



HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA SECTOR CAÑO FISTO K15+630 – K15+810 ATACO-PLANADAS

INFORME HIDRÁULICO - VERSIÓN 0

CONTRATO DE OBRA PÚBLICA -290-2021



JUNIO DE 2023

Página 1 de 30

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS Y ALCANCE	4
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
2.3. ALCANCE.....	4
3. LOCALIZACIÓN GENERAL.....	5
4. ESTUDIO HIDROLÓGICO	6
4.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE	6
4.2. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	6
4.3. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	6
4.4. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE	6
4.5. POLIGONOS DE THIESSEN	7
4.6. CURVAS INTENSIDAD- DURACIÓN – FRECUENCIA	7
4.7. ÁREAS DE DRENAJE	11
4.8. PERIODO DE RETORNO.....	11
4.9. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	12
4.10. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	14
4.11. CAUDALES DE DISEÑO	14
5. ESTUDIO HIDRÁULICO	15
5.1. OBRAS DE DRENAJE LONGITUDINAL.....	15
5.1.1. CUNETAS	15
5.1.2. SUBDRENAJE.....	19
CÁLCULO DEL CAUDAL POR INFILTRACIÓN.....	19
CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO	20
DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	20
EVALUACIÓN DEL GEOTEXTIL A UTILIZAR	21
5.2. OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL.....	24
5.3. OBRAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA.....	25
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	28
7. ANEXOS	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones hidrometeorológicas ubicadas en el área de influencia de la zona de estudio	6
Tabla 2. Inventario de la obra de drenaje existente.....	6
Tabla 3. Valores máximos multianuales de precipitación en 24h – Estación EL CONDOR [22020070].....	9
Tabla 4. Datos Curvas IDF estación EL CONDOR [22020070]	9
Tabla 5. Periodo de retorno recomendado	12
Tabla 6. Ecuación empleada para el cálculo del tiempo de concentración.....	14
Tabla 7. Áreas aferentes a las cunetas	17
Tabla 8. Verificación capacidad hidráulica de las cunetas.....	18
Tabla 9. Valores del Factor de Infiltración	19
Tabla 10. Valores recomendados para el factor de retención de la base	20
Tabla 11. Especificaciones generales de construcción de carreteras	21
Tabla 12. Estimación del caudal del filtro.....	22
Tabla 13. Áreas de las cuencas aferentes a poceta y ODT	24

Tabla 14. Tiempo de concentración de las cuencas aferentes a las obras transversales estudiadas	24
Tabla 15. Caudales obra de drenaje transversal y poceta	24
Tabla 16. Verificación hidráulica obra transversal	25
Tabla 17. Bajantes escalonadas encole	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización Sector Caño Fisto.....	5
Figura 2. Polígonos de Thiessen	7
Figura 3. Curvas Intensidad- Duración- Frecuencia	10
Figura 4. Áreas incidentes	11
Figura 5. Vegetación predominante Sector El Condor	13
Figura 6. Coeficientes de escorrentía obras de drenaje	13
Figura 7. Esquema cuneta propuesta tipo 1.....	15
Figura 8. Curva de capacidad vs pendiente para Cuneta Tipo 1.....	16
Figura 9. Esquema bordillo propuesto	16
Figura 10. Curva de capacidad vs pendiente bordillo.....	17
Figura 11. Ficha técnica geotextil NT2500 de Pavco.	23
Figura 12. Ficha técnica geotextil GT150SP-DE2500 de Durman	23
Figura 13. Geometría del flujo en un vertedero de caída	27

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente documento se desarrolla en el marco del cumplimiento del contrato No 290-2021 cuyo objeto comprende el “MEJORAMIENTO E LA VÍA ATACO - PLANADAS EN EL DEPARTAMENTO DE TOLIMA”.

En el presente informe se plantea el diseño de las obras de drenaje transversales y longitudinales requeridas para garantizar el correcto funcionamiento de la vía y su vida útil.

El estudio hidrológico se orientó a la obtención de caudales de diseño para la implementación de las obras requeridas, adicional, los parámetros climatológicos de lluvias para determinación de las intensidades, necesarios para la cuantificación de los caudales de diseño se han obtenido aplicando metodologías ampliamente conocidas y con un grado de aceptación alto en el medio.

Las soluciones se proponen con el fin de conducir adecuadamente los flujos, evitando problemas relacionados con erosión y socavación a la salida de las obras transversales, gestionar el drenaje superficial del terreno aledaño para no comprometer su estabilidad.

En cada capítulo se realiza una explicación de la metodología empleada, presentando consecuentemente los resultados de acuerdo con el orden cronológico escogido.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE

En el presente capítulo se detallan los objetivos generales, específicos y el alcance.

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar los estudios y diseños de hidrología e hidráulica, teniendo en cuenta las características morfológicas, de usos de suelo, cobertura vegetal y precipitación de la zona.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar los caudales de diseño para cada una de las obras transversales y longitudinales requeridas para el manejo de la escorrentía superficial y subsuperficial del corredor vial a intervenir.
- Dimensionar las obras hidráulicas tanto transversales como longitudinales requeridas de acuerdo con los caudales de diseño obtenidos.

2.3. ALCANCE

El presente estudio se concentra en desarrollar las actividades inherentes a los estudios hidráulicos para verificar y conceptuar sobre el comportamiento hidráulico de las obras menores del corredor vial en el tramo establecido.

3. LOCALIZACIÓN GENERAL

El proyecto vial entre Ataco y Planadas se encuentra localizado en el departamento del Tolima, la longitud aproximada de intervención es de 180m entre las abscisas K15+630 y el K15+810; Tiene incidencia el río Atá, corriente permanente que nace en la cordillera Central en los límites de los departamentos de Tolima, Cauca y Huila; esta corriente corre paralela a la vía entre Ataco y Planadas.

La zona tuvo pérdida de banca, por lo cual fue necesario realizar intervención en su talud externo implementando obras de contención, información que no hace parte del ‘presente informe, por otra parte, se hace necesaria la evaluación del talud interno, evaluando la implementación de obras de drenaje longitudinal y transversal en el Sector conocido como Caño Fisto.

En la Figura 1 se puede observar la ubicación del sector objeto de estudio del presente informe.



Figura 1. Localización Sector Caño Fisto

Fuente: Google Earth

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Como información de partida para la complementación del estudio hidrológico, se requiere de datos de lluvias, curvas Intensidad – Duración – Frecuencia y de cartografía. En el presente capítulo se presenta la descripción de la información disponible.

4.2. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

En la zona objeto de estudio se identificaron 3 estaciones cercanas y que se encuentran en funcionamiento, dichas estaciones se presentan en la Tabla 1 .

Tabla 1. Estaciones hidrometeorológicas ubicadas en el área de influencia de la zona de estudio

Código	22027010	22020070	22020040
Nombre	EL CONDOR	EL CONDOR	CASA DE ZINC
Categoría	Limnigráfica	Pluviométrica	Pluviométrica
Estado	Activa	Activa	Activa
Altitud	757	755	1737
Latitud	3.328278	3.328167	3.285806
Longitud	-75.61311	-75.613056	-75.5875
Departamento	Tolima	Tolima	Tolima
Municipio	Ataco	Ataco	Ataco

Fuente: Catalogo_Estaciones_IDEAM.xlsx

En el Anexo 1 se incluyen los datos crudos del IDEAM de la estación EL CONDOR [22020070], utilizada en el presente estudio.

4.3. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

La cartografía disponible corresponde a la plancha 301 a escala 1:100000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC; Al no contar con cartografía detallada, se toman como insumos la topografía e imágenes satelitales obtenidas de Google Earth y ArcGIS.

4.4. EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE DRENAJE

La única obra transversal existente corresponde a una alcantarilla sencilla de 0.90m en la abscisa K15+731. A continuación, en la Tabla 2 se presentan las características principales de la obra.

Tabla 2. Inventario de la obra de drenaje existente

Abscisa	Coordenadas (Origen Nacional)				Tratamiento	Estructura	Ø (m)
	Encole		Descole				
	Norte	Este	Norte	Este			
K15+731	1922272.9200	4709942.4930	1922266.7650	4709950.1350	Existente a reemplazar	Alcantarilla sencilla	0.9

Fuente: K21+100-ortofoto.dwg

La obra se encuentra en mal estado, por lo tanto, se propone su reemplazo.

4.5. POLIGONOS DE THIESSEN

En la Figura 2 se presentan los polígonos de Thiessen utilizados para determinar la estación hidrometeorológica que tiene influencia sobre la zona de estudio. Si bien, la estación CASA DE ZINC [22020040] es la que presenta una influencia directa, al contar con una altitud superior no proporcionaría datos acordes al sitio de intervención, por lo tanto, se trabaja con los datos obtenidos de la estación EL CONDOR [22020070].



Figura 2. Polígonos de Thiessen

Fuente: Elaboración propia

4.6. CURVAS INTENSIDAD- DURACIÓN – FRECUENCIA

Para determinar los caudales de diseño de cada una de las obras, se requiere calcular la intensidad de la precipitación. Para la utilización del método racional se requieren las curvas IDF. Dichas curvas se calculan mediante el método simplificado, especificado en el manual de drenaje del INVIAS, debido a la inexistencia de datos históricos de precipitación de corta duración.

Para Colombia se propone el método que se presenta en el Estudio "Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia". En este estudio se dedujeron

curvas intensidad-duración-frecuencia por correlación con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas, el número promedio de días de lluvia al año, la precipitación total media anual y la elevación de la estación¹.

La mejor correlación obtenida, sin embargo, fue la que se obtuvo con la precipitación máxima promedio anual en 24 horas en una estación, y es la que se propone para los estudios, además de que es la más sencilla de utilizar.

Cuando no se cuenta con datos históricos de lluvias para pluviógrafos en el área de proyecto, se calcularon las curvas intensidad - duración - frecuencia teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

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

En donde:

I: Intensidad de precipitación, mm/h.

T: Periodo de retorno, años.

t: Duración de la lluvia, horas.

M: Promedio de la precipitación máxima anual en 24 horas, mm.

La zona de proyecto se encuentra en la Región 1 (Andina), cuyos parámetros *a, b, c* y *d* son iguales, respectivamente, a 0.94, 0.18, 0.66 y 0.83.

De esta manera, la ecuación anterior queda:

$$I = 0.94 \times \frac{T^{0.18}}{t^{0.66}} \times M^{0.83}$$

Adicionalmente, teniendo en consideración los datos históricos a nivel promedio multianual de la precipitación en 24 h para la estación seleccionada, se ha calculado un valor promedio de la precipitación máxima anual en 24 horas igual a 87.64 mm. En la

Tabla 3 se presentan los valores máximos multianuales de precipitación, información descargada de la página del IDEAM.

El dato obtenido del año 2014 no cuenta con la capacidad de presentar iguales características a las del conjunto de datos, lo que traduce a que, no cuenta con la representatividad necesaria para ser tenido en cuenta, por lo anterior, es excluido al momento de determinar el promedio.

¹ VARGAS M.R., DÍAZ-GRANADOS O.M. Universidad de los Andes, «Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad Duración Frecuencia para Colombia», Bogotá, 1998.

Tabla 3. Valores máximos multianuales de precipitación en 24h – Estación EL CONDOR [22020070]

Año	Precipitación Máxima (mm)	Año	Precipitación Máxima (mm)
1980	80	2002	90
1981	102	2003	126
1982	88	2004	84
1983	73	2005	129
1984	56	2006	85
1985	78	2007	80
1986	60	2008	120
1987	77	2009	97
1988	70	2010	89
1989	90	2011	96
1990	80	2012	96
1991	71	2013	80
1992	115	2014	96
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	2022	119
2001	115	Precipitación media máxima mensual multianual.	87.64

Fuente: Elaboración propia

Con estos valores se han calculado las curvas intensidad - duración - frecuencia, las cuales se presentan en la Tabla 4 y en la Figura 3.

Tabla 4. Datos Curvas IDF estación EL CONDOR [22020070]

Duración	TR 2	TR 5	TR 10	TR 20	TR 25	TR 50	TR 100
5	224.92	265.25	300.50	340.43	354.38	401.47	454.82
10	142.35	167.87	190.18	215.45	224.28	254.08	287.85
15	108.92	128.46	145.53	164.86	171.62	194.43	220.26
20	90.09	106.24	120.36	136.35	141.94	160.80	182.17
25	77.75	91.69	103.88	117.68	122.50	138.78	157.23
30	68.94	81.30	92.10	104.34	108.62	123.05	139.40
35	62.27	73.43	83.19	94.25	98.11	111.15	125.92
40	57.01	67.24	76.17	86.30	89.83	101.77	115.29
45	52.75	62.21	70.48	79.84	83.11	94.16	106.67
50	49.21	58.03	65.74	74.48	77.53	87.83	99.50
55	46.21	54.49	61.73	69.94	72.80	82.48	93.44

Duración	TR 2	TR 5	TR 10	TR 20	TR 25	TR 50	TR 100
60	43.63	51.45	58.29	66.03	68.74	77.87	88.22
65	41.38	48.80	55.29	62.64	65.20	73.87	83.68
70	39.41	46.47	52.65	59.65	62.09	70.34	79.69
75	37.65	44.41	50.31	56.99	59.33	67.21	76.14
80	36.08	42.55	48.21	54.61	56.85	64.41	72.97
85	34.67	40.88	46.32	52.47	54.62	61.88	70.10
90	33.38	39.37	44.60	50.53	52.60	59.59	67.51
95	32.21	37.99	43.04	48.76	50.76	57.50	65.14
100	31.14	36.73	41.61	47.14	49.07	55.59	62.97
105	30.16	35.56	40.29	45.64	47.51	53.83	60.98
110	29.24	34.49	39.07	44.26	46.08	52.20	59.13
115	28.40	33.49	37.94	42.98	44.74	50.69	57.43
120	27.61	32.56	36.89	41.79	43.50	49.29	55.83
125	26.88	31.70	35.91	40.68	42.35	47.98	54.35
130	26.19	30.89	34.99	39.64	41.27	46.75	52.96
135	25.55	30.13	34.13	38.67	40.25	45.60	51.66
140	24.94	29.41	33.32	37.75	39.30	44.52	50.43
145	24.37	28.74	32.56	36.88	38.40	43.50	49.28
150	23.83	28.10	31.84	36.07	37.55	42.54	48.19
155	23.32	27.50	31.16	35.30	36.74	41.63	47.16
160	22.84	26.93	30.51	34.56	35.98	40.76	46.18

Fuente: Elaboración propia

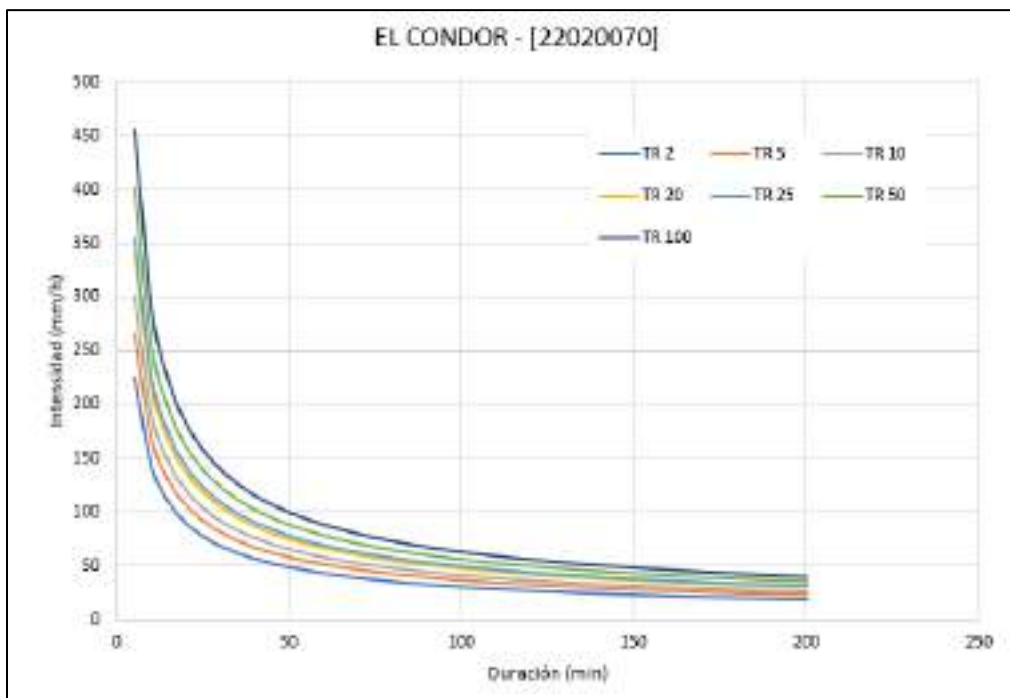


Figura 3. Curvas Intensidad- Duración- Frecuencia

Fuente: Elaboración propia

4.7. ÁREAS DE DRENAJE

En el tramo se identifica una obra transversal, en la cual incide un cauce permanente, adicional, se evidencia un punto bajo por topografía en la abscisa K15+686, lo anterior, corresponde al cierre de dos (2) áreas de drenaje. En la Figura 4 se evidencia el cierre de las mismas y en el Anexo 2 se relaciona el documento en formato .shp.



Figura 4. Áreas incidentes
Fuente: Elaboración propia

4.8. PERIODO DE RETORNO

Los períodos de retorno recomendados en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS son los que se presentan y resaltan en la Tabla 5, para las obras longitudinales a implementar como lo son cunetas se tienen un TR de 5 años, por el contrario, las obras transversales se evaluarán con TR 10 años para alcantarillas sencillas de 0.60 y 0.90m.

Tabla 5. Periodo de retorno recomendado

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) ¹
Cunetas	5
Zanjas de Coronación ²	10
Estructuras de Caída ²	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras, INVIAS

4.9. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

Para adoptar los coeficientes de escorrentía requeridos en el cálculo de caudal, se emplean valores obtenidos del libro Hidrología Aplicada de Ven Te Chow, la vegetación predominante son Bosques (Figura 5), información obtenida del procesamiento del shape "Cobertura_tierra_clc_2018" con topografía predominante pendiente superior a 7%, con estas características se seleccionan los valores para cada cuenca. En la Figura 6 se muestran los valores adoptados.

En lo referente a cunetas y bordillos con losa a los costados de la vía, se emplea un valor de 0.77 para vías y 0.40 para área de taludes.

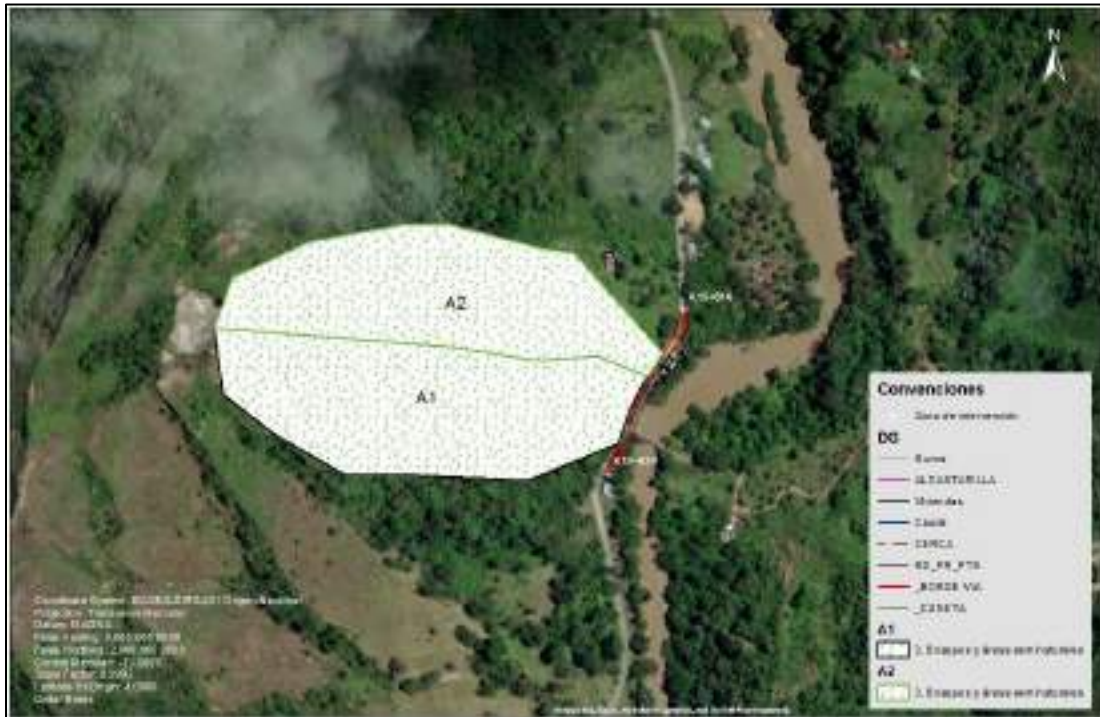


Figura 5. Vegetación predominante Sector El Condor
Fuente: Elaboración propia

Características de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (cobertura de pasto menor del 50% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.32	0.36	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.41	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.45	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición próspera (cobertura de pasto del 50 al 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pantanos							
Plano, 0-2%	0.29	0.31	0.33	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Botques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Nota: Los valores de la tabla son los estándares utilizados en la ciudad de Austin, Texas. Utilizados con autorización.

Figura 6. Coeficientes de escorrentía obras de drenaje
Fuente: Hidrología aplicada, Ven Te Chow

4.10. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración es el tiempo que toma el agua superficial en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés, es decir la obra transversal. Este parámetro fue calculado únicamente con la ecuación de Kirpich, siguiendo las recomendaciones consignadas en el Manual de Drenaje para Carreteras del INVIAS en el cual se especifica “Se requiere que se utilice, desde el punto de vista de la seguridad en relación con menores tiempos de concentración (mayores intensidades de precipitación y/o histogramas de lluvias más concentrados), la fórmula de Kirpich”. En la Tabla 6 se presenta la ecuación básica para el cálculo del tiempo de concentración.

Tabla 6. Ecuación empleada para el cálculo del tiempo de concentración

Fórmula	Ecuación	Parámetros
<i>Kirpich</i>	$T_c = 0,06628 \left(\frac{L_D}{S^{0,5}} \right)^{0,77}$	T_c = Tiempo de concentración de la cuenca (h) L = Longitud del cauce principal (km) S = Pendiente media del cauce principal (m/m)

Fuente: Manual de Drenaje para Carreteras, INVIAS

4.11. CAUDALES DE DISEÑO

El cálculo de los caudales de diseño se realizó teniendo en cuenta el área de drenaje aferente a las obras. Para cuencas con áreas menores de 2.5 km² se utilizó el método racional para el cálculo de los caudales de diseño. Para cuencas con áreas aferentes mayores se utilizó el método del hidrograma unitario.

El método Racional considera como elemento hidrológico la intensidad de la precipitación y el tiempo de concentración de la lluvia y como parámetros fisiográficos el área de drenaje y la cobertura vegetal de la cuenca.

El caudal viene expresado por la siguiente ecuación:

$$Q(m^3/s) = 0.278 \times C \times I \times A$$

Donde:

C: Coeficiente de escorrentía

A: Área de drenaje, km²

I: Intensidad de la lluvia para un tiempo de retorno, mm/h.

Q: Caudal, m³/s.

5. ESTUDIO HIDRÁULICO

A continuación, se presentan la evaluación de las obras hidráulicas tanto existentes como proyectadas en la zona objeto de diseño.

5.1. OBRAS DE DRENAJE LONGITUDINAL

En este capítulo se realizan los cálculos requeridos para la determinación de las obras de drenaje longitudinal, a saber, cunetas y filtros para el drenaje subsuperficial, como complemento importante de las obras propuestas como solución del drenaje de la vía y con el objetivo de conservar y dar garantía de la estructura de pavimento proyectada.

5.1.1. CUNETAS

El diseño se basa en implementar el ancho mínimo con la cuneta a ambos lados de la sección propuesta, de acuerdo con las recomendaciones del Manual de Obras de Drenaje para Carreteras del INVIAS, considerando que se deben tener en cuenta las recomendaciones de pendientes máximas requeridas por cuestiones de seguridad vial.

Se proponen una cuneta tipo 1, propuesta en la mayor parte del tramo a intervenir, cuenta con un ancho total de 1m y una pendiente hacia el costado de la vía del 25%, con lo que se obtiene una altura de 0.25 m, un área de 0.125 m² y un perímetro mojado de 1.28 m. En la Figura 7 se presenta el esquema de la cuneta tipo 1 y en la Figura 8 se presenta la curva de capacidad versus pendiente.

Debido a que la cuneta estará sometida al tráfico vehicular, el espesor deberá ser mínimo de 0.15 m y construida en concreto de 3000 psi y con un refuerzo con malla electrosoldada de 4 mm.

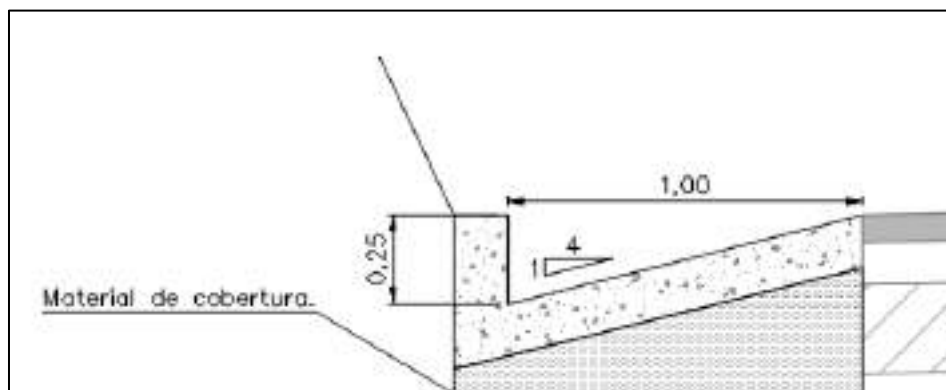


Figura 7. Esquema cuneta propuesta tipo 1
Fuente: Elaboración propia

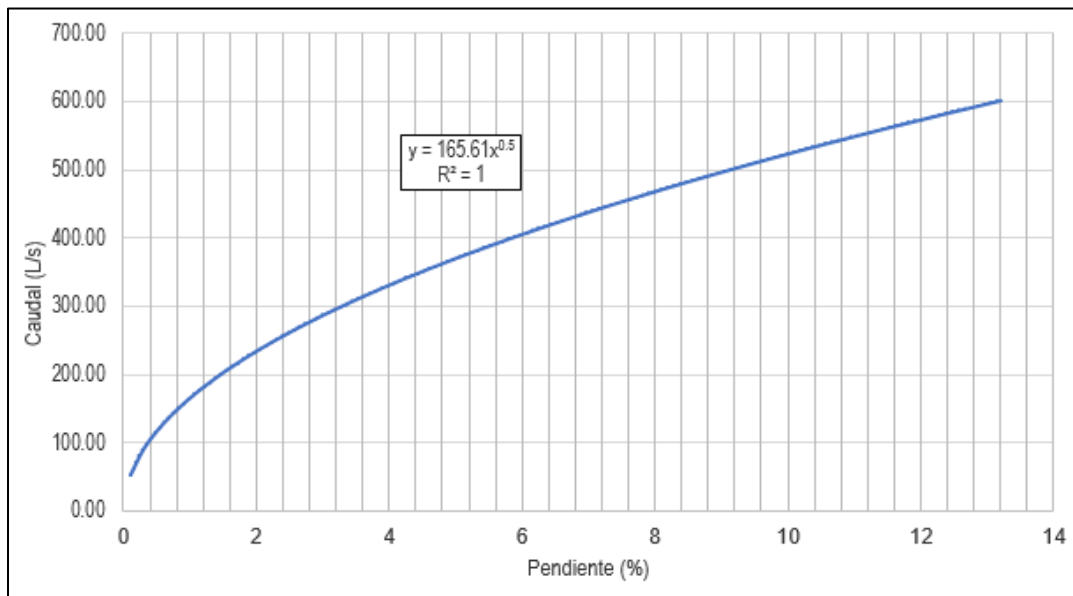


Figura 8. Curva de capacidad vs pendiente para Cuneta Tipo 1

Fuente: Elaboración propia

Se propone adicional a la estructura anterior, una berma de 0.50m con bordillo, la cual hace las veces de cuneta en la vía, la cual será implementada en los casos donde no haya aporte de talud, pero si se reciba aporte de vía. En la Figura 9 se presenta el esquema de la cuneta tipo II y en la Figura 10 se presenta la curva de capacidad versus pendiente.

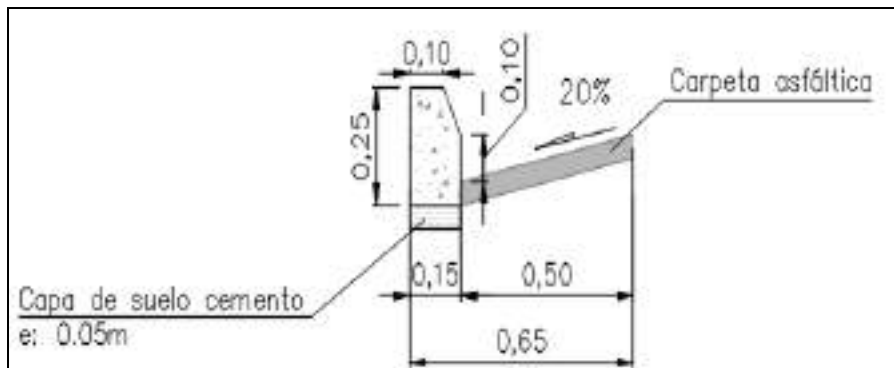


Figura 9. Esquema bordillo propuesto

Fuente: Elaboración propia

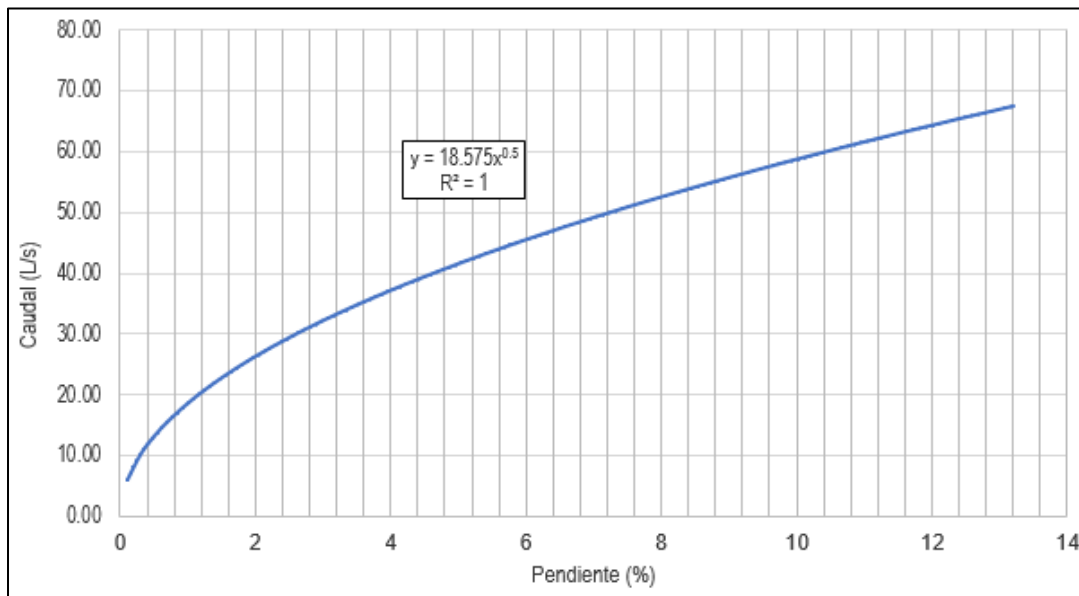


Figura 10. Curva de capacidad vs pendiente bordillo

Fuente: Elaboración propia

Considerando que por lo general las áreas incidentes a las cunetas es inferior a 1 Ha, para la obtención de los caudales de diseño se emplea el método racional

El área aferente incluye la calzada total (6m) o media calzada (3m), varía dependiendo las secciones del diseño geométrico de la vía y el área topográfica aferente a la misma, la proyección horizontal de talud aportante asumirá un valor de 50m, como factor de seguridad. En la Tabla 7 se encuentra consignado el valor de áreas.

Tabla 7. Áreas aferentes a las cunetas

Margen Izquierda		Margen Derecha		Obra receptora	L (m)	Área Ladera (km ²)	C	Área vía (km ²)	C
Abs Inicial	Abs Final	Abs Inicial	Abs Final						
K15+670	K15+630			Descarga a terreno natural	40	0.0020	0.39	0.0002	0.77
		K15+670	K15+630		40		0.39		0.77
K15+670	K15+686			K15+686	15.73	0.0008	0.39		0.77
		K15+670	K15+686		15.73		0.39	0.0001	0.77
K15+686	K15+731			K15+731	45	0.0023	0.39		0.77
		K15+686	K15+731		45		0.39	0.00027	0.77
K15+731	K15+810			Llevar hasta ODT más cercana	79	0.0040	0.39	0.0005	0.77
		K15+731	K15+810		79		0.39		0.77

Fuente: Elaboración propia

Para estas estructuras, no se calcula uno a uno los tiempos de concentración, puesto que como se mencionó con anterioridad, las áreas aferentes son pequeñas, lo que trae consigo propuesta de obras de tamaño y capacidad menor a las obras transversales, con las consideraciones anteriores, se aplica un factor de seguridad, el cual consiste en reducir a 10 min el tiempo mínimo de concentración, fundamentados en la posibilidad

de ocurrencia de eventos torrenciales y críticos en la zona, obteniendo mayores intensidades; El periodo de retorno recomendado por el INVIAS para estas estructuras corresponde a 5 años.

En la Tabla 8 se presenta la verificación hidráulica de las cunetas, tomando en consideración los parámetros descritos en los numerales 4.8 y 4.9; Como se mencionó con anterioridad, se realizó una intervención al talud externo de la vía, motivo por el cual se implementó una estructura de contención, correspondiente a un muro.

En las zonas donde hay propuesta de muro, no se hace necesario implementar obra longitudinal, razón por la cual, en la columna correspondiente a estructura, se encuentran zonas en las cuales dice muro.

Tabla 8. Verificación capacidad hidráulica de las cunetas

Margen Izquierda		Margen Derecha		Obra receptora	L (m)	Área Ladera (km ²)	C	Área vía (km ²)	C	Tc Asumido min	TR años	S longitudinal vía (%)	I mm/h	Q l/s	Estructura	Q máx l/s	Verificación obra longitudinal
Abs Inicial	Abs Final	Abs Inicial	Abs Final														
K15+670	K15+630			Descarga a terreno natural	40	0.0020	0.39	0.0002	0.77	10	5	0.45	167.87	45.03	Cuneta Tipo I	111.09	Ok
		K15+670	K15+630		40		0.39		0.77	10	5	0.45	167.87	0.00	No se requiere	-	-
K15+670	K15+686			K15+686	15.73	0.0008	0.39		0.77	10	5	3.31	167.87	14.31	Cuneta Tipo I	301.11	Ok
		K15+670	K15+686		15.73		0.39	0.0001	0.77	10	5	3.31	167.87	3.39	Muro	-	-
K15+686	K15+731			K15+731	45	0.0023	0.39		0.77	10	5	1.63	167.87	41.20	Cuneta Tipo I	211.74	Ok
		K15+686	K15+731		45		0.39	0.00027	0.77	10	5	1.63	167.87	9.77	Muro	-	-
K15+731	K15+810			Llevar hasta ODT más cercana	79	0.0040	0.39	0.0005	0.77	10	5	1.08	167.87	88.94	Cuneta Tipo I	171.78	Ok
		K15+731	K15+810		79		0.39		0.77	10	5	1.08	167.87	0.00	No se requiere	-	-

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. SUBDRENAJE

De acuerdo con topografía de la zona, se necesitan filtros franceses, en ambos costados de la vía en las zonas encajonadas o en el costado de aporte de la ladera.

El caudal de diseño aferente a los filtros está compuesto por el caudal de infiltración y el caudal generado por el abatimiento del nivel de agua subterránea.

CÁLCULO DEL CAUDAL POR INFILTRACIÓN

El caudal de infiltración se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Q_{inf} = I_R \times B \times L \times F_i \times F_R$$

Siendo,

$I_R(m/s)$ = intensidad de precipitación máxima horaria de frecuencia anual, registrada en la zona del proyecto. La información se obtiene de las curvas IDF de la zona y generalmente se toma una duración entre 60 y 120 minutos y se escoge la curva de 2 años de período de retorno. Teniendo en cuenta las curvas IDF de la estación El Condor para una duración de 60 minutos, se obtiene una intensidad 43.63 mm/h.

$B(m)$ corresponde a la semibanca de la vía. Se asumió un valor de 3.0 m.

$L(m)$ longitud del tramo de drenaje, es decir la longitud entre obras transversales.

F_i = Factor de infiltración según los valores de la Tabla 9. Se asumió un valor de 0.50, correspondiente a carpetas asfálticas pobremente conservadas, para condiciones luego de la construcción y asumiendo condiciones poco favorables.

F_R = factor de retención de la base (ver Tabla 10). Refleja el hecho de que las bases, dado su tiempo de servicio, disminuye su permeabilidad. Se asumió un valor de 1/3, correspondiente a bases bien gradadas de menos de 5 años.

Tabla 9. Valores del Factor de Infiltración

Tipo de Carpeta	F_i
Carpetas asfálticas muy bien conservadas	0.30
Carpetas asfálticas normalmente conservadas	0.40
Carpetas asfálticas pobremente conservadas	0.50
Carpetas de concreto de cemento Portland	0.67

Tabla 10. Valores recomendados para el factor de retención de la base

Tipo de Base	F_a
Bases bien gradadas, en servicio 5 años o más	1/4
Bases bien gradadas, en servicio menos de 5 años	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio 5 años o más	1/3
Bases de gradación abierta, en servicio menos de 5 años	1/2

CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO

El caudal debido a un nivel freático (Q_{NF}) se calcula como:

$$Q_{NF} = k \times i \times A_a$$

Siendo,

k el coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente. Se recomienda valores de permeabilidad en el rango de 1×10^{-5} a 1×10^{-7} cm/s.

i es el gradiente hidráulico.

N_d corresponde a la cota inferior del subdrén. Inicialmente se asumió que el subdrén estará a una profundidad de 2m con respecto a la rasante.

N_r es la cota superior del nivel freático. Se asume un valor crítico de 0.30 m.

A_a es el área efectiva para el abatimiento del nivel freático.

$$i = \frac{N_d - N_r}{B}$$

$$A_a = (N_d - N_r) \times L$$

Debido a que el caudal por abatimiento del nivel freático generalmente se presenta a cada lado de la sección transversal del filtro, se debe duplicar el caudal de diseño.

El caudal total será:

$$Q_T = Q_{inf} + 2Q_{NF}$$

DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

El caudal total se calcula como:

$$Q_T = V \times i \times A$$

Siendo,

Q_T el caudal total.

V es la velocidad de flujo, que depende de la pendiente longitudinal y del tamaño del agregado usado en el subdrén.

i es el gradiente hidráulico que para el caso del subdrenaje es igual a 1.

A es el área de la sección transversal del subdrén. Se ha asumido una sección de filtro de 0.60 m de ancho x 1.5 m de alto.

EVALUACIÓN DEL GEOTEXTIL A UTILIZAR²

Criterio de permeabilidad

Para condiciones de flujo estable o flujo laminar y suelos no dispersivos, con porcentajes de finos no mayores al 50 %, el criterio de permeabilidad se define como:

$$k_g > k_s$$

Siendo k_g la permeabilidad del geotextil y k_s la permeabilidad del suelo.

Mientras que, para condiciones de flujo crítico, altos gradientes hidráulicos y con el objetivo de reducir el riesgo de colmatación, se recomienda que:

$$k_g > 10 \times k_s$$

$$k_g = 0.0001 \text{ cm/s}$$

Criterio de supervivencia

De acuerdo con la norma 673-07 el INVIAS, los geotextiles deben cumplir como mínimo con los valores que se especifican en la Tabla 11.

Tabla 11. Especificaciones generales de construcción de carreteras

Propiedad	Resistencia a la tracción (Tabi)	Resistencia a la costura	Resistencia a la penetración con pistón 50mm de diámetro	Resistencia al rasgado trapezoidal
Norma de ensayo	INVE - 901	INVE - 902	INVE - 913	INVE - 903
Valor mínimo promedio por rollo	700 N	630 N	1375 N	250 N

² Tomado de http://www.geosoftpavco.com/manual_geosinteticos_files/OEBPS/ibook_split_011.xhtml

Tabla 12. Estimación del caudal del filtro

Margen Izquierda		Obra receptora	L (m)	S longitudinal vía (%)	QINF (m³/s)	Caudal freático			QT m³/s	Dimensionamiento filtro						FILTRO	
Abs Inicial	Abs Final					i	A	2QNF		V	A	h	b	Q máx filtro (m³/s)	Evaluación	Ø tubería (mm)	Ubicación
K15+670	K15+630	Descarga a terreno natural	40	0.45	0.0007	0.56667	68.00	7.71E-06	7.35E-04	1.45	0.9	1.5	0.6	1.31	Ok	100	Izquierda
K15+670	K15+686	K15+686	15.73	3.31	0.0003	0.56667	26.74	3.03E-06	2.89E-04	1.05	0.9	1.5	0.6	0.95	Ok	100	Izquierda
K15+686	K15+731	K15+731	45	1.63	0.0008	0.56667	76.96	8.72E-06	8.32E-04	0.52	0.9	1.5	0.6	0.47	Ok	100	Izquierda
K15+731	K15+810	Llevar hasta ODT más cercana	79	1.08	0.0014	0.56667	134.30	1.52E-05	1.45E-03	0.35	0.9	1.5	0.6	0.35	Ok	100	Izquierda

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla anterior, el filtro tendrá tubería perforada en PVC de 100 mm hasta pendientes longitudinales del 7.0 % y tramos hasta de 150 m de longitud, para longitudes y pendientes mayores el diámetro de la tubería deberá ser de 150 mm o doble de 100 mm. Se recomienda que el geotextil sea del tipo no tejido NT2500 (ver ficha técnica en Figura 11) o GT150SP-DE2500 (ver ficha técnica en Figura 12) o similar. La ubicación del filtro aquí propuesta deberá ser revisada en campo, teniendo en cuenta que se construirá filtro en las zonas encajonadas a lado y lado de la vía y en las zonas con aporte significativo de los taludes. El material filtrante deberá estar conformado por grava de ¾" a 3" de diámetro.

Figura 11. Ficha técnica geotextil NT2500 de Pavco.

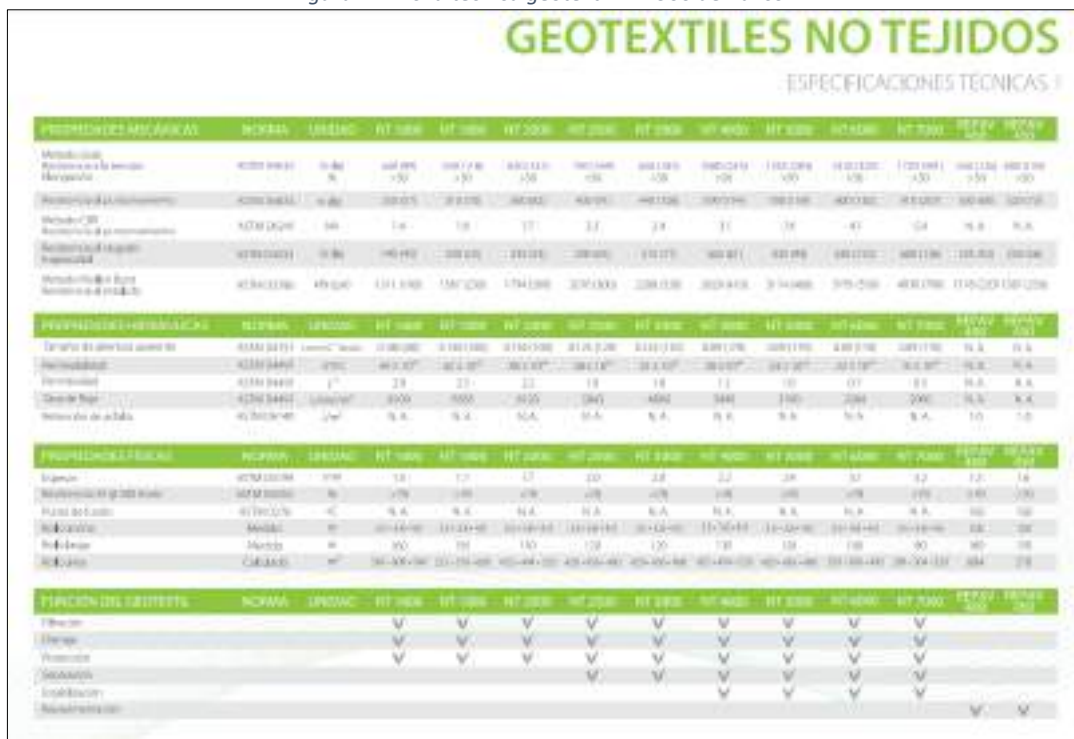


Figura 12. Ficha técnica geotextil GT150SP-DE2500 de Durman



5.2. OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

Teniendo en cuenta la base cartográfica y el trazado de la calzada existente, se determinaron las características de las cuencas aferentes a las obras transversales propuestas, incluyendo los parámetros morfométricos de pendiente y longitud del cauce principal, área de la cuenca y tiempos de concentración.

De acuerdo con la configuración de drenaje propuesta, se identificó la necesidad de una (1) obra de drenaje transversal, puesto que hay punto bajo en el terreno, sin embargo, la misma no puede ser implementada en su totalidad, por lo cual se propone únicamente la estructura de entrada, la cual funcionara como un vertedero, para distribuir el caudal captado a la obra de drenaje longitudinal.

Por otra parte, existe una obra de drenaje ubicada en la abscisa K15+731, en la cual tiene incidencia un cauce permanente, identificado por topografía, la misma en la actualidad se encuentra en mal estado, por lo que se propone su reemplazo. En la Tabla 13 se presenta la ubicación de las obras, al igual que áreas aferentes.

Tabla 13. Áreas de las cuencas aferentes a poceta y ODT

ID Cuenca	Abs	Factores de área				Cota Máxima	Cota Mínima	Factores de forma			S media de la cuenca	
		área		Perímetro				Caída de la cuenca (Hc)	Longitud cuenca			
		Km²	m²	m	Km				m	Km	m/m	%
A1	K15+686	0.04573	45725	993.56	0.99	989	805	184	425.38	0.43	0.46	45.71
A2	K15+731	0.04017	40169	996.87	1.00	986	801	185	436.65	0.44	0.40	39.93

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 14 se presenta el cálculo del tiempo de concentración para cada una de las cuencas aferentes, considerando como mínimo tiempo de concentración 15 minutos.

Tabla 14. Tiempo de concentración de las cuencas aferentes a las obras transversales estudiadas

ID Cuenca	Abscisa	Área.	Longitud cuenca		Cotas		Pendiente	Tc		
		km ²	m	km	Superior	Inferior		Kirpich (h)	Promedio (min)	Asumido (min)
A1	K15+686	0.04573	425.38	0.43	989	805	0.46	0.05	2.78	15.00
A2	K15+731	0.04017	436.65	0.44	986	801	0.40	0.05	2.99	15.00

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 15 se presenta el cálculo de los caudales correspondientes a las áreas de drenaje consideradas.

Tabla 15. Caudales obra de drenaje transversal y poceta

ID Cuenca	Abscisa	Área.	Coeficiente de escorrentía		Tc	Intensidad (mm/h)	Método	Caudal de diseño		Obra Final (m)
		km²	Cobertura	TR10	Asumido (min)	TR 10		m³/s	l/s	
								TR 10	TR 10	
A1	K15+686	0.04573	Bosques	0.41	15.00	145.53	Racional	0.7728	772.7600	Poceta 1x1
A2	K15+731	0.04017	Bosques	0.41	15.00	145.53	Racional	0.7075	707.4854	Alcantarilla sencilla 0.9

Fuente: Elaboración propia

El diseño de la alcantarilla consiste en determinar el diámetro más económico que permita pasar el caudal de diseño sin exceder la carga máxima (Hw), atendiendo también criterios de arrastre de sedimentos y de facilidad de mantenimiento. La carga de entrada (Hw) corresponde a la profundidad del agua, medida desde la cota batea. Para evitar la sumergencia en la estructura, los valores de Hw/D deben ser inferiores a 1.20, siendo D el diámetro o altura de la estructura.

Las alcantarillas están compuestas por las estructuras de entrada y salida, el conducto o tubería de cruce propiamente dicho y las obras complementarias de encoles y descoles que conducen el agua hacia o desde la alcantarilla, respectivamente. En la Tabla 16 se resumen los resultados de la evaluación de la capacidad hidráulica de la obra transversal.

Tabla 16. Verificación hidráulica obra transversal

ID Cuenca	Abscisa	Caudal de diseño		Estructura	Ø (m)	Rasante	Cota batea		L	S	Rugosidad	Hw	Hw/D
		m³/s	l/s				Encole	Descole					
		TR 10	TR 10										
A2	K15+731	0.7075	707.4854	Alcantarilla sencilla	0.9	810.07	807.6	807.51	9.39	1.0	0.016	0.79	0.88

Fuente: Elaboración propia

El caudal de la cuenca A1 será captado por una estructura de entrada, tipo poceta, encargada de encauzar el caudal a las obras de drenaje longitudinal propuestas, la cuales realizarán sus descargas en la obra de drenaje transversal más cercana.

En el Anexo 3 se presenta la ubicación de las obras propuestas en planta – perfil con los respectivos detalles.

5.3. OBRAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

De acuerdo con la implantación de las obras propuestas y con lo observado en las visitas de campo realizadas, se identificó la necesidad de adecuar el encole de la obra transversal y la poceta propuesta, debido a que se evidencian pendientes pronunciadas:

K15+686 – Poceta de 1m x 1m

K15+731 – Alcantarilla sencilla de 0.90m

A partir del caudal de diseño se deberá calcular el caudal unitario (q) que corresponde al caudal por unidad de ancho de cresta de caída a partir de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{Q}{B}$$

Dónde:

Q=Caudal de diseño (m³/s)

B=Ancho del canal, m

Una vez se obtenga el caudal unitario, se tienen las siguientes funciones del número de caída, las cuales describen la geometría del flujo en vertederos de caída recta³

$$D = \frac{q^2}{g * h^3}$$

Dónde:

g=aceleración de la gravedad.

h=altura de la caída

$$\frac{L_d}{h} = 4.30 * D^{0.27}$$

$$\frac{Y_p}{h} = 1.0 * D^{0.22}$$

$$\frac{Y_1}{h} = 0.54 * D^{0.425}$$

$$\frac{Y_2}{h} = 1.66 * D^{0.27}$$

Donde,

Ld= Longitud de caída, corresponde a la distancia desde el muro de caída hasta la posición de la profundidad Y1

Y1=Profundidad al pie de la napa o inicio del salto hidráulico

Yp=Profundidad del estanque bajo la napa.

Y2=Profundidad secuentes a Y1 aguas abajo.

En la Figura 13 se muestra la geometría del flujo en el vertedero de caída.

³ Ecuación (15-9) a (15-13), Chow, V.TT., (1994). Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill

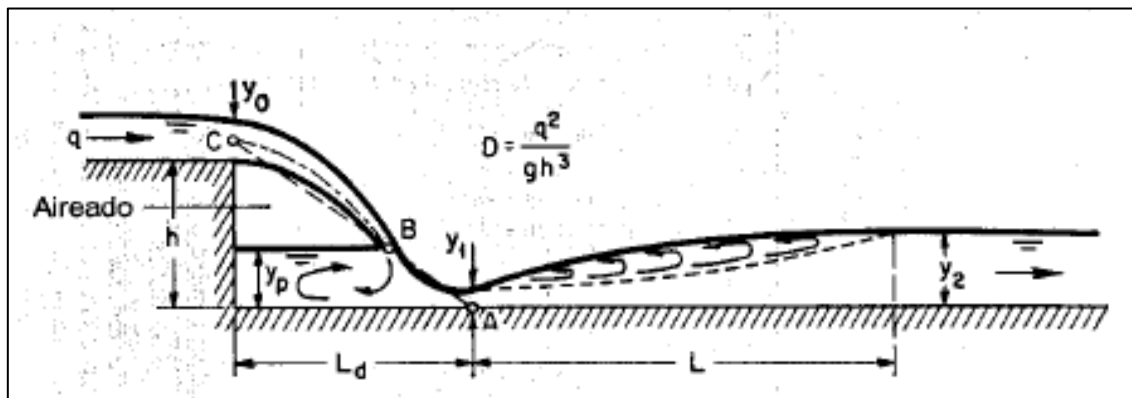


Figura 13. Geometría del flujo en un vertedero de caída
Fuente: Hidráulica de canales abiertos, Ven Te Chow

Se definen los parámetros de B, contrahuella máxima y huella mínima como se muestra en la Tabla 17, los cuales serán ajustados para cada obra en particular.

Tabla 17. Bajantes escalonadas encole

Cuenca	ABS	Obra	Q (m³/s)	q (m³/s)	B (m)	Contrahuella máxima (m)	g (m/s²)	D (-)	Ld (m)	Yp (m)	Y1 (m)	Y2 (m)	Huella mínima (m)	Muro
A1	15+686	Poceta 1mx1m	0.77	0.773	1	1	9.81	0.06	1.00	0.54	0.16	0.78	2.90	0.70
A2	15+731	Alcantarilla sencilla 0.9m	0.71	0.707	1	1	9.81	0.05	1.93	0.52	0.15	0.74	2.80	0.70

Fuente: Elaboración propia

Revisando la topografía que se tiene en estas obras, se identifica la imposibilidad de implementar huellas que contemplen la longitud total, por esto, se propone una escalonada con contrahuella máxima de 1m y huellas que oscilan entre 1 y 2m, la cual contará con pantallas deflectoras.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con el estudio de hidrología e hidráulica de las obras de drenaje transversal y longitudinal de la vía ATACO-PLANADAS se concluye lo siguiente:

- ❖ Las metodologías empleadas para el procesamiento de la información básica disponible y para la obtención de los parámetros hidráulicos e hidrológicos, objeto del presente estudio, son de amplia utilización en la práctica profesional para proyectos similares y son aceptados teniendo en cuenta la calidad de los resultados normalmente obtenidos. Se debe revisar posibles cambios en la topografía en el momento de la construcción, que puedan modificar las condiciones iniciales de diseño.
- ❖ Por otro lado, todos los parámetros de cálculo y diseño han sido estimados para periodos de retorno, definidos de acuerdo con la importancia de la obra, y a lo recomendado en el manual de drenaje del INVIAS, 2009.
- ❖ Existen variables dinámicas en el tiempo que son fundamentales en la estimación de los caudales de diseño, tales como la cobertura y usos del suelo, los cuales pueden modificarse sustancialmente durante la vida útil de las obras propuestas. Estas modificaciones cambian la capacidad de respuesta en las cuencas al evento de lluvia que no pueden ser previsibles durante la ejecución de los diseños.
- ❖ Las pendientes empleadas para el cálculo del tiempo de concentración, fueron obtenidas mediante el programa ArcGIS versión 10.8, procesando un DEM de la NASA, los mismos pueden ser confirmados en el Anexo 2.2.
- ❖ El presente estudio podrá ser objeto de modificaciones y actualizaciones en la medida que se detecten en campo condiciones diferentes a las adoptadas para los análisis.
- ❖ Se proyectó en total una poceta, debido a que se identificó por topografía un punto bajo en el terreno, por otra parte, hay un cauce permanente que entregará sus aguas a una alcantarilla existente, la cual se reemplazará por su estado.
- ❖ La totalidad de las obras existentes y proyectadas deben ser adecuadas para descargar las cunetas propuestas.
- ❖ Se proponen dos tipos de drenaje longitudinal, correspondientes a cunetas triangulares y bordillo.
- ❖ En los encoles de las obras propuestas se propone la implementación de canales escalonados, los cuales cumplen la función de disipar energía, debido a las pendientes pronunciadas.

- ❖ Se debe garantizar el correcto drenaje de las obras longitudinales y transversales aquí propuestas.
- ❖ Las obras de drenaje deben presentar mantenimiento constante, evitando acumulación de sedimentos.

Cordialmente,



NATHALIA BUITRAGO MEDINA.
Especialista en Hidrología e Hidráulica.
M.P. 25202147745 CND

7. ANEXOS

7.1 Anexo 1. Información IDEAM E IGAC

7.2 Anexo 2. Áreas de drenaje

Anexo 2.1 Coberturas

Anexo 2.2 Pendientes

7.3 Anexo 3. Planos