODUCCIÓN

La realización de este estudio está enfocada en llevar a cabo un análisis hidrológico e hidráulico para el diseño de obras de drenaje longitudinales y transversales para gestionar la escorrentía superficial de la zona y corregir la pérdida de banca en la vía. Para esto, se propone la construcción de cuneta tipo triangular, la adecuación y reemplazo de ODTs existentes y la construcción de canales escalonados para el drenaje través del talud inferior, proveniente de las ODTs.

La solución se propone con el fin de gestionar el drenaje superficial y subsuperficial del terreno aledaño a la vía para no seguir comprometiendo la integridad y estabilidad de la misma.

Teniendo en cuenta lo anterior, el desarrollo de este trabajo está encaminado a realizar el diseño detallado de la solución propuesta.

2. OBJETIVO

Determinar los caudales de diseño para el dimensionamiento y diseño detallado de una solución de drenaje para la atención de un punto crítico en el proyecto vial Ataco-Planadas a la altura del PR 22+200 al PR 22+600.

3. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

3.1 LOCALIZACIÓN GENERAL

El proyecto se encuentra ubicado entre los municipios de Ataco y Planadas (Tolima), en el departamento del Tolima. La zona de interés se encuentra en una zona montañosa cuya elevación está entre los 450 y 1250 msnm.

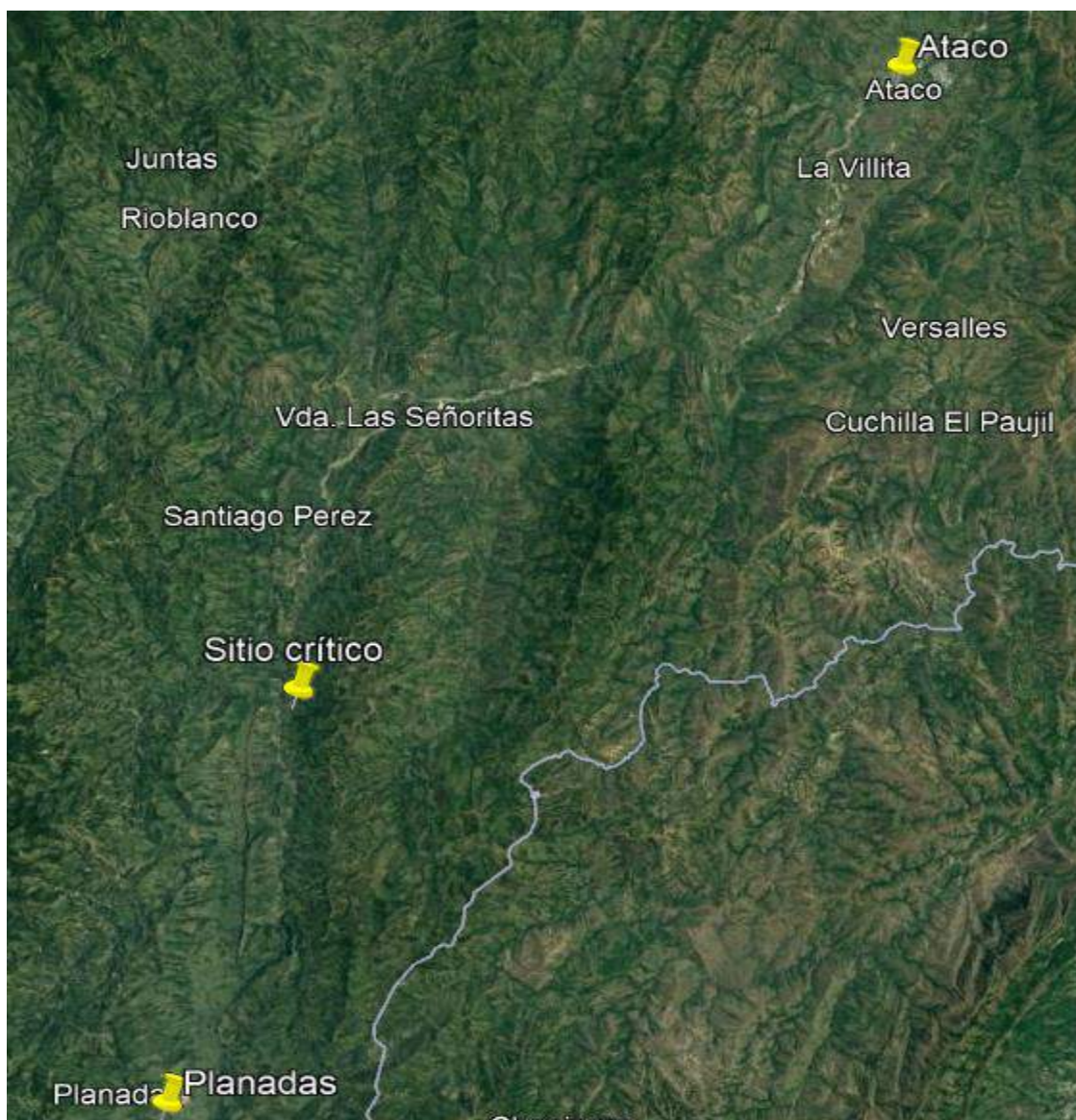


Ilustración 1. Localización general del proyecto.
Fuente: Adaptado de Google Earth.

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO Y ANÁLISIS HIDRÁULICO

A continuación, se presenta las principales variables climatológicas, según la estación climatológica seleccionada para el área del proyecto.

Las estaciones más cercanas a la zona de influencia del proyecto son SANTIAGO PEREZ [22020050], CASA DE ZINC [22020040] y EL CONDOR [22027010]. Las principales características de las estaciones analizadas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Estaciones climatológicas analizadas.

Código	Nombre	Fecha instalación	Fecha último registro
22020050	SANTIAGO PEREZ	15/10/1975	Vigente
22020040	CASA DE ZINC	15/12/1973	Vigente
22027010	EL CONDOR	15/01/1971	Vigente

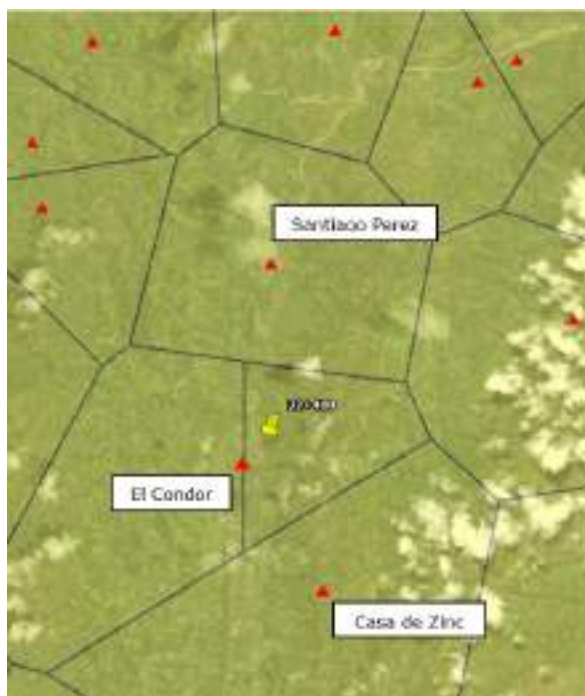


Ilustración 2. Polígonos de Thiessen para el área del proyecto.
Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Ilustración 2, la estación más pertinente para realizar la caracterización hidrológica es EL CONDOR.

4.1 PRECIPITACIÓN TOTAL

Según los datos reportados por la estación EL CONDOR, los datos de precipitación máxima en 24 horas se presentan a continuación en la Tabla 2:

Tabla 2. Valores de precipitación máxima en 24 horas.

Año	Valor máximo	Año	Valor máximo
1981	102	2002	90
1982	88	2003	126
1983	73	2004	84
1984	56	2005	129
1985	78	2006	85
1986	60	2007	80
1987	77	2008	120
1988	70	2009	97
1989	90	2010	89
1990	80	2011	96
1991	71	2012	96
1992	115	2013	80
1993	119	2015	72
1994	89	2016	70
1995	57	2017	88
1996	47	2018	80
1997	90	2019	110
1998	136	2020	73
1999	68	2021	69
2000	67	Promedio	87.05
2001	115		

4.2 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico tiene la finalidad de determinar los caudales de diseño para las obras de drenaje propuestas.

4.2.1 Áreas de drenaje

Las áreas de drenaje se delimitaron según las divisorias marcadas por la topografía de la zona y el peralte de la vía de cada segmento. En la Ilustración 3, se relacionan las áreas de drenaje delimitadas. Las áreas 1, 2, 4 y 6 corresponden a drenaje superficial de cunetas.

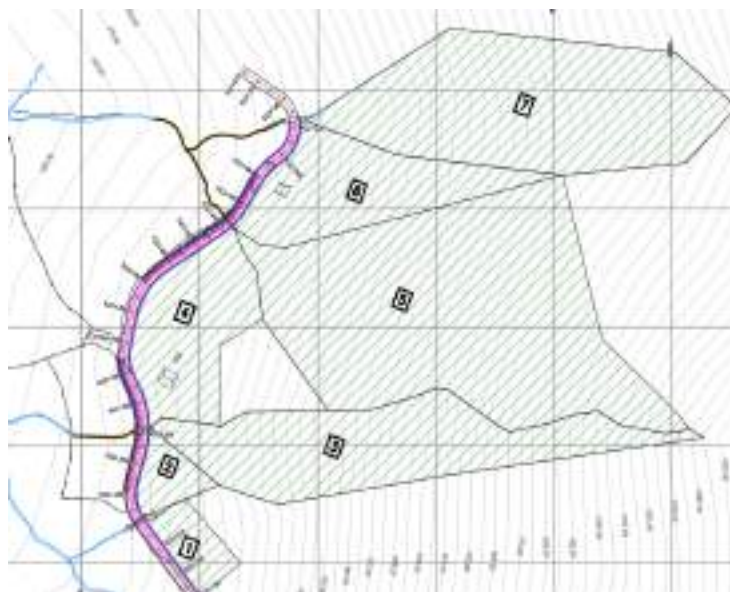


Ilustración 3. Áreas de drenaje.

En la Tabla 3 se relacionan las áreas estimadas para el dimensionamiento de las estructuras:

Tabla 3. Áreas de drenaje.

Estructura	Área de cuenca
ODT1 (22+224)	0 m ² *
ODT2 (22+282)	12,241.473 m ²
ODT3 (22+446)	26,902.529 m ²
ODT4 (22+525)	17,290.193 m ²

*Como se puede apreciar en el plano de áreas de drenaje (ÁREAS DE DRENAJE.DWG) la ODT1 existente no tiene aportes de cuenca, pese a que es un box culvert de 1m x 1m. Sólo recibe aportes de cuneta.

4.2.2 Tiempos de concentración

Para las estructuras de drenaje longitudinal se definió un tiempo de concentración de 10 minutos, mientras que para las estructuras de drenaje transversal se definió un tiempo de concentración mínimo de 15 minutos.

4.2.3 Periodo de retorno

Con respecto a los periodos de retorno, de conformidad con el Manual de Drenaje del Invias, se definieron periodos de retorno de 5 años y 20 años para el drenaje longitudinal y box culvert, respectivamente.

4.3 ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE DISEÑO

Los caudales de diseño para las estructuras propuestas se estimaron mediante el Método Racional, según sus áreas aferentes.

$$Q = C * i * A * 0.278$$

Q: caudal en m3/s

i: intensidad de lluvia en mm/h

A: área aferente en Km2

C: coeficiente de escorrentía

4.3.1 Coeficiente de escorrentía

Para la definición de coeficientes de escorrentía, se utilizó el apoyo de imágenes satelitales:

Tabla 4. Coeficientes de escorrentías adoptados.

Tipo	Coeficiente escorrentía
Escorrentía talud	0,36
Escorrentía vía	0.77
Escorrentía montaña	0.42

4.3.2 Intensidad de la precipitación

Las intensidades fueron calculadas a partir de la ecuación regional, desarrollada por Díaz-Granados & Vargas:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d$$

I: intensidad en mm/h

a, b, c y d: constantes según la región

T: periodo de retorno en años

t: tiempo de concentración de horas

M: promedio de precipitación máxima en 24 horas multianual en mm

Tabla 5. Coeficientes de la ecuación de regionalización de las IDF

a	b	c	d
0,94	0,18	0,66	0,83

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Tabla 6. Estimación de intensidad de lluvia para duraciones de aguacero entre 5 y 60 minutos.

t (min)	t (horas)	2.33	5	10	25	50	100
10.00	0.17	145.49	166.93	189.11	223.02	252.66	286.23
20.00	0.33	92.08	105.65	119.68	141.14	159.90	181.15
30.00	0.50	70.46	80.84	91.58	108.01	122.36	138.62
40.00	0.67	58.27	66.86	75.75	89.33	101.20	114.65
50.00	0.83	50.29	57.70	65.37	77.09	87.34	98.95
60.00	1.00	44.59	51.16	57.96	68.35	77.44	87.73

70.00	1.17	40.28	46.21	52.35	61.74	69.95	79.24
80.00	1.33	36.88	42.31	47.94	56.53	64.05	72.56
90.00	1.50	34.12	39.15	44.35	52.31	59.26	67.13
100.00	1.67	31.83	36.52	41.37	48.79	55.28	62.62
110.00	1.83	29.89	34.29	38.85	45.82	51.91	58.80
120.00	2.00	28.22	32.38	36.68	43.26	49.01	55.52
130.00	2.17	26.77	30.71	34.79	41.03	46.49	52.66
140.00	2.33	25.49	29.25	33.13	39.08	44.27	50.15
150.00	2.50	24.36	27.95	31.66	37.34	42.30	47.92
160.00	2.67	23.34	26.78	30.34	35.78	40.53	45.92
170.00	2.83	22.43	25.73	29.15	34.38	38.94	44.12
180.00	3.00	21.60	24.78	28.07	33.10	37.50	42.49

Fuente: elaboración propia

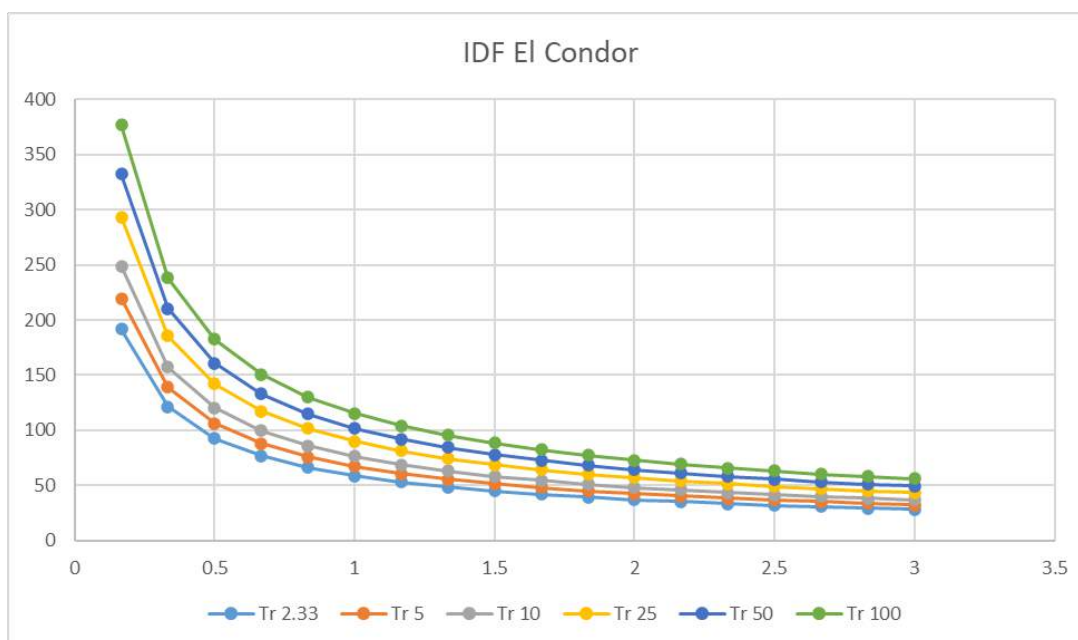


Ilustración 4. Curva IDF Estación Antena TV Rusia.

4.3.3 Caudales de diseño

Finalmente, se estimaron los caudales de diseño para las áreas de drenaje, tiempos de concentración y periodos de retorno definidos.

Tabla 7. Caudales de diseño.

Estructura	Caudal de diseño
ODT1 (22+224)	0.0398 m ³ /s
ODT2 (22+282) y su canal escalonado de descole	0.8815 m ³ /s

ODT3 (22+446) y su canal escalonado de descole	2.1138 m ³ /s
ODT4 (22+525) y su canal escalonado de descole	1.1905 m ³ /s

Con respecto a las estructuras de drenaje longitudinal, se elaboró una curva de capacidad con el fin de establecer, a partir de una estructura tipo, la capacidad de la misma en función de la pendiente de la vía.

5. SOLUCIÓN DE INGENIERÍA Y DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS PROPUESTAS

La solución propuesta consiste en: i) la colocación de cunetas triangulares a borde vía; ii) la comprobación y recomendación de ajuste para la capacidad hidráulica de las ODT existentes; iii) la formulación de canales escalonados para gestionar los descoles de las ODT y prevenir la infiltración de dichas aguas en áreas adyacentes a la vía, además de las estructuras necesarias para garantizar el descole de las ODT como chimeneas y tramos de columpios para rápidas. Teniendo en cuenta la pérdida de banca y la construcción del muro de contención, es necesario adecuar el descole de algunas ODTs, mediante la colocación de estructuras tipo chimenea y columpio.

5.1 DIMENSIONAMIENTO CUNETAS

Se propone la construcción de cuneta tipo triangular de 1.0m de ancho y 0.20m de profundidad, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

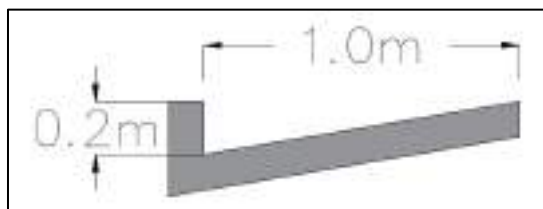


Ilustración 5. Sección cuneta propuesta.

La disposición de las cunetas sobre la vía se puede apreciar en el plano de diseño *Planta Perfil.DWG*.

Para esta geometría se definieron las siguientes capacidades máximas, según la pendiente longitudinal de la vía:

Tabla 8. Capacidad cuneta triangular en función de la pendiente de la vía.

CAPACIDAD CUNETA TRANGULAR									
S	Q (m ³ /s)	S	Q (m ³ /s)	S	Q (m ³ /s)	S	Q (m ³ /s)	S	Q (m ³ /s)
0.1%	0.027	2.1%	0.126	4.1%	0.176	6.1%	0.215	8.1%	0.247
0.2%	0.039	2.2%	0.129	4.2%	0.178	6.2%	0.216	8.2%	0.249
0.3%	0.048	2.3%	0.132	4.3%	0.180	6.3%	0.218	8.3%	0.250
0.4%	0.055	2.4%	0.135	4.4%	0.182	6.4%	0.220	8.4%	0.252
0.5%	0.061	2.5%	0.137	4.5%	0.184	6.5%	0.222	8.5%	0.253
0.6%	0.067	2.6%	0.140	4.6%	0.186	6.6%	0.223	8.6%	0.255
0.7%	0.073	2.7%	0.143	4.7%	0.188	6.7%	0.225	8.7%	0.256
0.8%	0.078	2.8%	0.145	4.8%	0.190	6.8%	0.227	8.8%	0.258

0.9%	0.082	2.9%	0.148	4.9%	0.192	6.9%	0.228	8.9%	0.259
1.0%	0.087	3.0%	0.151	5.0%	0.194	7.0%	0.230	9.0%	0.261
1.1%	0.091	3.1%	0.153	5.1%	0.196	7.1%	0.232	9.1%	0.262
1.2%	0.095	3.2%	0.155	5.2%	0.198	7.2%	0.233	9.2%	0.264
1.3%	0.099	3.3%	0.158	5.3%	0.200	7.3%	0.235	9.3%	0.265
1.4%	0.103	3.4%	0.160	5.4%	0.202	7.4%	0.236	9.4%	0.266
1.5%	0.106	3.5%	0.163	5.5%	0.204	7.5%	0.238	9.5%	0.268
1.6%	0.110	3.6%	0.165	5.6%	0.206	7.6%	0.240	9.6%	0.269
1.7%	0.113	3.7%	0.167	5.7%	0.207	7.7%	0.241	9.7%	0.271
1.8%	0.117	3.8%	0.169	5.8%	0.209	7.8%	0.243	9.8%	0.272
1.9%	0.120	3.9%	0.172	5.9%	0.211	7.9%	0.244	9.9%	0.273
2.0%	0.123	4.0%	0.174	6.0%	0.213	8.0%	0.246	10.0%	0.275

Las cunetas propuestas deberán contar con un filtro de 0.6m x 1.0m, rodeado por geotextil no tejido NT2500 compuesto de material de relleno y una tubería perforada de 4", como se puede apreciar en la siguiente imagen:

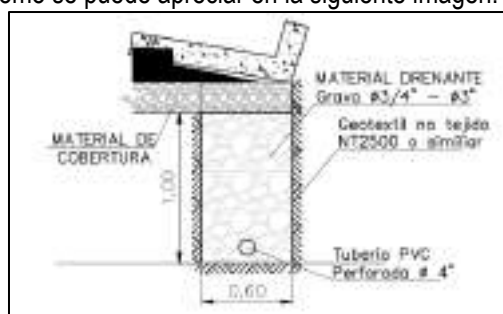


Ilustración 6. Detalle filtro.

5.2 OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL Y COMPLEMENTOS

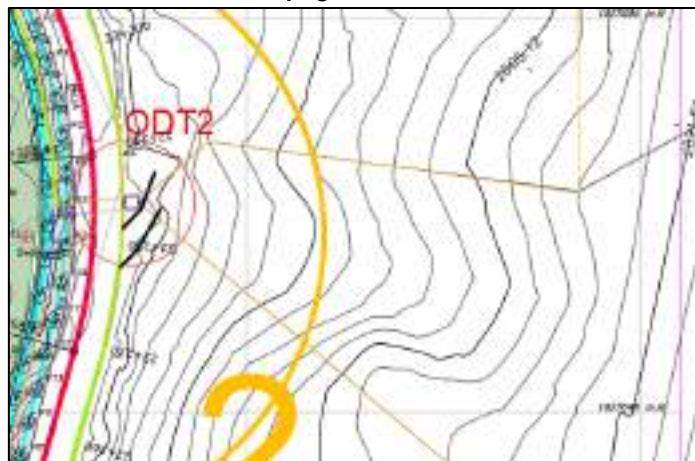
5.2.1 Diagnóstico

Actualmente, el segmento de vía a intervenir cuenta con cuatro estructuras de drenaje transversal existentes tipo box culvert:

Estructura	Dimensiones actuales	Condición
ODT1 (22+224)	1.0m x 1.0m	Colmatada
ODT2 (22+282)	1.0m x 1.0m	Box a reemplazar
ODT3 (22+446)	1.0m x 1.0m	En buen estado
ODT4 (22+525)	2.0m x 2.0m	En buen estado

Las ODT1, ODT2 y ODT3 están diseñadas para gestionar la descarga de cunetas, mientras que la ODT4 está diseñada para gestionar un curso, sin embargo, y, luego de la revisión y análisis de capacidad, se encuentra que en las ODT2 y ODT3 hay una posible formación de cursos que no está siendo atendida:

Topografía ODT2



Topografía ODT3

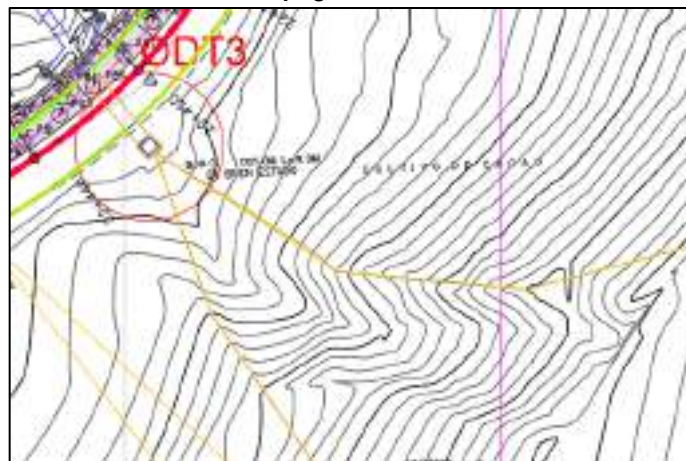


Ilustración 7. Formación de cursos en ODTs.

5.2.2 Análisis de capacidad hidráulica de ODTs

Las alcantarillas circulares y boxculvert se dimensionan aceptando una altura o nivel de agua en la entrada (H_w) de 1,20 veces el diámetro (por ejemplo 1,08 m para las alcantarillas mínimas de diámetro 90 cm). Así, tomando un valor máximo de 1,2 H_w se asegura que la entrada de la alcantarilla funciona sin sumergirse, es decir, la lámina de agua se encuentra por debajo de la cota clave, o lo que es lo mismo a flujo libre.

La carga a la entrada, H_w depende del tipo de flujo con que funcione la alcantarilla, existiendo dos tipos principales de flujo: flujo con control a la entrada o flujo con control a la salida.

Flujo de la alcantarilla con control a la entrada

En esta condición, el flujo sufre una contracción severa en la entrada, con lo que la capacidad de la tubería es mayor que la capacidad de la estructura de entrada, siendo las características de la entrada (tipo y forma) y no la de la tubería (sección, rugosidad, área, longitud, pendiente) las que determinan la capacidad de la alcantarilla. La alcantarilla se comporta como un vertedero si no existe sumergencia en la entrada y como un orificio si se presenta sumergencia, existiendo una zona de transición pobremente definida entre ambos tipos de comportamiento, por lo que emplean ecuaciones de regresión.

Resultados comprobación capacidad con control a la entrada

A continuación, se presenta un resumen de la comprobación hidráulica de las ODTs:

Obra	Abscisa	Caudal diseño (m ³ /s)	Tipo estructura	Altura (m)	Ancho (m)	Nivel agua (m)	Cumple/no cumple
ODT1	22+224	0.040	Box Culv.	1	1	0.1	Cumple
ODT2	22+282	0.882	Box Culv.	1	1	0.35	Cumple

ODT3	22+446	2.110	Box Culv.	1.5	1.5	0.35	Cumple
ODT4	22+525	1.191	Box Culv.	2	2	0.25	Cumple

Por esta razón, se propone que el encole de estas ODTs se modifique de poceta a aletas y que en el caso de la ODT3 se modifiquen sus dimensiones de 1.0m x 1.0m a 1.5m x 1.5m, ya que, con las actuales dimensiones, no cuenta con suficiencia hidráulica

5.2.3 Chimeneas propuestas

Como se puede apreciar en la Ilustración 8, se proyecta la construcción de dos chimeneas: una para la ODT ubicada en PR 22+282 y otra para el PR 22+446. Estas estructuras complementarias se proponen por la diferencia topográfica entre la salida de la ODT y el terreno receptor.

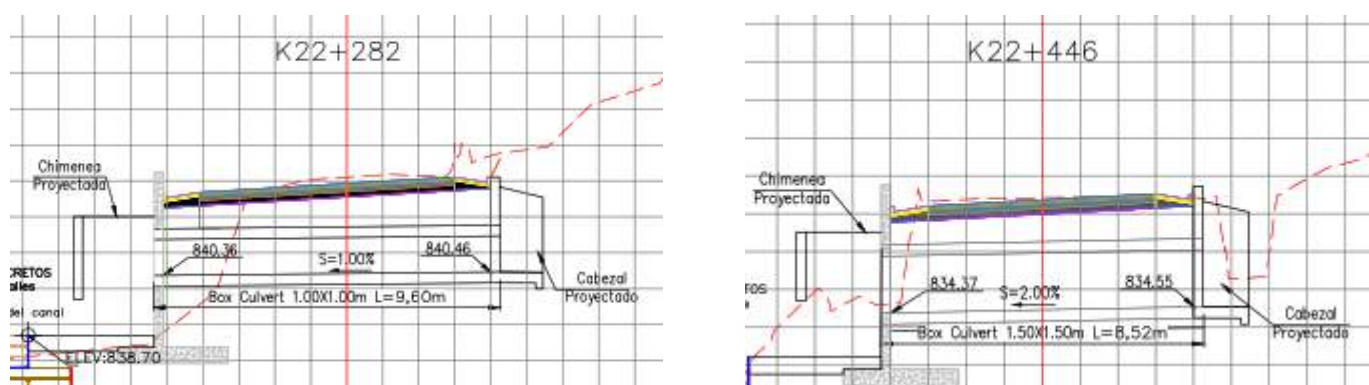


Ilustración 8. Chimeneas proyectadas.

5.2.4 Canal de rápidas con tapa y columpio

El dimensionamiento de esta estructura se realizó a partir de la metodología planteada por Mejía Fernández¹, la cual depende principalmente del caudal a transportar para calcular el ancho a , ya que de este dependen las demás dimensiones del canal:

$$a = 0.905 * Q^{0.4}$$

a : ancho del CRTC

Q : caudal de diseño del CRTC en m³/s

A partir de este ancho a :

¹Fernando Mejía Fernández. Libro *Estructuras de Vertimiento de Aguas en Laderas de Media a Fuerte Pendiente. Canal de Pantallas Deflectoras (CDP) y Canal de Rápida con Tapa y Columpio (CRTC)*. 2010.

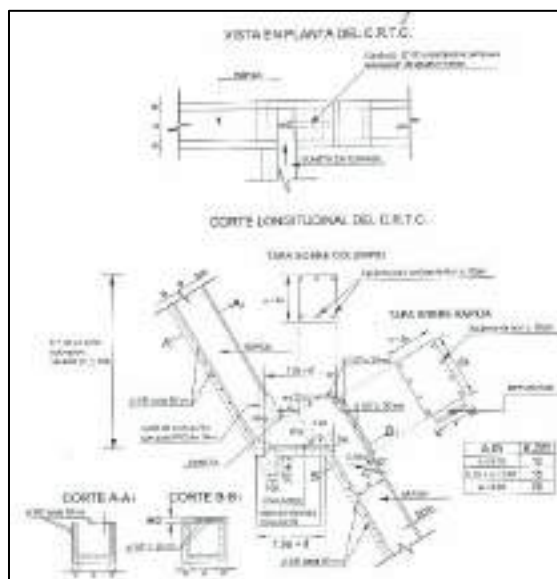


Ilustración 9. Esquema canal de rápidas con tapa y tapa y columpio.

Se propone que en el descole de la ODT del PR22+525 se ubique un canal corto de rápidas con tapa y columpio para realizar el empalme entre la ODT y el canal escalonado en bolsacretos, como se puede apreciar en la Ilustración 10. Esto se propone debido a que el terreno receptor de esta ODT tiene una pendiente promedio superior al 50%.

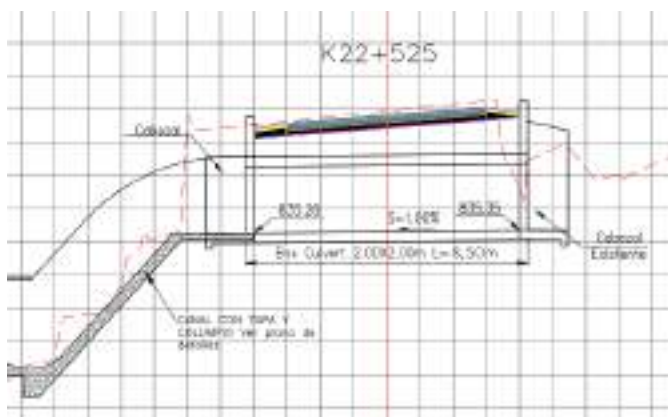


Ilustración 10. Descole ODT 22+525.

Este canal constará de dos rampas de cinco metros y tendrá las siguientes dimensiones:

Tabla 9. Dimensiones canal de rápidas con tapa y columpio

CANAL DE RÁPIDAS CON TAPA Y COLUMPIO		
	Constructivas	Unidad
Caudal	1.19	m3/s

a	2	m
Tapa sobre columpio	2.4	m
Tapa sobre rápida	4	m
Deflector de tapa	0.1	m
Deflector del columpio	0.6	m
Altura sobre columpio	3	m
e	0.2	m
R columpio = a	2	m
1/3a	0.7	m
2/3a	1.3	m
0.28a	0.6	m
2a	4	m
a+2e	2.4	m
e/2	0.1	m
H<=a*10	5	m

5.2.5 Canales escalonados para el descole de ODTs

Los canales escalonados se diseñaron según la metodología planteada por Ven Te Chow, en la cual se suponen los valores de las contrahuellas (h) y el ancho (b):

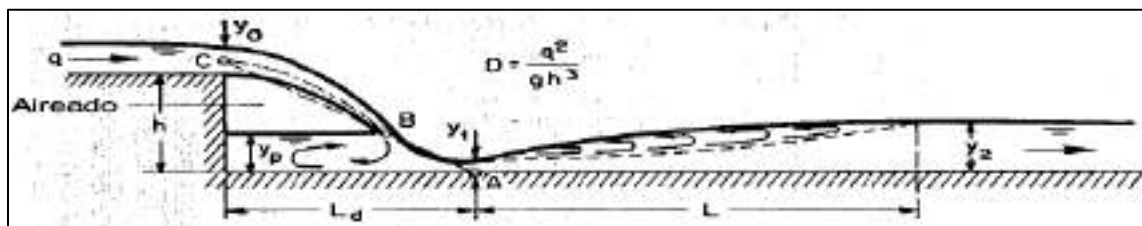


Ilustración 11. Esquema flujo en canales escalonados.

Las dimensiones de cada uno de los canales se presentan a continuación

Tabla 10. Dimensiones de canales escalonados propuestos.

	Q (m³/s)	B (m)	q (m³/ms)	h (m)	Ld (m)	Yp (m)	L (m)	L total	V (m/s)
CANAL BOLSACRETOS - ODT2 (22+282)	0.88	1.00	0.88	0.60	1.97	0.48	2.36	4.32	1.16
CANAL BOLSACRETOS - ODT3 (22+446)	2.11	1.50	1.41	0.60	2.54	0.59	2.63	5.16	1.44
CANAL BOLSACRETOS - ODT4 (22+525)	1.19	1.50	0.79	0.60	1.86	0.46	2.29	4.15	1.11

CANAL BOLSACRETOS - 3+4	3.30	1.50	2.20	0.90	3.49	0.83	3.82	7.30	1.64
----------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

En algunos casos, por la condición topográfica, se reduce el tamaño de la huella, pero siempre respetando el golpe del agua con el escalón, es decir, el **Ld**.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Capacidad hidráulica: se realizó el análisis de capacidad hidráulica para las cuatro ODT, encontrando los siguientes resultados:

ID	Capacidad	Observaciones – cambios
ODT1 (22+224)	Suficiente - Sobredimensionada	Se conserva sin ningún cambio
ODT2 (22+282)	Suficiente	Se conservan las dimensiones, pero se propone modificación de encole: de poceta a aletas.
ODT3 (22+446)	Insuficiente	Se propone reemplazo por dimensiones y tipo de encole, es decir, se aumentan las dimensiones a 1.5m x 1.5m y se modifica el encole de poceta a aletas.
ODT4 (22+525)	Suficiente	Se conserva sin ningún cambio.

- Se sugiere revisar la ubicación de las ODT, con respecto al diseño geométrico proyectado pues se encuentra que la ODT3 (22+282) no coincide con el perfil del diseño geométrico.