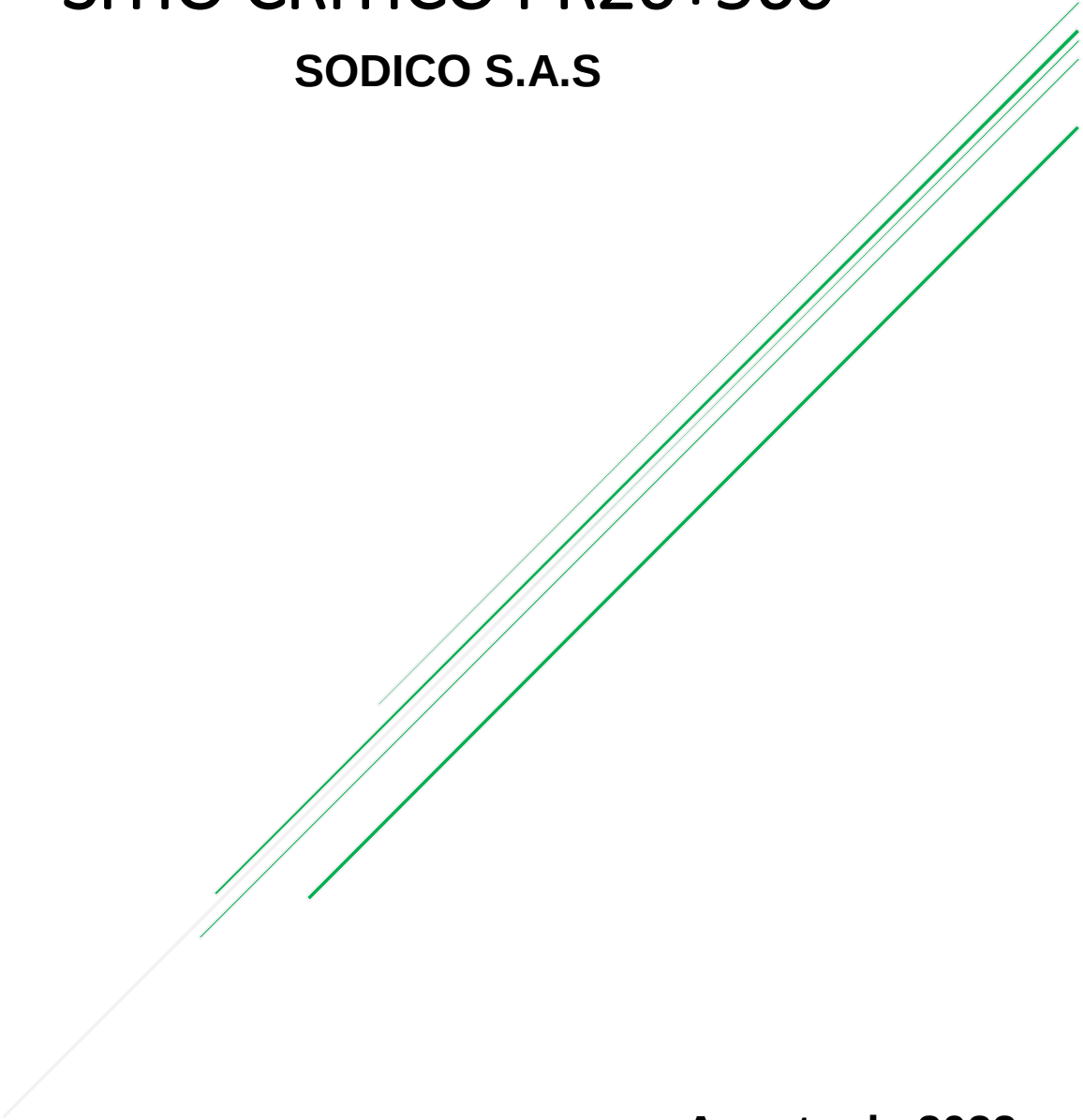


ESTUDIOS DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA, VÍA ATACO – PLANADAS SITIO CRÍTICO PR26+560

SODICO S.A.S



Agosto de 2022

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

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	OBJETIVOS Y ALCANCE	7
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
	ALCANCE	7
3	ZONA DE ESTUDIO.....	8
4	CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA.....	10
	PRECIPITACIÓN	11
	TEMPERATURA	11
	HUMEDAD RELATIVA.....	12
5	SOLUCIÓN DE INGENIERÍA.....	12
6	ESTUDIOS HIDROLÓGICOS.....	13
	RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.	13
	CARTOGRAFÍA.	13
	DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO	13
	ÁREA DE DRENAJE.....	13
	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.	15
	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA.....	16
	CURVAS IDF	17
	INTENSIDAD	19
	CÁLCULO DE CAUDAL	20
7	ESTUDIOS HIDRÁULICOS	20
	DRENAJE LONGITUDINAL	20
	CUNETAS.....	20
	CANAL RECTANGULAR BORDE VÍA	22
	DISEÑO DEL SUBDRENAJE.....	23
	CÁLCULO DEL CAUDAL POR INFILTRACIÓN.....	23
	CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO	24
	DIMENSIONAMIENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL.....	25
	DISEÑO HIDRÁULICO DE OBRAS DE DRENAJE TRANSVERSAL	27
	CANAL RECTANGULAR EN BOLSACRETOS	29
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31

9	ANEXOS.....	32
	ANEXO 1. INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA.	32
	ANEXO 2. CARTOGRAFÍA BASE.....	32
	ANEXO 3. PLANOS PLANTA – PERFIL.	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones hidrometeorológicas.....	9
Tabla 2. Caracterización de las estaciones incidentes en el área de estudio.	10
Tabla 3. Características geométricas de las Áreas	15
Tabla 4. Resultados valor de la pendiente por el método de Taylor & Schwarz.	15
Tabla 5. Tiempo de concentración	16
Tabla 6. Parámetros de a, b, c y d para la región Andina.....	17
Tabla 7. Serie de datos estación Santiago Pérez [22020050], valor de M.....	18
Tabla 8. Valores de intensidades calculadas para la estación Santiago Pérez [22020050].	18
Tabla 9. Intensidad calculada	19
Tabla 10. Caudal calculado.....	20
Tabla 11. Verificación de la capacidad hidráulica cunetas de la vía existente	22
Tabla 12. Dimensionamiento del canal al borde de vía.	22
Tabla 13. Valores del Factor de Infiltración	24
Tabla 14. Valores recomendados para el factor de retención de la base.	24
Tabla 15. Estimación del caudal del filtro para el tramo del K6+400 al K8+500.	26
Tabla 16. Resultados modelación hidráulica	27
Tabla 17. Dimensiones canal escalonado en bolsacretos.....	30

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 . Ubicación general de la zona de estudio en el dpto. del Tolima.	8
Ilustración 2 Polígonos de Thiessen.	9
Ilustración 3 Ubicación de las estaciones incidentes.....	10
Ilustración 4 Histograma de precipitación. Santiago Pérez [2202005].....	11
Ilustración 5 Histograma de temperatura.	11
Ilustración 6 Histograma de humedad relativa.	12
Ilustración 7 Áreas de drenaje para el área de intervención.....	14
Ilustración 8 Coeficiente de escorrentía.	17
Ilustración 9 Curvas IDF - Estación Santiago Pérez [22020050].	19
Ilustración 10 Sección Cuneta Tipo 1.....	21
Ilustración 11 Curva Cuneta Tipo 1.....	22
Ilustración 12. Detalle sección transversal de Canal rectangular al borde de la vía, margen derecha.....	22
Ilustración 13. Detalle ventanas del Canal rectangular al borde de la vía, margen derecha.	23
Ilustración 14. Detalle filtro.	26
Ilustración 15. Implantación box culvert abscisa PR26+636.....	28
Ilustración 16. Detalle de chimenea en descole del box culvert PR26+636.....	28
Ilustración 17. Geometría del Flujo en un vertedero de caída recta.	29
Ilustración 18. Dimensiones canal escalonado en bolsacretos.....	30

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe hace referencia al sitio crítico presente en el PR 26+560 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 en el talud inferior de la vía.

2 OBJETIVOS Y ALCANCE

Presentar las obras de drenaje requeridas que contribuyan a la estabilización del sector del PR 26+560 de la vía Ataco – Planadas en el departamento del Tolima.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las cuencas de drenaje incidentes a las obras de drenaje que tienen como punto de concentración la vía.
- 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.

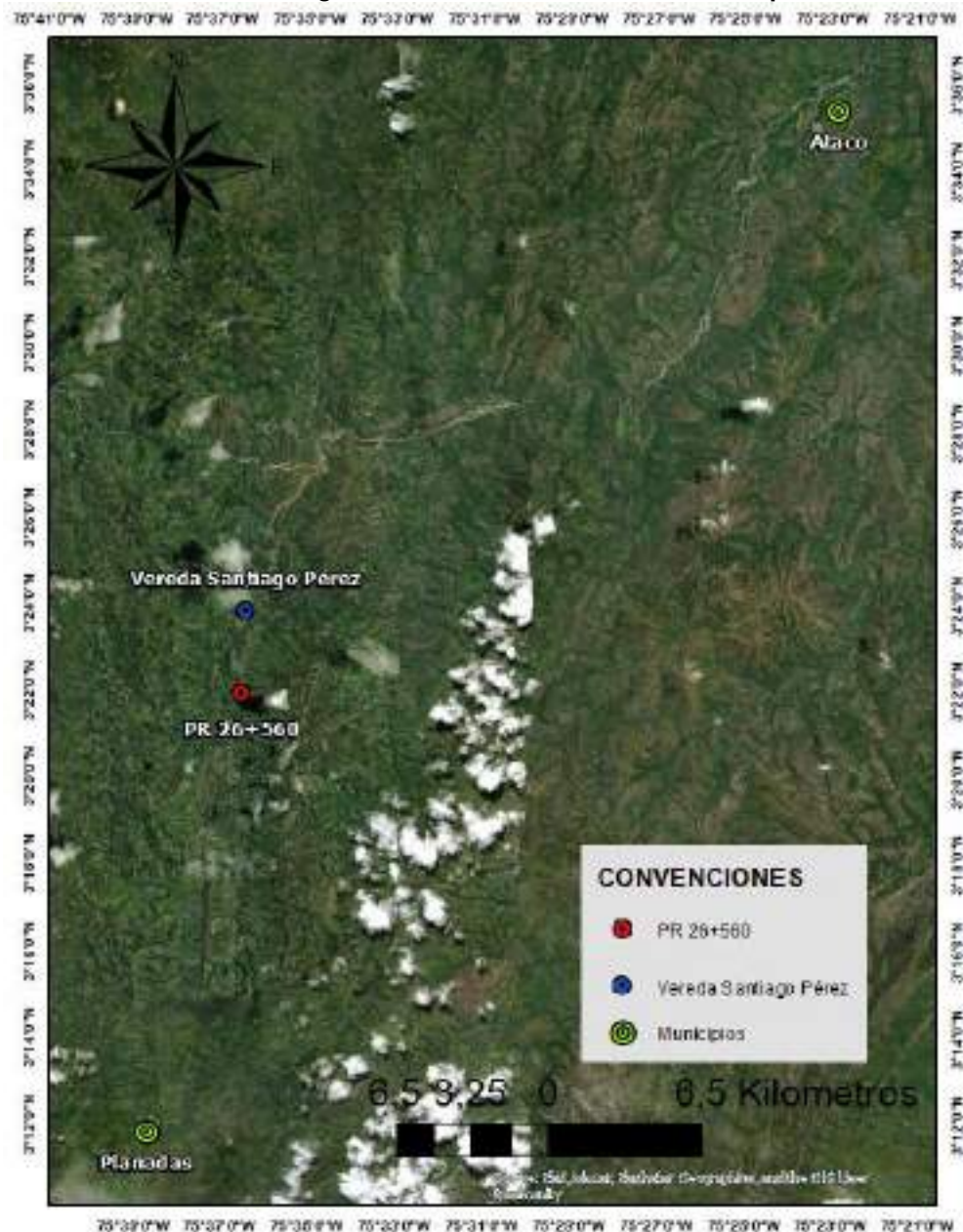
ALCANCE

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 PR26+560 corredor Ataco – Planadas en función del diagnóstico realizado con las especialidades de geotecnia y el diseño geométrico del tramo.

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.



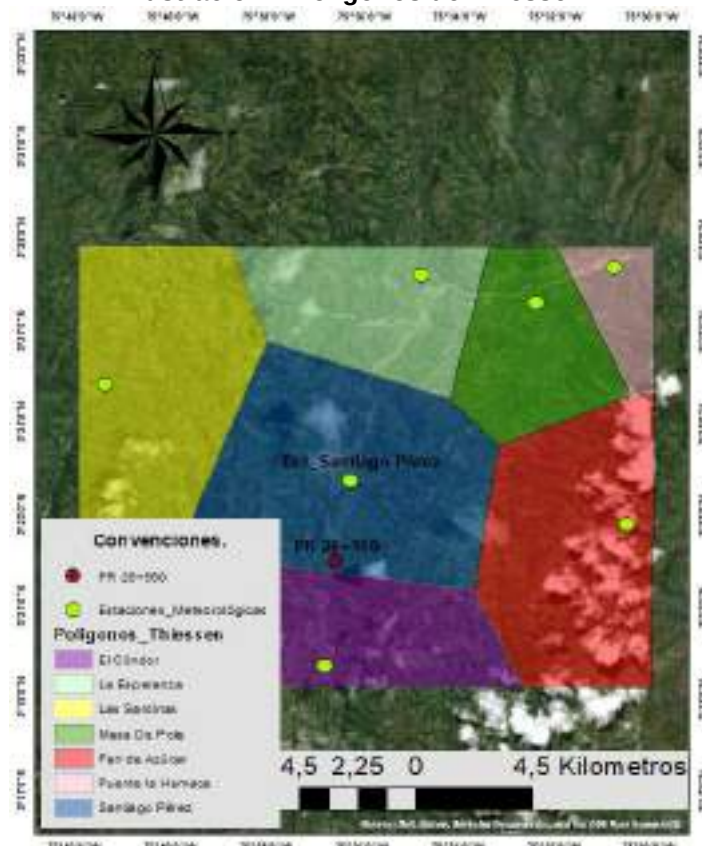
Se cuenta con información histórica de siete (7) estaciones hidrometeorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM, las cuales serán descritas en la Tabla 1, y en la

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 Cóndor	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

Ilustración 2 Polígonos de Thiessen.



4 CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA.

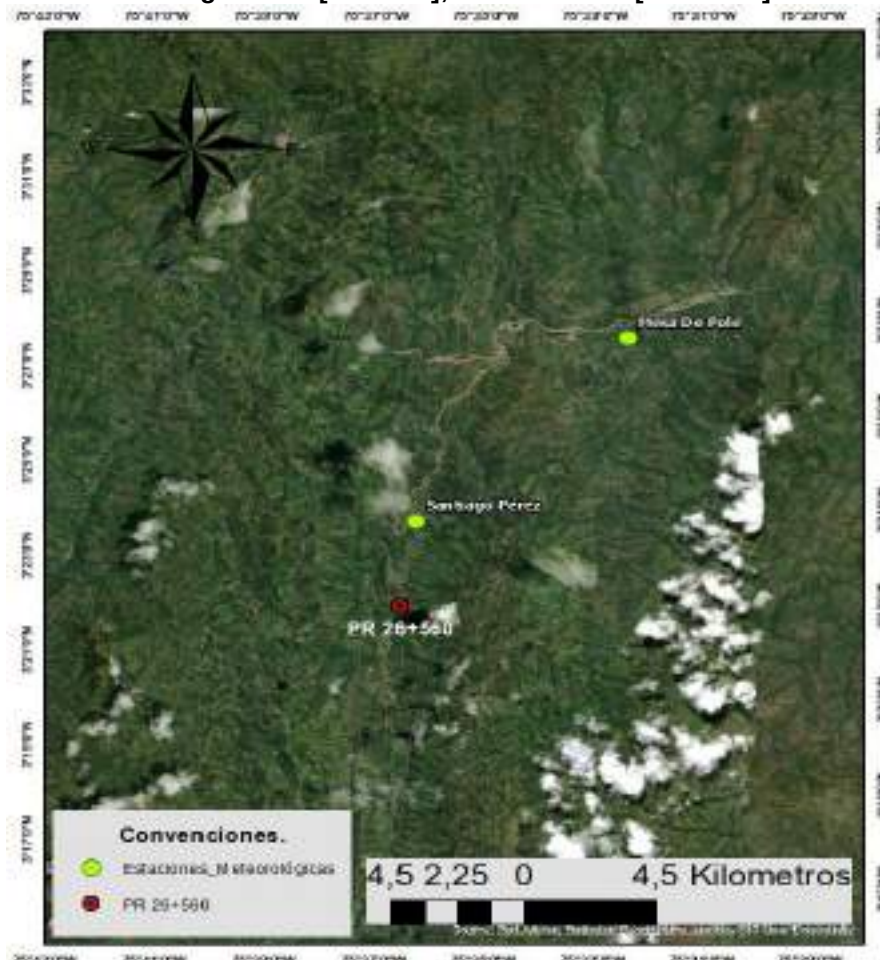
Como se mencionó en el numeral anterior, se identificaron 7 estaciones cercanas a la zona de estudio, la caracterización climática de la zona se realizará con información tomada de las estaciones Santiago Pérez [22020050] y Mesa de Pole [22055020], cuyas características se muestran en la Tabla 2, dichas 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

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].



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

PRECIPITACIÓN

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

Ilustración 4 Histograma de precipitación. Santiago Pérez [2202005]



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.

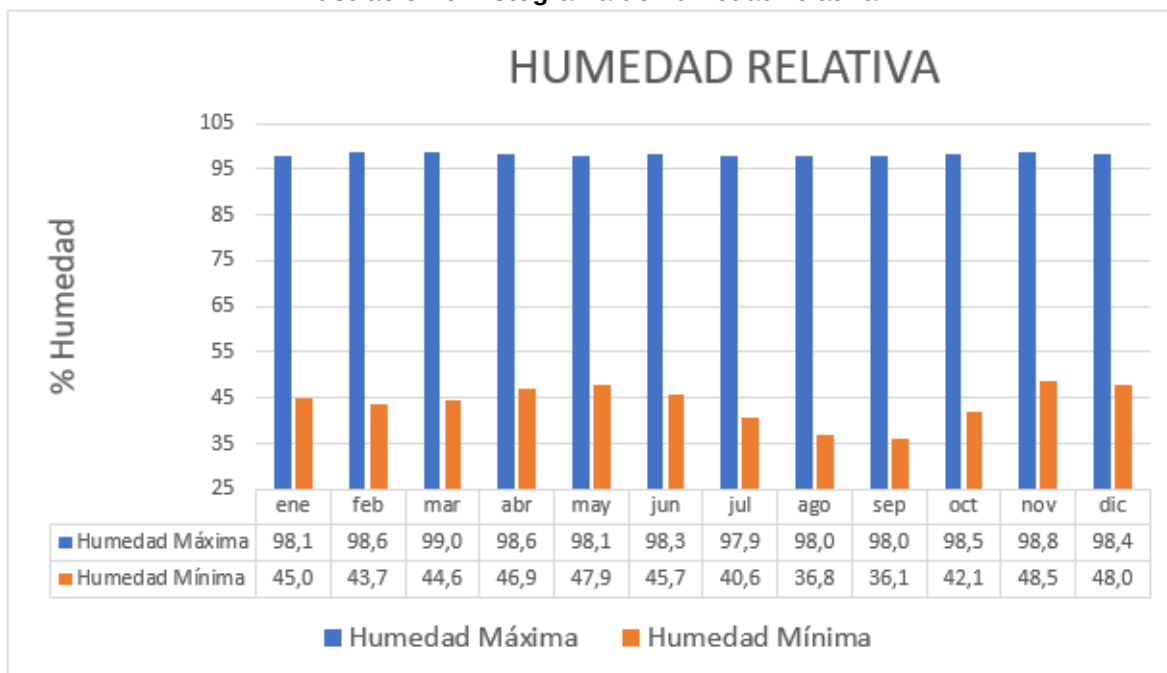


HUMEDAD RELATIVA

Los datos presentados en la

Ilustración 6 indican que el porcentaje máximo de humedad relativa oscila entre el 98 y 99% mientras que los valores de humedad mínima 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.



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

5 SOLUCIÓN DE INGENIERÍA.

En el sitio crítico ubicado en la vía Ataco- Planadas desde el PR 26+560 se encuentran localizados dos box culvert con medidas de, 1m x 1m y 3m x 2m, los cuales según la topografía se encuentran en buen estado, además dichas estructuras no cuentan con un descole apropiado que evite la infiltración excesiva en el talud inferior, lo que causa inestabilidad en el sitio, provocando que la vía tenga afectaciones significativas. Como propuesta de diseño se recomienda eliminar el box culvert de medidas de 1m x 1m existente en la abscisa PR26+700, para lo cual, se deberá construir una poceta en el encole de la obra existente y llevar el caudal hasta el box Culvert de 3m x 2m de la abscisa PR26+636 por medio de un canal rectangular en concreto de 0.70 m de ancho y 0.30m de alto, sin

contar el bordillo. El canal estará a borde de vía y tendrá ventanas en el bordillo de modo que garanticen el flujo de la escorrentía superficial de la vía hacia el interior del canal, dicha estructura captará también el flujo transportado por las cunetas ubicadas desde el PR26+880 hasta la abscisa PR26+760, el cual es el resultado de la escorrentía del sitio. El canal descolaré en el encoque del box culvert de 3m x 2m ubicado en la abscisa PR26+636. Debido a la diferencia de niveles entre la cota batea del box y el terreno natural del talud inferior, se requiere la construcción de una poceta chimenea y posteriormente se propone la construcción de un canal de descole rectangular de 3.0 m de ancho en bolsacretos, se escogió este material considerando que el talud inferior es susceptible a deformarse.

6 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

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

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 en obra.

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.

CARTOGRAFÍA.

Está compuesta por la plancha 301IIC y 301IID 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.

DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO

ÁREA DE DRENAJE.

Las áreas de drenaje se muestran en la

Ilustración 7 y se configuran de acuerdo con la dirección de la escorrentía y tomando como base las obras de drenaje transversal existentes y propuestas en la zona. Al realizar la evaluación de planos correspondientes a Planta perfil y diseño geométrico, se toman las siguientes determinaciones:

- Se identifican dos (2) Box Culvert: de 1m x 1m y 3m x 2m. El box Culvert de 1x1 debe clausurarse.

- Se proponen cunetas al borde de la vía y un canal desde el encole del box Culvert de 1x1 hasta el box culvert ubicado en la abscisa PR26+636.
- Se propone un canal escalonado en bolsacretos en el descole del box culvert de la abscisa PR26+636, el cual entregará su cauce de manera controlada al talud inferior de la vía.
- Las áreas aferentes a las obras se muestran en la Tabla 3 y en la
- Ilustración 7.

Ilustración 7 Áreas de drenaje para el área de intervención.

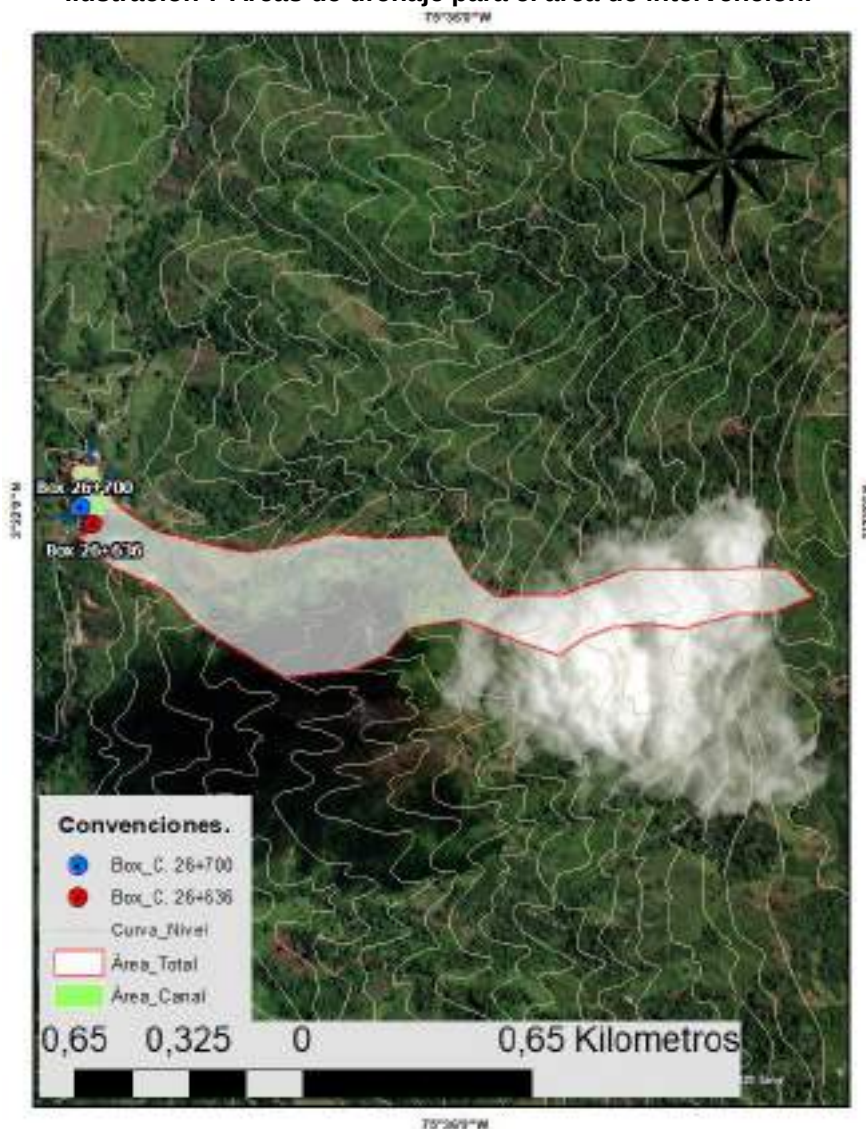


Tabla 3. Características geométricas de las Áreas

Zona - Área #	Área		
	(km²)	Ha	(m²)
1 Total	0,44	43,68	436798
2 Abs 26+700-26+885	0,01	1,19	11869

Las pendientes de cada área se calcularon mediante el método de Taylor & Schwarz, el cual consiste en dividir el terreno en segmentos y así calcular por partes la pendiente y luego hacer un cálculo ponderado de esta, la ecuación de este método es la siguiente:

$$S = \left[\frac{L}{\frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \frac{l_n}{\sqrt{S_n}}} \right]$$

Dónde:

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

L, Longitud total del cauce principal, en m.

l, Longitud de cada segmento de la cuenca, en m.

$\sqrt{S_n}$, Raíz cuadrada de cada segmento de la cuenca.

En la Tabla 4, se muestran los resultados de las pendientes obtenidas por el método anterior.

Tabla 4. Resultados valor de la pendiente por el método de Taylor & Schwarz.

S	m/m	%
Área 1	0,29	29
Área 2	0,05	0.55

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	8,79	17,71	17,52	8,42	13,09	15
2	9,6	3,5	18,8	10,2	10,4	15

COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

El coeficiente de escorrentía se asume teniendo en cuenta el tipo de cobertura y pendiente de la zona de intervención la cual está caracterizada por pastizales y árboles. Es así como se asume un coeficiente de escorrentía considerando un periodo de retorno de 5 años para cunetas, 10 años para canales y 20 años para el box culvert y con áreas no desarrolladas con pendiente superior a 7% dichos datos se toman de la Ilustración 8.

Ilustración 8 Coeficiente de escorrentía.

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	3	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.71	0.81	0.86	0.90	0.93	1.00
Concreto/techo	0.73	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
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivo							
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%	0.25	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
Boques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.38	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	0.59

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

Fuente: Hidrología aplicada, Ven Te Chow

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 PR26+560 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: Manual de drenaje para carreteras.

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 95.8 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	Año	Precipitación Máxima	Año	Precipitación Máxima
1980	100	1995	80	2008	102
1981	90	1996	72	2009	75
1983	135	1997	64	2010	110
1985	80	1998	94	2011	102
1986	112	1999	134	2012	100
1987	97	2000	66	2013	66
1988	68	2001	84	2014	127
1989	95	2002	96	2015	71
1990	98	2003	90	2016	106
1991	119	2004	100	2017	85
1992	89	2005	120	2018	76
1993	124	2006	124	2019	100
1994	98	2007	100	2020	87
Valor Promedio Máximo Anual				M	95,8

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 9).

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

Duración	TR 2	TR 5	TR 10	TR 20	TR 25	TR 50	TR 100
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 9 Curvas IDF - Estación Santiago Pérez [22020050].



INTENSIDAD

Respecto a los datos calculados de tiempo de concentración y considerando los períodos de retorno considerados, se calcula la intensidad de precipitación para cada cuenca. 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 Total	0,44	43,68	436798	15	20	177,53
2 Abs 26+700- 26+885	0,01	1,19	11869	15	10	156,71

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	
	(m ³ /s)	(l/s)
1	9,4	9412,2
2	0,2	212,0

7 ESTUDIOS HIDRÁULICOS

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

DRENAJE LONGITUDINAL

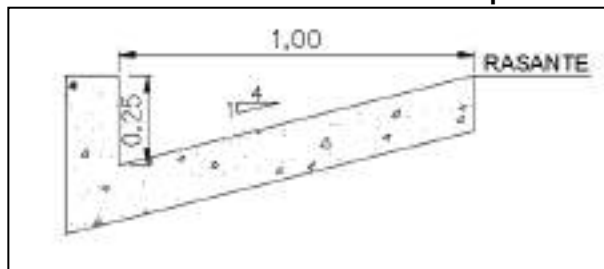
En este capítulo, se presentan los cálculos requeridos para la determinación de las obras de drenaje longitudinal requeridas para complementar la solución de drenaje vial, con el objetivo de conservar y garantizar la estructura de pavimento proyectada.

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, 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 10).

Ilustración 10 Sección Cuneta Tipo 1



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=1.281

R= radio hidráulico en m.=0.098

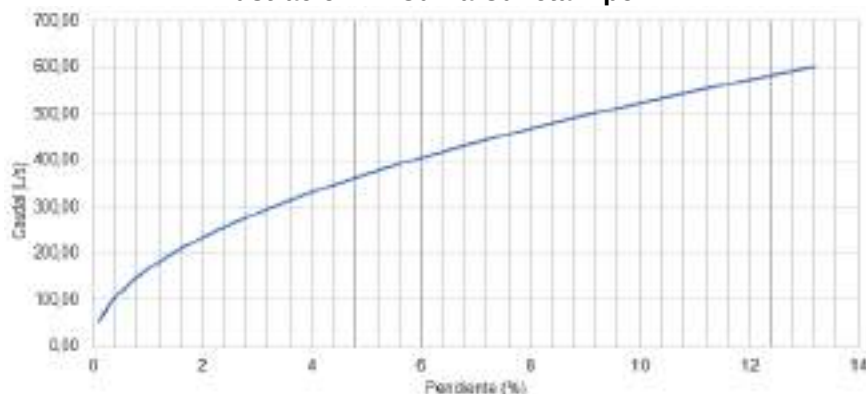
S= pendiente en m/m=0.055

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:

$$Q_{cuneta1} = 0,384 \text{ m}^3/\text{s}$$

La gráfica obtenida se presenta a continuación en la Ilustración 11.

Ilustración 11 Curva Cuneta Tipo 1



Con la información de la Tabla 11 se muestra que esta cuneta es apta para transportar el caudal ya que su capacidad es de 0.384m^3 y el caudal calculado es de 0.26m^3

Tabla 11. Verificación de la capacidad hidráulica cunetas de la vía existente

Margen Izquierda		Margen Derecha		OBRA RECEPTORA	Tc	TR	S longitudinal vía (%)	Q	CAPACIDAD	Verificación capacidad
Abs Inicial	Abs Final	Abs Inicial	Abs Final		min	años		l/s	Q máx (l/s)	
		PR26+760	PR26+880	PR 26+760	10	5	5.5	212	384	Ok
PR26+635	PR26+880			PR26+635	10	5	5.5	212	384	Ok

CANAL RECTANGULAR BORDE VÍA

Se propone un canal rectangular al borde de vía ubicado entre las abscisas PR26+635 hasta el PR26+760, en la margen derecha de esta, con el propósito de que reciba el caudal transportado por la cuneta, dicha estructura contará con bordillo con “ventanas” de 0.30 m cada 0.50 m, para garantizar el ingreso del flujo, su capacidad y dimensiones mínimas se muestran en la Tabla 12 y en las

Ilustración 12 y 13, el ancho de la estructura será de 0.70 m y la altura de 0.30 m.

Tabla 12. Dimensionamiento del canal al borde de vía.

Canal Rectangular										
y (m)	Base (m)	B mayor (m)	Area (m ²)	n	S (m/m)	P (m)	R (m)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	h (m)
0,11	0,7	0,70	0,08	0,016	0,06	0,92	0,08	0,22	2,82	0,26

Ilustración 12. Detalle sección transversal de Canal rectangular al borde de la vía, margen derecha.

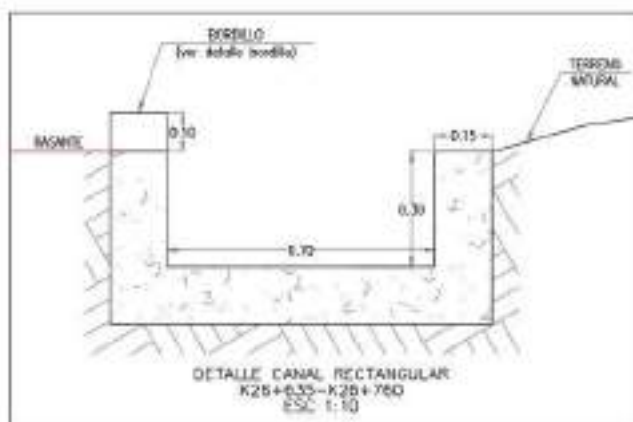
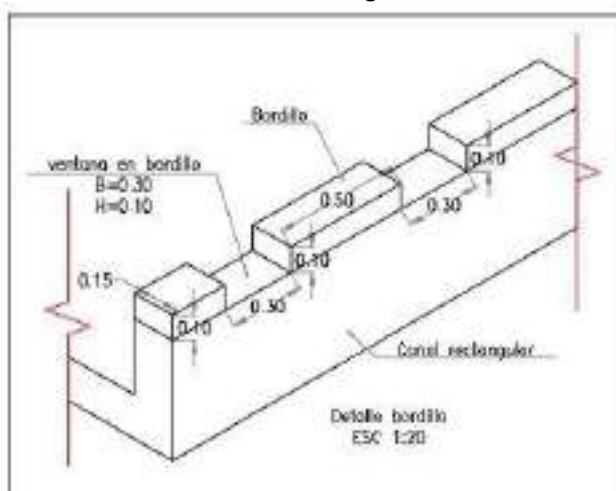


Ilustración 13. Detalle ventanas del Canal rectangular al borde de la vía, margen derecha.



DISEÑO DEL SUBDRENAJE

De acuerdo con el recorrido realizado al sitio a intervenir, se llegó a la conclusión de que se necesitan filtros franceses en la margen derecha de la vía.

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 INFILTRACIÓN¹

¹ Tomado de http://www.geosoftpavco.com/manual_geosinteticos_files/OEBPS/ibook_split_011.xhtml

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 Santiago Pérez para una duración de 60 minutos, se obtiene una intensidad 46.97 mm/h.

B (m) corresponde a la semibanca de la vía. Se asumió un valor de 4.0 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 13. 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 14). Refleja el hecho de que las bases dado su tiempo de servicio disminuyen su permeabilidad. Se asumió un valor de 1/3, correspondiente a bases bien gradadas de menos de 5 años.

Tabla 13. 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 14. Valores recomendados para el factor de retención de la base.

Tipo de Base	F_R
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 = coeficiente de permeabilidad del suelo adyacente. Por recomendaciones geotécnicas se toma el valor de 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 1.00 m con respecto a la rasante, considerando que la estructura de pavimento tiene 1.0 m de altura en promedio.

N_r = es la cota superior del nivel freático. En las perforaciones realizadas se encontró lámina de agua a 0.30 m de profundidad en algunos sectores.

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.

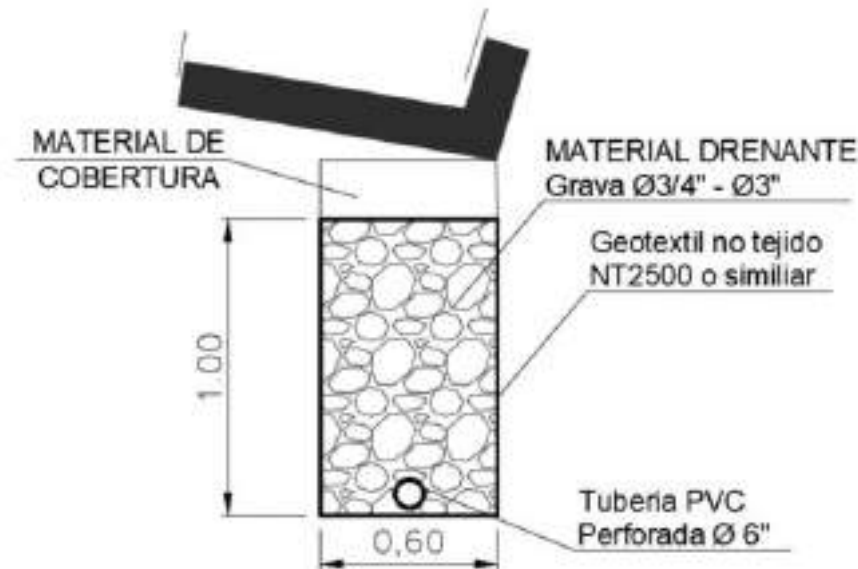
A es el área de la sección transversal del subdrén. Se ha asumido una sección de filtro de 0.60 m de ancho x 1.0 m de alto, en su interior tendrá una tubería perforada de 150mm de diámetro.

Tabla 15. Estimación del caudal del filtro para el tramo del K6+400 al K8+500.

CUADRO DE UBICACIÓN DE FILTROS LONGITUDINALES															
Abs Inicial	Abs Final	OBRA RECEPTORA	LONGITUD (m)	Pendiente Longitudinal Vía (%)	Q por infiltración (m ³ /s)	CAUDAL POR ABATIMIENTO DEL NIVEL FREÁTICO			Caudal Total (m ³ /s)	VERIFICACIÓN DE LA DIMENSIÓN DEL FILTRO				Diámetro tubería (mm)	Ubicación filtro
						Aa (m ²)	i (-)	2*Q _{NF} (m ³ /s)		V (m/s)	A (m ²)	Q _{máx} filtro (m ³ /s)	Evaluación		
K 26+636	K 26+880	K 26+636	244,00	5,5%	0,0021	170,80	0,175	5,98E-06	0,0021	1,762	0,6	1,057	Ok	150	Derecha

De acuerdo con la Tabla 15, la sección de filtro francés será de 1.0 m de altura y de 0.60 m de ancho para cumplir con los requerimientos hidráulicos de la zona y para proteger la estructura de pavimento como se muestra en la Ilustración 15, El filtro tendrá tubería perforada en PVC de 150 mm hasta pendientes longitudinales del 5.5 % y un tramo de 244 metros de longitud.

Ilustración 14. Detalle filtro.



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 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.

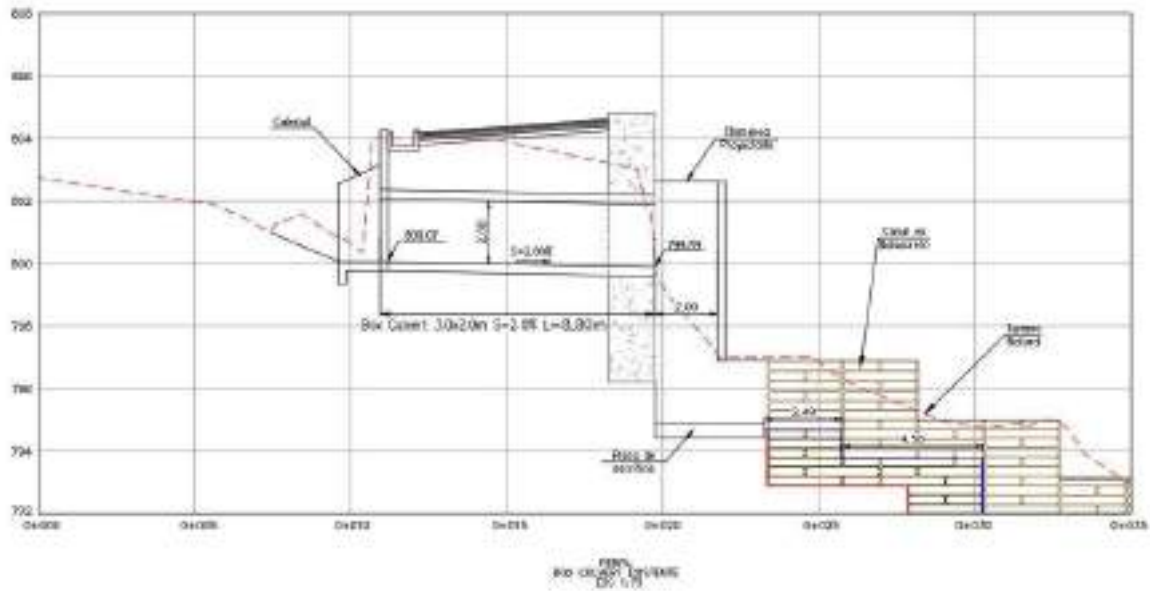
Las alcantarillas están compuestas por las estructuras de entrada y salida, el conducto o tubería de cruce propiamente dicho y las obras complementarias de encoles y descoles que conducen el agua hacia o desde la alcantarilla, respectivamente.

Con las consideraciones anteriores, la estructura proyectada en el PR26+636 como se muestra en la Ilustración 15, corresponde a un Box Culvert en concreto de 3m x 2m, en la Tabla 16 se presentan los resultados obtenidos al evaluar la estructura propuesta, la cual cumple con los parámetros necesitados.

Tabla 16. Resultados modelación hidráulica

Abscisa	Caudal de diseño			Evaluación Hidráulica				
	m ³ /s			Estructura	Dimensiones obra		Hw	Hw/D
	10	20	25		Base (m)	Altura (m)		
PR26+636	7,80	9,41	9,20	Box Culvert	3	2	1,75	0,88

Ilustración 15. Implantación box culvert abscisa PR26+636.



En el descole de este box culvert, se ubicará una chimenea como se muestra en la Ilustración 16 con el fin de transportar el caudal a cotas inferiores y también haciendo entrega al canal escalonado construido en bolsacretos.

Ilustración 16. Detalle de chimenea en descole del box culvert PR26+636.



CANAL RECTANGULAR EN BOLSACRETOS

El box culvert anteriormente mencionado descola en una chimenea que a su vez evacúa el flujo hacia un canal escalonado en bolsacretos, lo anterior lleva al dimensionamiento de la prolongación del canal de modo tal que se garantice un dimensionamiento de muros, huellas y contrahuellas adecuado para la evacuación correcta del caudal, para esto se recurrió a las ecuaciones de los vertederos de caída vertical, considerando que la huella como mínimo debe permitir que se desarrolle la profundidad seciente Y_1 , por lo tanto, en los escalones la disipación de energía es parcial. El flujo dentro de este tipo de obras funciona con números de caída, definidos como:

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

Donde q es el caudal por unidad de ancho de la cresta de la caída, g es la aceleración de la gravedad y h es la altura de la caída. Las dimensiones que aparecen en la

Ilustración 17; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se calculan por medio de las siguientes funciones:

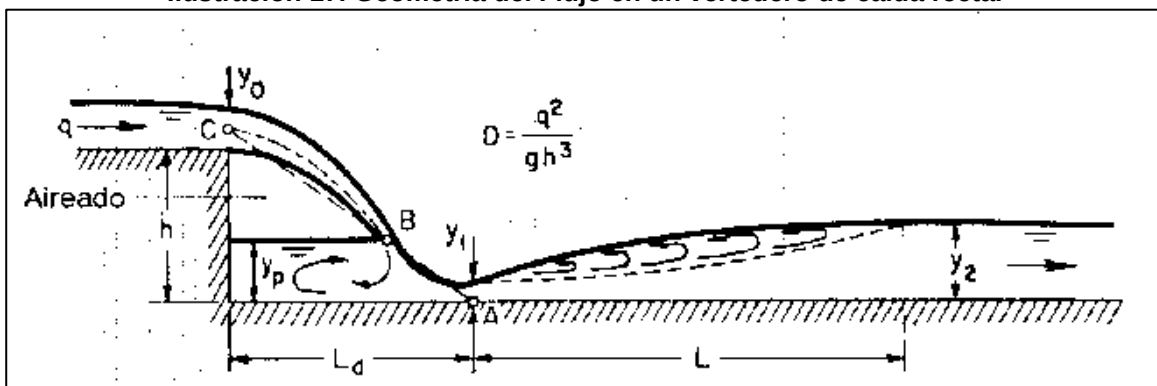
$$L_d = h \times 4.30D^{0.27}$$

$$y_p = h \times D^{0.22}$$

$$y_1 = h \times 0.54D^{0.425}$$

$$y_2 = h \times 1.66D^{0.27}$$

Ilustración 17. Geometría del Flujo en un vertedero de caída recta.



Fuente: *Hidráulica de Canales Abiertos de Ven Te Chow (1994).*

Los resultados que se presentan en la Tabla 17; son de un canal rectangular de 3m de base, primero se muestra la sección con medidas de contrahuellas de 5m de alto correspondiente a la altura de la chimenea, luego se calcula una longitud de huella la cual es de 5.84m, la cual para facilidades de construcción tendrá 6m, los muros laterales

calculados tienen una altura de 1.73m y por facilidades de construcción tendrán 2.0m de alto, de tal manera que se garantice el desarrollo de la altura de agua Y_p . Para las secciones restantes se calculó una contrahuella de 1m y huellas de 4.3m, con una altura de muros de 1.20 m así, la estructura estará en la capacidad de contener el total del caudal y conducirlo de manera adecuada, para facilidades de construcción la altura de estos muros será de 1,20m. Las dimensiones de dicha estructura se muestran a continuación en la

Ilustración 18, la altura de los muros de los costados es variable, de 1.20m hasta 2,0m.

Tabla 17. Dimensiones canal escalonado en bolsacretos.

ABSCISA	Q (m ³ /s)	B (m)	h (m)	Ld (m)	Yp (m)	V (m/s)
PR26+636	9,41	3,00	5,00	5,84	1,73	1,39
PR26+636	9,41	3,00	1,00	4,30	1,00	1,89

Ilustración 18. Dimensiones canal escalonado en bolsacretos.



8 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 el box culvert existente en la abscisa PR26+700.
- En el drenaje longitudinal de la vía se proponen cunetas en ambos lados, para un mejor manejo del caudal se propone un canal rectangular en el borde derecho desde la abscisa PR26+536 hasta la abscisa PR26+760.
- Se propone adecuar el box culvert de 3m x 2m presente en la abscisa PR26+636, en su descole se construirá una chimenea la cual ayudará a la correcta disposición del caudal. Esta hará entrega a un canal escalonado en bolsacretos con base de 3m y altura variable entre 1.20 m y 2.0 m.

9 ANEXOS

ANEXO 1. INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA.

ANEXO 2. CARTOGRAFÍA BASE.

ANEXO 3. PLANOS PLANTA – PERFIL.