



ESTUDIOS DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA, VÍA ATACO – PLANADAS SITIO CRÍTICO K28+900

MEMORIA DE CÁLCULO- VERSIÓN 1

CONTRATO DE OBRA -209



INVIAS
INSTITUTO NACIONAL DE VIAS

MAYO DE 2022

FORMATO DE REVISIÓN			
ELABORÓ		VERSIÓN	FECHA
Ing Civil Magíster en Recursos Hidráulicos	Nathalia Buitrago Medina MP. 25202-147745CND	0	Mayo de 2022

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	OBJETIVOS Y ALCANCE	5
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2.2	ALCANCE	5
2.3	ZONA DE ESTUDIO.	6
3	CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA.....	8
3.1	PRECIPITACIÓN	9
3.2	TEMPERATURA	10
3.3	HUMEDAD RELATIVA.....	10
4	SOLUCIÓN DE INGENIERÍA.....	11
6.	ESTUDIOS HIDROLÓGICOS	12
4.1	RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.....	12
4.2	CARTOGRAFÍA.	12
4.3	ZONA DE INTERVENCION.	12
7	DETERMINACIÓN CAUDALES DE DISEÑO	14
7.1	ÁREA DE DRENAJE.....	14
7.2	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	16
7.3	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA	17
7.4	CURVAS IDF.....	19
7.5	INTENSIDAD.....	22
7.6	CÁLCULO DE CAUDAL.....	22
8	ESTUDIOS HIDRÁULICOS.....	23
8.1	DRENAJE LONGITUDINAL	23
8.2	CUNETAS	23
8.3	DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL.....	25
8.4	OBRAS TRANSVERSALES COMPLEMENTARIAS	26
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
10	ANEXOS.....	30
	ANEXO 1 DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS	30
	ANEXO PLANOS DE IMPLANTACIÓN DE OBRAS DE DRENAJE.....	30

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones hidrometeorológicas.....	7
Tabla 2. Caracterización de las estaciones incidentes en el área de estudio.	8
Tabla 3. Registro Fotográfico	13
Tabla 4. Características geométricas de las Áreas	15
Tabla 5. Tiempo de concentración	17
Tabla 6. Parámetros de a, b, c y d para la región Andina.	20
Tabla 7. Serie de datos estación Santiago Pérez [22020050], valor de M.....	20
Tabla 8. Valores de intensidades calculadas para la estación Santiago Pérez [22020050].	21
Tabla 9. Intensidad calculada.....	22
Tabla 10. Caudal calculado	22
Tabla 11. Parámetros iniciales para tramos de cuneta vía proyectada.	25
Tabla 12. Verificación de la capacidad hidráulica cunetas de vía proyectada	25
Tabla 13. Resultados modelación hidráulica	26
Tabla 14. Bajantes escalonadas.....	27
Tabla 15 Dimensiones de canales escalonados.	28

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 . Ubicación general de la zona de estudio en el dpto. del Tolima.	6
Ilustración 2 Polígonos de Thiessen.....	7
Ilustración 3 Ubicación de las estaciones incidentes Santiago Pérez [2202005] Mesa De Pole [22055020].	– 8
Ilustración 4 Histograma de precipitación. Santiago Pérez [2202005]	9
Ilustración 5 Histograma de temperatura.....	10
Ilustración 6 Histograma de humedad relativa.	11
Ilustración 7 Áreas de drenaje para el área de intervención.	14
Ilustración 8 Cobertura vegetal para la cuenca del sector PR28+900.....	17
Ilustración 9 Coeficiente de escorrentía.	18
Ilustración 10 Curvas IDF - Estación Santiago Pérez [22020050].....	21
Ilustración 11 Sección Cuneta Tipo 1	23
Ilustración 12 Curva Cuneta Tipo 1	24

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe hace referencia al sitio crítico presente en el PR 28+900 de la vía Ataco – Planadas, se pretende mostrar los resultados de los estudios de Hidrología e Hidráulica, se presentan caudales de diseño, dimensionamiento de obras hidráulicas longitudinales y transversales requeridas para corregir la problemática en el sitio que ha desarrollado un proceso de inestabilidad que ocasiona la pérdida de banca.

2 OBJETIVOS Y ALCANCE

Presentar las obras de drenaje requeridas para la estabilización del sector del PR 28+900 de la vía Ataco – Planadas en el departamento del Tolima.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las cuencas de drenaje incidentes para Incidentes a las obras de drenaje que tienen como punto de concentración la vía la vía y para las estructuras hidráulicas existentes.
- Calcular los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno en función de las obras hidráulicas presentes y proyectadas en el sector.
- Desarrollar el estudio hidrológico de la zona, inventario y evaluación del estado de las obras existentes.
- Determinar y evaluar las obras de drenaje longitudinal y transversal complementarias en el tramo intervenido.

2.2 ALCANCE

El presente informe tiene como alcance la determinación de los caudales de diseño y el dimensionamiento hidráulico de las obras de drenaje requeridas para garantizar el tráfico vehicular en la banca vial sobre el PR28+900 corredor Ataco – Planadas en función del diagnóstico realizado con las especialidades de geotecnia y el diseño geométrico del tramo.

2.3 ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Tolima, entre los municipios de Ataco y Planadas en cercanías a la vereda Santiago Pérez perteneciente al Municipio de Ataco, esta es una zona con terreno montañoso, escarpado, y se caracteriza por la presencia de cuerpos de agua, esta zona se muestra en la Ilustración 1.

Ilustración 1 . Ubicación general de la zona de estudio en el dpto. del Tolima.



Fuente: Elaboración propia.

Se cuenta con información histórica de siete (7) estaciones hidrometeorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, las cuales serán descritas en la Tabla 1, e ilustradas en la Ilustración 2.

Tabla 1. Estaciones hidrometeorológicas.

Código	22017020	22037010	22057050	22055020	22020050	22020070	22050080
Nombre	Las Sardinias	La Esperanza	Puente la hamaca	Mesa de pole	Santiago Pérez	El Condor	Pan de Azúcar
Categoría	Limnigráfica	Limnigráfica	Limnimétrica	Climática Ordinaria	Pluviométrica	Pluviométrica	Pluviométrica
Tecnología	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional	Convencional
Estado	Activa	Activa	Activa	Activa	Activa	Activa	Activa
Latitud	3,43	3,47	3,46	3,45	3,39	3,33	3,38
Longitud	-75,69	-75,58	-75,52	-75,53	-75,60	-75,61	-75,51
Altitud	817	563	569	699	732	755	1800
Departamento	Tolima	Tolima	Tolima	Tolima	Tolima	Tolima	Tolima
Municipio	Rioblanco	Rioblanco	Ataco	Ataco	Ataco	Ataco	Ataco

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 2 Polígonos de Thiessen.



Fuente: Elaboración propia.

3 CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA.

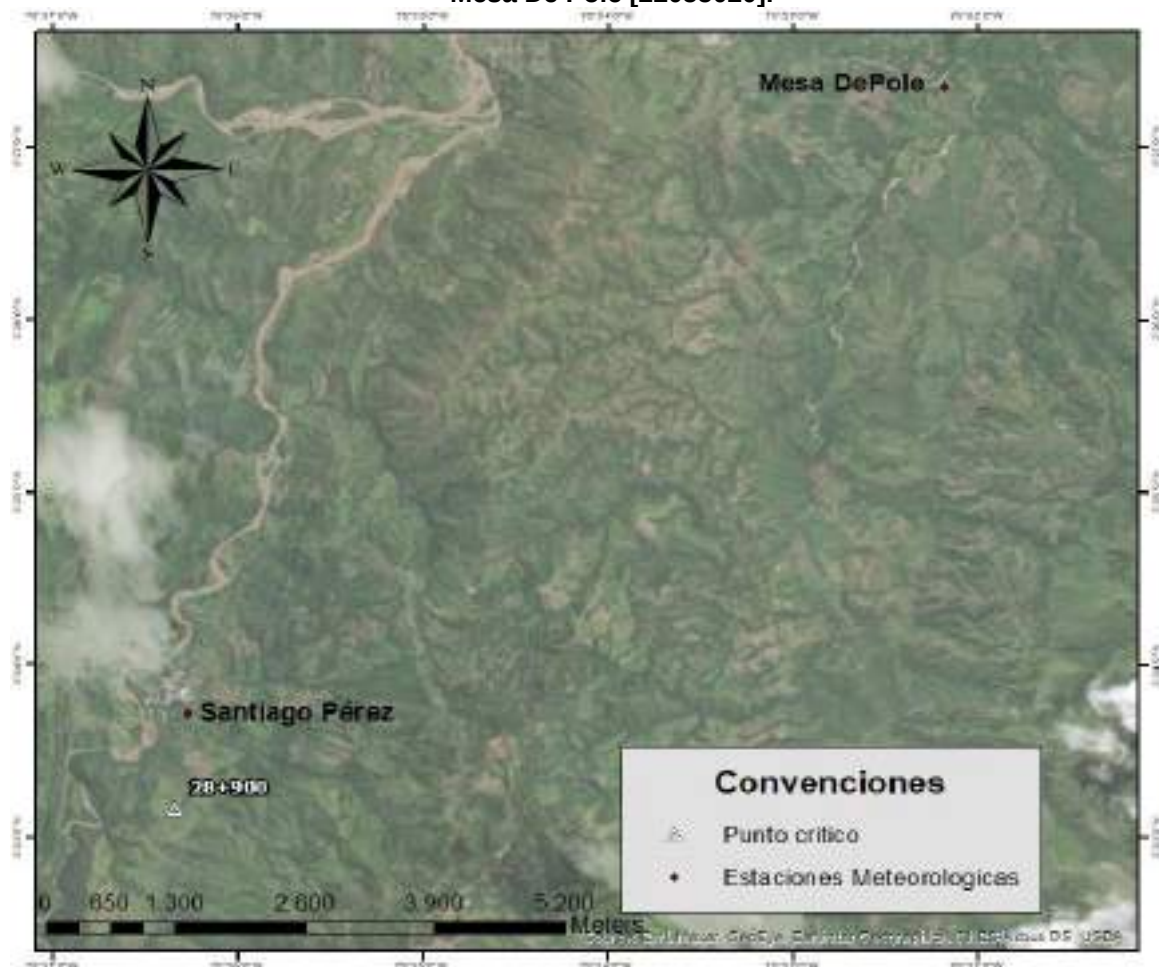
Como se mencionó en el numeral anterior, se identificaron 7 estaciones cercanas a la zona de estudio, la caracterización climática de la zona se realizará con información tomada de las estaciones: Santiago Pérez [22020050] y Mesa de Pole [22055020], cuyas características se muestran en la Tabla 2, dichas estaciones se encuentran ubicadas cerca del punto crítico. La estación Santiago Pérez solo brinda datos de precipitación, debido a esto se complementa con la estación Mesa de Pole, sus ubicaciones se muestran en la siguiente imagen (

Ilustración 3).

Tabla 2. Caracterización de las estaciones incidentes en el área de estudio.

CÓDIGO ESTACIÓN	NOMBRE	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	CATEGORIA	ENTIDAD	FECHA DE INSTALACIÓN
22020050	Santiago Pérez	3,395	-75,60	732	Pluviométrica	IDEAM	15/10/1975
22055020	Mesa de pole	3,455	-75,54	699	Climática Ordinaria	IDEAM	15/03/1968

Ilustración 3 Ubicación de las estaciones incidentes Santiago Pérez [2202005] – Mesa De Pole [22055020].



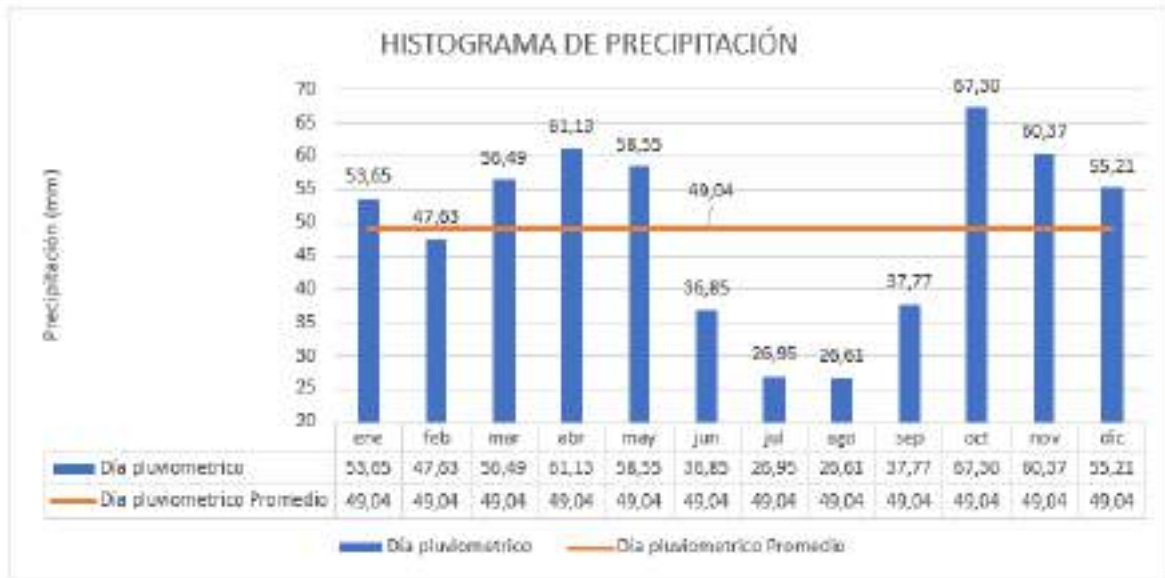
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan gráficas ilustrativas acerca de la climatología de la zona crítica desarrolladas a partir de información suministrada por el IDEAM.

3.1 PRECIPITACIÓN

La Ilustración 4 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** representa la media de los valores máximos mensuales de precipitación, lo que lleva a concluir que el régimen de lluvias en el municipio es bimodal, con dos picos de precipitación marcados en los meses de abril y octubre.

Ilustración 4 Histograma de precipitación. Santiago Pérez [2202005]



Fuente: Elaboración propia.

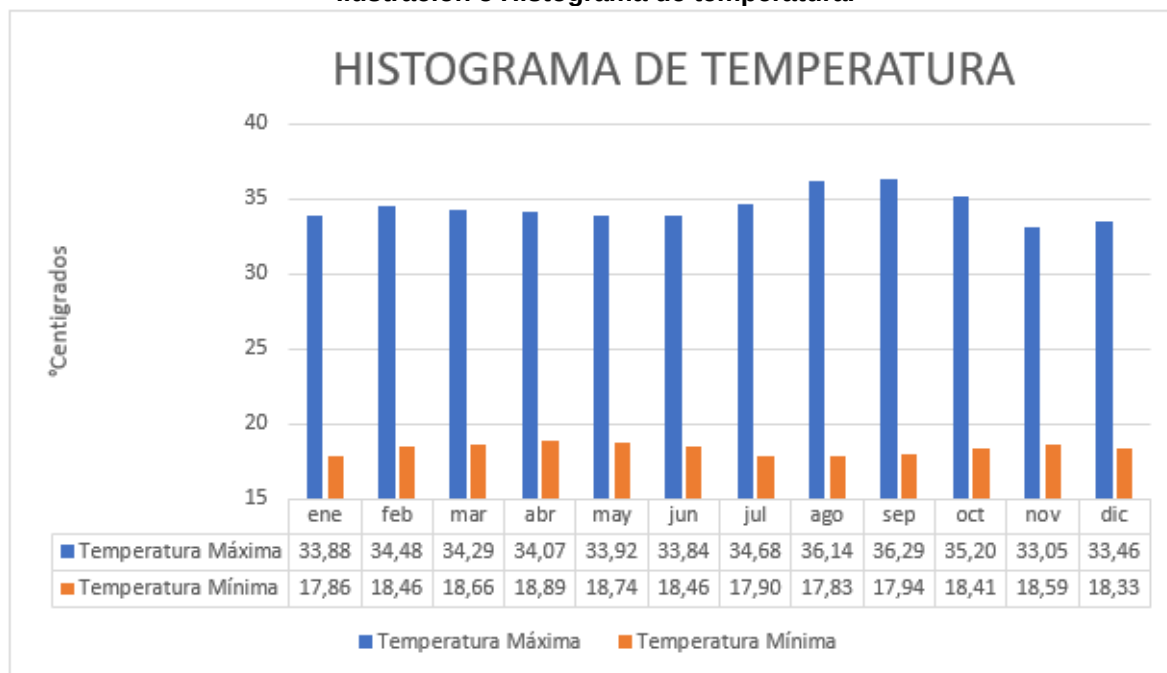
La Ilustración 4 indica que, los meses de mayor precipitación, son abril y octubre con los valores de 61.13 mm y 67.30 mm respectivamente. Mientras que, el mes de menor precipitación es agosto, con un valor de 26.61 mm, demostrando que la temporada más seca se refiere a los meses entre junio y septiembre, el valor promedio mensual es de 49.04 mm.

3.2 TEMPERATURA

En la Ilustración 5 se presenta el histograma de temperatura, a partir de los datos procesados, se evidencia que el régimen de temperatura es bimodal tanto para las temperaturas máximas, como para las mínimas, se muestran dos picos de temperaturas altas en los meses de febrero con 34.48°C y septiembre con 36.29 °C.

Los valores menores de temperatura se registran en enero con 17.86 °C y en agosto con valores de 17.83 °C.

Ilustración 5 Histograma de temperatura.



Fuente: Elaboración propia

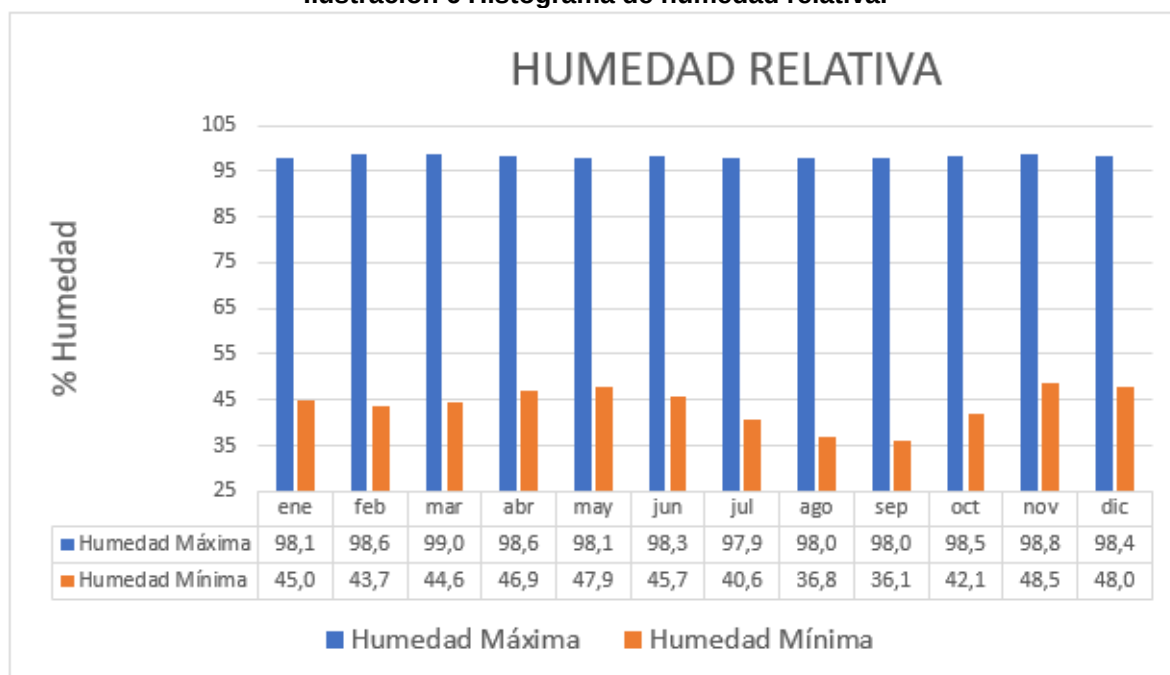
3.3 HUMEDAD RELATIVA

Los datos presentados en la

Ilustración 6 indican que el porcentaje máximo de humedad relativa es constante y oscila entre el 98 y 99% mientras que los valores de humedad mínima sí presentan variación,

teniendo un valor de 36% en el mes de septiembre, para luego presentarse un valor mínimo pico de 48.5% en el mes de noviembre.

Ilustración 6 Histograma de humedad relativa.



Fuente: Elaboración propia

Los criterios de evaporación y brillo solar, no se expondrán en el presente informe, debido a que las estaciones estudiadas no poseen dichos datos.

4 SOLUCIÓN DE INGENIERÍA.

En el lugar ubicado en la vía Ataco- Planadas PR 28+900 se encuentran localizadas varias obras de paso hídrico, las cuales no se encuentran en óptimas condiciones, por ende, no permiten el drenaje necesario para la zona, causando inestabilidad en el sitio, provocando que la zona tenga movimientos de tierra, los cuales afectan directamente las estructuras presentes.

Se eliminarán las descargas hídricas directas al sitio inestable, se direccionarán los cauces por medio de elementos que controlen su dirección y características propias. Esto se logrará con un canal disipador que captará el cauce ubicado en el K29+778 por el talud superior, este lo entregará a una poceta la cual también recibirá el aporte de la cuneta derecha de la

vía. Estos aportes hídricos se transportarán mediante un canal cerrado paralelo a la vía, hasta un box culvert nuevo en el K29+842 que reemplazaría la alcantarilla existente, el cual atravesará la vía y hará el descargue mediante un descole flexible en bolsacreto garantizando el transporte del agua a un sitio donde no generará daños.

Como solución para el drenaje de este sitio, se sacarán de funcionamiento las ODT's presentes en las abscisas 29+735 y 29+778 controlando de esta manera el aporte de agua al talud inferior.

En la vía anteriormente mencionada, el suelo del talud superior como el del inferior se encuentran saturados de agua, por lo tanto, es importante que desde el área de geotecnia se proyecten drenes de penetración.

6. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

En el presente capítulo se determinan los caudales de diseño aferentes a las obras de drenaje propuestas.

4.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.

La información primaria del estudio fue recopilada en la visita realizada a campo y en la topografía ejecutada.

Para obtener información se consultaron datos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, obteniendo datos de precipitación a nivel mensual de las estaciones aferentes al sitio de estudio, además de la topografía obtenida.

4.2 CARTOGRAFÍA.

Está compuesta por la plancha 301IIC a escala 1:25.000 del municipio de Ataco y Planadas, en el departamento de Tolima, además se apoyó en la topografía adquirida en el sitio de intervención.

4.3 ZONA DE INTERVENCION.

Con el objetivo de reconocer de las condiciones locales relacionadas con cobertura vegetal y tipo del suelo existente, evidenciar el movimiento del suelo, lo que influye en el cauce incidente y en el estado estructural de las obras existentes, se realizó visita a campo, evidenciando las diferentes características de la zona.

Tabla 3. Registro Fotográfico
REGISTRO FOTOGRÁFICO

Talud Superior	
	
Talud Inferior	
	
Corriente de agua – box culvert existente	
	

Fuente: Elaboración propia

7 DETERMINACIÓN CAUDALES DE DISEÑO

7.1 ÁREA DE DRENAJE.

Las áreas de drenaje se configuran de acuerdo con la dirección de la esorrentía y tomando como base las obras de drenaje transversal existentes y propuestas en la zona de intervención. Al realizar la evaluación de planos correspondientes a Planta perfil y diseño geométrico, se toman las siguientes determinaciones:

- Se identifican cinco (5) obras de drenaje en la zona, correspondientes a tres (4) alcantarillas de 0.90m y un (1) Box Culvert de 1m x 1m.
- Se mantienen las alcantarillas presentes en las abscisas 29+661 y 29+900. Los elementos ubicados en las abscisas 29+735 (alcantarilla) y 29+778 (box culvert) serán eliminados debido a que su estado estructural no es óptimo y se busca reducir el depósito de agua en la zona afectada.
- La obra del K29+842 (alcantarilla) será reemplazada por un box Culvert de 1.5 mx 1.5 m.
- Se proponen dos canales escalonados. El primero recibirá el cauce del talud superior, lo entrega a una poceta la cual también recibirá el caudal de cunetas de la vía y hará entrega al segundo canal disipador que se encontrará paralelo a la vía, este canal hará entrega de su cauce a una poceta en la abscisa K29+842, la cual recibirá también el aporte de cunetas y hará entrega al box culvert proyectado de 1.5m x 1.5m.
- Las áreas aferentes a las obras se muestran en la Tabla 4. Características geométricas de las Áreas y en la Ilustración 7.

Ilustración 7 Áreas de drenaje para el área de intervención.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Características geométricas de las Áreas

Zona - Área #	Área		
	(km²)	Ha	(m²)
1	0,01422	1,422	14218
2	0,15690	15,690	156896
3	0,00905	0,905	9052
Área vía drena derecha	0,00069	0,069	694
Área vía drena izquierda	0,00087	0,087	871
Área Talud 1	0,00476	0,476	4757
Área Talud 2	0,00254	0,254	2541
Área Talud 3	0,00184	0,184	1844

Fuente: Elaboración propia

7.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.

El cálculo del tiempo de concentración es determinante para establecer la intensidad de la tormenta, parámetro base para el cálculo del caudal. Las expresiones utilizadas para el presente informe son las siguientes:

a. Ecuación de Kirpich

$$T_c = 0.06628 * (L/S^{0.5})^{0.77}$$

Donde:

T_c, tiempo de concentración, en horas

L, Longitud del cauce principal, en km

S, pendiente de la cuenca, en m/m.

b. Ecuación de Clark.

$$T_c = 0.335 \left(\frac{A}{S^{0.5}} \right)^{0.593}$$

Dónde:

T_c, tiempo de concentración, en horas

A, Área de la cuenca, en km²

S, pendiente de la cuenca, en m/m

c. Ecuación de Giandotti

$$T_c = \frac{4A^{0.5} + 1.50L}{25.3 * (LS)^{0.5}}$$

Donde:

T_c, tiempo de concentración, en horas
L, Longitud del cauce principal, en km.
S, pendiente de la cuenca, en m/m
A, área de la cuenca, en km²

d. *Ecuación de California*

$$T_c = \left(\frac{0.871 * (L)^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

T_c, tiempo de concentración, en horas
L, Longitud del cauce principal, en km.
H, desnivel de la cuenca, en m

El valor del tiempo de concentración calculado es el valor promedio de las metodologías anteriormente expuestas. Se asume un tiempo de concentración mínimo de 15 min, fundamentada en las pendientes presentadas en esta zona. Lo anterior se evidencia en la Tabla 5 .

Tabla 5. Tiempo de concentración

Zona - Área #	Tiempo de Concentración					
	Kirpich (h)	Clark (h)	Giandotti (h)	California (h)	Promedio (min)	Asumido (min)
1	0,07	0,06	0,23	0,07	6,47	15
2	0,16	0,17	0,24	0,16	10,88	15
3	0,08	0,04	0,16	0,08	5,28	15

Fuente: Elaboración propia

7.3 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía se asume teniendo en cuenta el tipo de cobertura de la zona de intervención. Las imágenes satelitales y fotografías indican que, la cobertura está caracterizada por pastizales y árboles (Ilustración 8). Es así como se asume un coeficiente de escorrentía considerando un periodo de retorno de 5 años para cunetas, 10 años para alcantarillas y 20 años para el box culvert y para áreas no desarrolladas de cultivos con pendiente superior a 7% (Ilustración 9), lo anterior teniendo en cuenta que es la cobertura predominante en el lugar.

Ilustración 8 Cobertura vegetal para la cuenca del sector PR28+900



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9 Coeficiente de escorrentía.

TABLA 15.1.1
Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional

Característica 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
Concreta/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	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Condición promedio (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
<i>Condición buena (cobertura de pasto mayor del 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
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
Pastizales							
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
Bosques							
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. Utilizada con autorización.

Fuente: Hidrología aplicada, Ven Te Chow

7.4 CURVAS IDF

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.

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, la precipitación total media anual y la elevación de la estación.

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.

Teniendo en cuenta que el sector de intervención PR28+900 pertenece a la región Andina, se aplican los valores de parámetros de a, b, c y d para tal región, los cuales se presentan en la Tabla 6

Tabla 6. Parámetros de a, b, c y d para la región Andina.

REGIÓN	a	b	c	d
Andina	0.94	0.18	0.66	0.83

Fuente: Elaboración propia

Con los datos históricos a nivel promedio anual multianual de la precipitación en 24h en la estación Santiago Pérez [22020050], que es la estación con registros relevantes para determinar las características hidráulicas requeridas y que tiene influencia directa sobre la zona objeto de estudio. Se ha calculado un valor promedio de la precipitación máxima anual en 24 horas igual a 95.825 mm.

En la

Tabla 7 se presentan los valores máximos mensuales multianuales de precipitación, información descargada de la página del IDEAM.

Tabla 7. Serie de datos estación Santiago Pérez [22020050], valor de M

AÑO	Precipitación Máxima (mm)	AÑO	Precipitación Máxima (mm)	AÑO	Precipitación Máxima (mm)	AÑO	Precipitación Máxima (mm)
1982	115	1992	89	2002	96	2012	100
1983	135	1993	124	2003	90	2013	66
1984	114	1994	98	2004	100	2014	127
1985	80	1995	80	2005	120	2015	71
1986	91	1996	72	2006	124	2016	106
1987	97	1997	64	2007	100	2017	85
1988	68	1998	94	2008	102	2018	76
1989	95	1999	134	2009	75	2019	100
1990	98	2000	66	2010	110	2020	87
1991	119	2001	84	2011	102	2021	79
Precipitación media máxima mensual multianual = 95,825 = M							

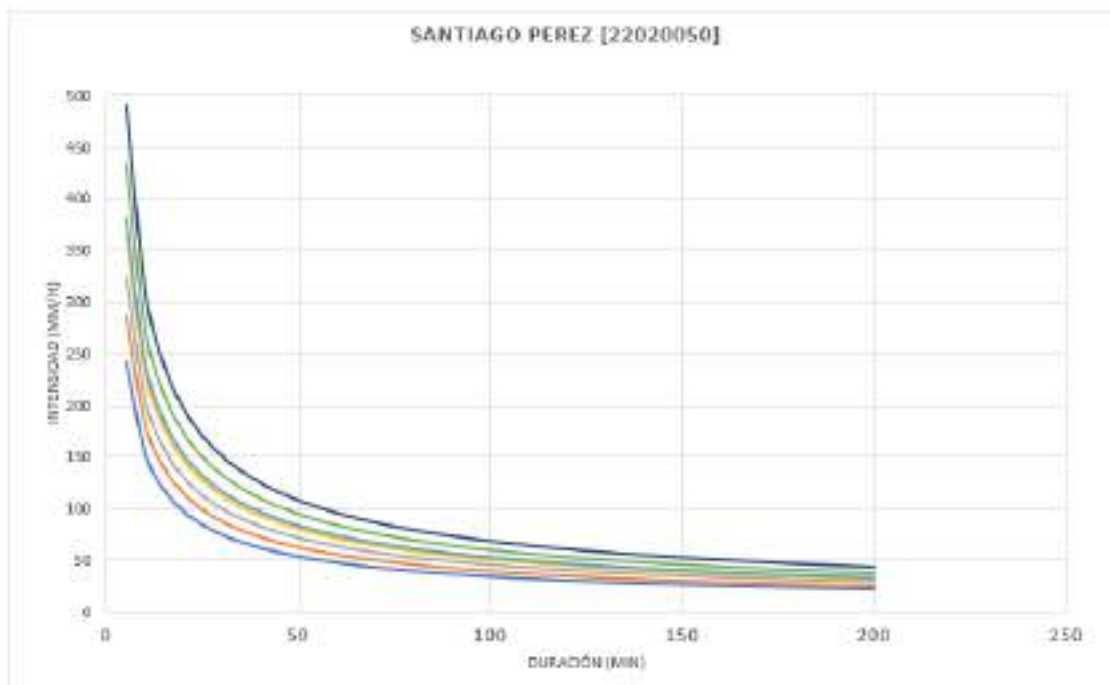
Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos, y los coeficientes propios para la región Andina, se aplica la ecuación descrita, estableciendo así los valores de intensidad con intervalos de 5 minutos (Tabla 8), posteriormente se presenta la gráfica correspondiente (Ilustración 10).

Tabla 8. Valores de intensidades calculadas para la estación Santiago Pérez [22020050].

Duración	TR 2	TR 5	TR 10	TR 20	TR 25	TR 50	TR 100
10	153,29	180,77	204,79	232,01	241,52	273,61	309,97
20	97,01	114,41	129,61	146,83	152,85	173,16	196,17
30	74,23	87,54	99,18	112,36	116,96	132,50	150,11
40	61,40	72,41	82,03	92,93	96,74	109,59	124,15
50	52,99	62,49	70,79	80,20	83,49	94,58	107,15
60	46,98	55,41	62,77	71,11	74,02	83,86	95,00
70	42,44	50,05	56,70	64,23	66,86	75,75	85,81
80	38,86	45,82	51,91	58,81	61,22	69,36	78,57
90	35,95	42,40	48,03	54,41	56,64	64,17	72,70
100	33,54	39,55	44,80	50,76	52,84	59,86	67,81
110	31,49	37,14	42,07	47,66	49,62	56,21	63,68
120	29,73	35,06	39,72	45,00	46,85	53,07	60,13

Ilustración 10 Curvas IDF - Estación Santiago Pérez [22020050].



Fuente: Elaboración propia

7.5 INTENSIDAD

Respecto a los datos calculados de tiempo de concentración y altura de precipitación se calcula la intensidad de las cuencas. En la Tabla 9 se presentan los resultados calculados para cada tiempo de retorno.

Tabla 9. Intensidad calculada

Zona - Área #	Área			Tiempo de Concentración (min)	TR	Intensidad
	(km²)	ha	(m²)			
1	0,01422	1,42	14218	15	10,00	156,71
2	0,15690	15,690	156896	15	20,00	177,53
3	0,00905	0,91	9052	15	10,00	156,71

Fuente: Elaboración propia

7.6 CÁLCULO DE CAUDAL

En el presente capítulo se presentan los cálculos requeridos para determinar los caudales de diseño, los cuales se determinaron teniendo en cuenta el área de drenaje aferente a la obra a intervenir. Para cuencas con áreas menores de 2.5 km², se utilizó el método racional.

Este método es ideal para cuencas de pequeño tamaño, en este caso la extensión más grande es de 0.157km², de acuerdo con las recomendaciones de la literatura técnica, para la cuenca estudiada, dicha ecuación es aplicable, tal como se presenta a continuación:

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

Dónde:

Q = Caudal de diseño (m³/s)

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de la Lluvia (mm/h)

A = Área de drenaje (km²)

Aplicando la formula anterior, se obtienen los caudales de diseño mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10. Caudal calculado

Zona - Área #	Caudal	
	(m³/S)	(L/S)
1	0,2602	260,15
2	3,4588	3458,77
3	0,1656	165,63

Fuente: Elaboración propia

8 ESTUDIOS HIDRÁULICOS

A continuación, se presentan la descripción y evaluación de las obras hidráulicas existentes y proyectadas presentes en la zona objeto de diseño.

8.1 DRENAJE LONGITUDINAL

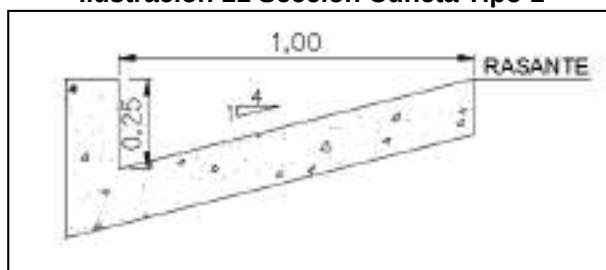
En este capítulo, se presentan los cálculos requeridos para la determinación de las obras de drenaje longitudinal requeridas para complementar la solución de drenaje vial, con el objetivo de conservar y garantizar la estructura de pavimento proyectada.

8.2 CUNETAS

Se hace necesaria la implementación de estructuras de drenaje superficial longitudinal a lo largo de la vía para capturar el flujo superficial, garantizando la seguridad vial mediante el cumplimiento de pendientes máximas y la adecuada disposición de las obras.

Para lo anterior, se propone una cuneta Tipo 1, dispuesta en ambas márgenes de la vía, que cuenta con dimensiones de 1 m de ancho total y una altura de 0.25m, obtenida a partir de la pendiente hacia el costado de la vía, la cual corresponde al 25%, espesor mínimo de 0.15 m, debido a que será una estructura que soportará un constante flujo vehicular y que tendrá como criterios de construcción concreto de 3000 psi y refuerzo de malla electrosoldada de 4mm. (Ilustración 11).

Ilustración 11 Sección Cuneta Tipo 1



Fuente: Elaboración propia

Se requiere realizar una verificación de las obras propuestas, hallando la ecuación de la curva, teniendo como insumo la geometría de la cuneta, determinando la capacidad máxima en función de la pendiente de la vía. El caudal se determina a partir de la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Dónde:

Q= caudal en m³/s.

A= área hidráulica en m²

R= radio hidráulico en m.

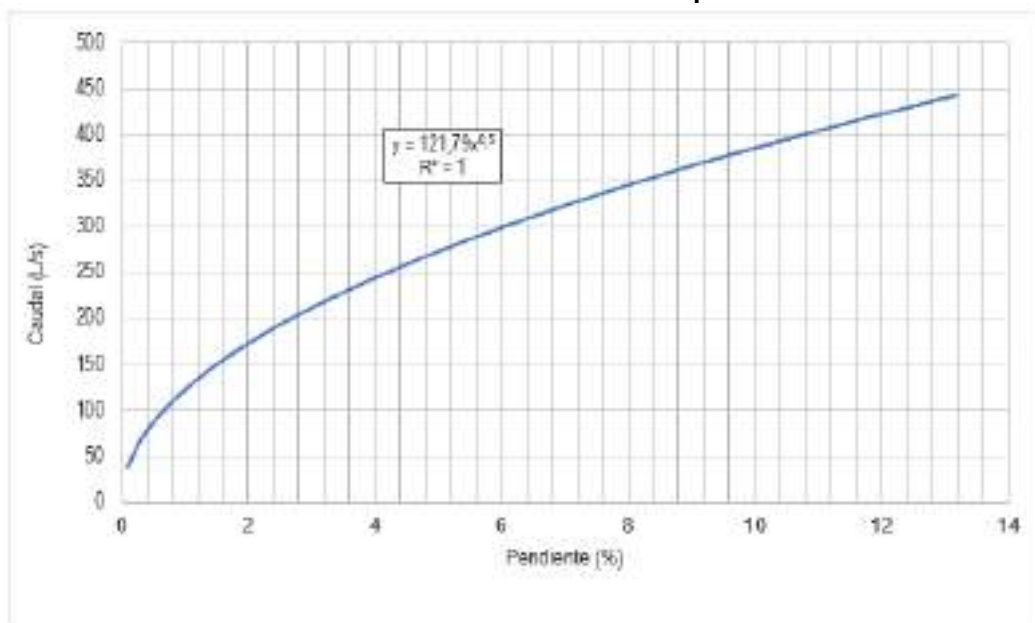
S= pendiente en m/m

Aplicando la ecuación mencionada y variando exponencialmente el valor de la pendiente, se tiene que, la ecuación requerida para el cálculo del caudal que transportarán las obras longitudinales con la pendiente proyectada en los diseños es:

$$Q_{cuneta1} = 121,79x^{0.5}$$

En donde x es reemplazado con el valor de la pendiente de la vía en porcentaje. La gráfica obtenida se presenta a continuación en la Ilustración 12

Ilustración 12 Curva Cuneta Tipo 1



Fuente: Elaboración propia

La información registrada en las tablas, se divide en tramos, que muestran longitudes, coeficientes de escorrentía escogidos y áreas tanto de ladera como de vía. El criterio escogido para el aporte de ladera en las secciones, se fundamenta en escoger un ancho aferente de 30 m. Para el caso del aporte de vía, dependerá del bombeo que se presente en cada segmento de vía. La información recopilada se muestra en la Tabla 11 para la vía proyectada.

Tabla 11. Parámetros iniciales para tramos de cuneta vía proyectada.

Margen Izquierda		Margen Derecha		OBRA RECEPTORA	L (m)	ÁREA AFERENTE LADERA (km ²)	C1	ÁREA VÍA (km ²)	C2
Abs Inicial	Abs Final	Abs Inicial	Abs Final						
29+680	29+842			29+842	162			0,00087	0,77
		29+660	29+780	29+778	120	0,00476	0,40	0,00031	0,77
		29+810	29+842	29+842	32	0,00254	0,40	0,00039	0,77

Fuente: Elaboración Propia

Se presentan los criterios de diseño escogidos, para este caso, se realizó el cálculo de caudales con un tiempo de concentración mínimo de 10 min, para un periodo de retorno de 5 años, obteniendo una intensidad de 180,77 mm/h.

En la Tabla 12. Verificación de la capacidad hidráulica cunetas de vía proyectada se presenta la información correspondiente a los tramos de cuneta para la vía proyectada.

Tabla 12. Verificación de la capacidad hidráulica cunetas de vía proyectada

Margen Izquierda		Margen Derecha		OBRA RECEPTORA	L (m)	ÁREA AFERENTE LADERA (km ²)	C1	ÁREA VÍA (km ²)	C2	TC	TR	S Longitudinal Vía	I	Q	Estructura	Q Máx (l/s)	Verificación Capacidad
Abs Inicial	Abs Final	Abs Inicial	Abs Final							Min	Años		mm/h	l/s			
29+680	29+843			29+843	163			0,00087	0,770	10	5	7%	180,77	33,70	Cuneta Tipo I	322,23	Ok
		29+680	29+780	29+780	100	0,00476	0,400	0,00031	0,770	10	5	6%	180,77	11,96	Cuneta Tipo I	298,33	Ok
		29+810	29+843	29+843	33	0,00254	0,400	0,00039	0,770	10	5	5%	180,77	14,90	Cuneta Tipo I	272,34	Ok

Fuente: Elaboración Propia

8.3 DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL

Como se muestra en capítulo de estudios hidrológicos, los criterios empleados para determinar los caudales de diseño que serán transportados por las obras definitivas en la zona de estudio, corresponden a áreas de drenaje, las cuales contemplan las características geométricas de las hoyas hidrográficas, intensidad obtenida a partir de las curvas IDF de la estación SANTIAGO PÉREZ, coeficiente de escorrentía y tiempo de concentración. Con dichos valores se procede a realizar el cálculo del caudal mediante el método racional. Con la información anterior y tomando como referencia el manual de drenaje para carreteras 2009 del INVIAS, se realiza el diseño de las obras ubicadas en la zona de estudio.

En el manual anterior, se menciona que una alcantarilla es un conducto relativamente corto a través del cual se cruza el agua bajo la vía de un costado a otro, con cualquier sección geométrica: circulares y de cajón principalmente.

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

Con las consideraciones anteriores, la estructura proyectada en el K29+842, corresponde a un Box Culvert en concreto de 1.5m x 1.5m, en la Tabla 13 se presentan los resultados obtenidos de la propuesta de implementación de estructuras

Tabla 13. Resultados modelación hidráulica

Abscisa de diseño Obra	Caudal de diseño m ³ /s según concentración.			Estructura Diseño	Dimensiones Diseño (m)		Hw	Hw/D
	10	20	25		Base	Altura	m	m
29+843	2,87	3,48	3,39	Box Culvert	1,5	1,5	1,43	0,96

Fuente: Elaboración Propia

8.4 OBRAS TRANSVERSALES COMPLEMENTARIAS

En la zona de estudio se identifica la presencia de cuatro (4) alcantarillas y un Box Culvert, una vez realizada la evaluación, se confirma que, los mismos responden a un curso natural incidente en la zona, por lo anterior, al realizar la implantación de las obras, se precisa la necesidad de incluir estructuras hidráulicas que cumplan con el objetivo de ayudar a encauzar el flujo, debido a que los movimientos de la zona, han hecho que el cauce no se encuentre bien definido.

Las estructuras proyectadas son dos (2) canales disipadores escalonados el primero guía el cauce del talud superior a una poceta al lado de la vía en la abscisa 29+778, esta poceta entregará el cauce al segundo canal disipador que se ubicara paralelo a la vía y hará entrega a otra poceta ubicada en la abscisa 29+843, esta poceta hará entrega al Box Culvert, obra que transportará el flujo al canal de bolsacretos, finalmente este canal tendrá un descole en piedra pegada.

BAJANTE ESCALONADA

Son diseñadas a partir del caudal de diseño obtenido para el periodo de retorno de 20 años en el caso del Box Culvert, recomendado por el INVIAS. Se calculan como vertedero de caída vertical. Paso siguiente, se calcula el caudal unitario (q) que corresponde al caudal por unidad de ancho de cresta de caída a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde:

Q =Caudal de diseño (m^3/s)

B =Ancho del canal

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 recta 1

$$D = \frac{q^2}{gh^3}$$

$$\frac{Ld}{h} = 4.30D^{0.27}$$

Donde,

g =aceleración de la gravedad

h =altura de la caída

Por otro lado, Ld corresponde a la distancia desde el muro de caída hasta la posición de la profundidad, es decir, la longitud de caída, la cual debe ser menor a la longitud de la huella del canal. Y aunque, para que la disipación sea perfecta, se requiere una longitud adicional de huella para que pueda desarrollarse así el resalto hidráulico. Si por las condiciones del terreno no es posible contar con dicha longitud, se trabaja con disipación imperfecta.

Se dimensionan los canales escalonados y se definen los parámetros de B , h máx. y huella mínima, como se muestra en la Tabla 14, los cuales serán ajustados para cada obra en particular.

Tabla 14. Bajantes escalonadas

ELEMENTO	Q (m^3/s)	B (m)	q (m^3/ms)	h (m)	D	Ld (m)	Yp (m)	$Y1$ (m)	$Y2$ (m)
DISIPADOR ABS 29+780	3,46	2,00	1,73	1,00	0,30	3,12	0,77	0,33	1,20
DISIPADOR PARALELO VÍA	3,62	2,00	1,81	0,50	2,67	2,80	0,62	0,41	1,08
CANAL BOLSACRETOS	3,65	2,40	1,52	0,50	1,89	2,55	0,57	0,35	0,99

¹ Ecuación (15-9) y (15-10 Tomadas de Chow, V.TT., (1994). Hidráulica de Canales Abiertos. McGraw-Hill)

Finalmente, se proponen que los canales tengan las dimensiones que se muestran en la Tabla 15

Tabla 15 Dimensiones de canales escalonados.

Obra	Ancho (m)	Altura muros (m)
Disipador abscisa K29+780	2	1,3
Disipador paralelo a la vía	2	1,5
Canal bolsacretos	2,4	1,2

Fuente: Elaboración Propia

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las soluciones al drenaje superficial aquí propuestas tienen como objetivo evitar que haya descargas directas a la zona inestable del talud inferior, por eso se propone sacar de funcionamiento dos de las obras transversales existentes.
- Se proponen canales escalonados en concreto en el talud superior, considerando que las estructuras de contención garantizarán el adecuado funcionamiento de estos.
- En cuanto al canal paralelo a la vía, se recomienda que esté tapado debido a la profundidad del mismo, sin embargo, se requiere dejar una tapa en la mitad de la longitud, para permitir las labores de mantenimiento e inspección del mismo.
- No se plantea filtro longitudinal en la margen izquierda en la zona que va el muro, ya que este tendrá su propio filtro que evitará que se afecte la estructura de pavimento (ver planos geotécnicos).
- En el Anexo 1 se presentan los datos de las estaciones hidrometeorológicas utilizadas y en el Anexo 2 los planos de implantación de las obras de drenaje.

10 ANEXOS

ANEXO 1 DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS
ANEXO PLANOS DE IMPLANTACIÓN DE OBRAS DE
DRENAJE