



Diagnóstico hidráulico e hidrológico de las obras de drenaje vial en la Ruta 29 nacional, tramo 29RSE Pereira- Santa Rosa de Cabal entre la abscisa K 10+145 a K10+687,7 en el departamento de Risaralda.

Mónica Alejandra Coral Suarez

20481718842

Brayan Andrés Carlosama

20481719079

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Pereira, Colombia

2021

Diagnóstico hidráulico e hidrológico de las obras de drenaje vial en la Ruta 29 nacional, tramo 29RSE Pereira- Santa Rosa de Cabal entre la abscisa K 10+145 a K10+687,7 en el departamento de Risaralda.

Mónica Alejandra Coral Suarez

Brayan Andrés Carlosama

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director:

Ingeniero Octavio Andrés Aguirre Jaramillo

Línea de Investigación:

Gestión Integrada Del Recurso Hídrico

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación GRESIA

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Pereira, Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
Diagnóstico hidráulico e hidrológico de las obras de drenaje
vial en la Ruta 29 nacional, tramo 29RSE Pereira- Santa
Rosa de Cabal entre la abscisa K 10+145 a K10+687,7 en
el departamento de Risaralda, Cumple con los requisitos
para optar
Al título de Ingeniero Civil.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Pereira, 20 Noviembre 2021.

Contenido

	Pág.
Resumen	10
Abstract	12
Introducción.....	13
1. Antecedentes	16
2. Objetivos	25
3. Justificación	26
4. Marco teórico	28
5. Diseño metodológico	39
6. Resultado y análisis de resultados.....	42
7. Conclusiones	64
8. Recomendaciones.....	70
9. Anexos	74
10. Referencias Bibliográficas	75

Lista de Figuras

		Pág.
Figura 1.	<i>Ramificación conceptual para proyecto de grado</i>	28
Figura 2.	<i>Curva de Capacidad de infiltración</i>	32
Figura 3.	<i>Índice de infiltración</i>	32
Figura 4.	<i>Plano de localización de las estructuras</i>	43
Figura 5.	<i>Localización del área de estudio con puntos de inicio y fin georeferenciados</i> . 44	
Figura 6.	<i>Nº de estructuras de drenaje según su tipo</i>	47
Figura 7.	<i>Tipo de estructuras de acuerdo con su porcentaje de existencia</i>	48
Figura 8.	<i>Áreas aferentes a cada estructura</i>	49
Figura 9.	<i>Localización de los tramos de estructuras de drenaje vial analizadas</i>	49
Figura 10.	<i>Localización de los tramos de estructuras de drenaje vial analizadas</i>	50
Figura 11.	<i>Tipo de estructura vs Caudal transportado por sus áreas aferentes</i>	51
Figura 12.	<i>Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial</i>	53
Figura 13.	<i>Localización de las dos estaciones meteorológicas en el departamento de Risaralda</i> . 54	
Figura 14.	<i>Localización de la estación meteorológica Veracruz con respecto al área en estudio</i> . 55	
Figura 15.	<i>Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) Estación Veracruz – Santa rosa de Cabal</i>	55
Figura 16.	<i>Porcentaje % de trabajo con respecto al caudal de trabajo y caudal de diseño de las zanjas de coronación existentes</i>	57
Figura 17.	<i>Porcentaje % de trabajo con respecto al caudal de trabajo y caudal de diseño de cunetas existentes</i>	58

Figura 18.	<i>Porcentaje % de trabajo con respecto al caudal de trabajo y caudal de diseño de los canales existentes</i>	<i>59</i>
Figura 19.	<i>Velocidad del flujo (m/s) a través de las zanjas de coronación.....</i>	<i>61</i>
Figura 20.	<i>Velocidad del flujo (m/s) a través de las cunetas.....</i>	<i>62</i>
Figura 21.	<i>Velocidad del flujo (m/s) a través de los canales y velocidad según ancho del canal</i>	<i>63</i>
Figura 22.	<i>Estructuras de drenaje, que transportan mayor caudal (m³/s)</i>	<i>64</i>
Figura 23.	<i>Mayores velocidades del flujo (m/s), para las estructuras de drenaje existentes.</i>	<i>65</i>
Figura 24.	<i>Detalle de zanja de coronación.....</i>	<i>68</i>

Lista de tablas

		Pág.
Tabla 1	<i>Antecedente N°1 internacional</i>	16
Tabla 2	<i>Antecedente N°2 internacional</i>	17
Tabla 3	<i>Antecedente N°3 internacional</i>	18
Tabla 4	<i>Antecedente N°1 nacional</i>	19
Tabla 5	<i>Antecedente N°2 nacional</i>	20
Tabla 6	<i>Antecedente N°3 nacional</i>	21
Tabla 7	<i>Antecedente N°1 regional</i>	21
Tabla 8	<i>Antecedente N°2 regional</i>	22
Tabla 9	<i>Antecedente N°3 regional</i>	23
Tabla 10	<i>Valores de Coeficientes de escorrentía</i>	31
Tabla 11	<i>Valores de Coeficiente de escorrentía</i>	31
Tabla 12.	<i>Velocidad a través de canales según su material.</i>	35
Tabla 13.	<i>Diseño metodológico para el primer objetivo específico</i>	39
Tabla 14.	<i>Diseño metodológico para el segundo objetivo específico</i>	41
Tabla 15.	<i>Diseño metodológico para el tercer objetivo específico</i>	41
Tabla 16.	<i>Registro fotográfico relevante de las visitas de campo</i>	45
Tabla 17.	<i>Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales</i>	52
Tabla 18.	<i>Duración de la lluvia (min) de acuerdo con los Periodos de retorno</i>	53
Tabla 19.	<i>Valores para n. en el proceso de determinación del coeficiente de rugosidad</i>	60
Tabla 20.	<i>Velocidades máximas permisibles en canales artificiales según su material.</i>	61
Tabla 21.	<i>Presencia de basuras en terrazas y en canales</i>	66
Tabla 22.	<i>Fisura en zanja de coronación</i>	67
Tabla 23.	<i>Zanja de coronación nivel 4, presencia de fenómenos de erosión</i>	68

Tabla 24.	<i>Para determinar el nivel de deficiencia (ND).....</i>	72
Tabla 25.	<i>Para determinar el nivel de exposición (NE) se utiliza la siguiente tabla:</i>	72
Tabla 26.	<i>Determinación del nivel consecuencia (NC).....</i>	72

Lista de Ecuaciones

		Pág.
<i>Ecuación 1.</i>	<i>Balance hídrico</i>	30
<i>Ecuación 2 .</i>	<i>Formula método racional.</i>	33
<i>Ecuación 3.</i>	<i>Formula de la continuidad de Manning.....</i>	34
<i>Ecuación 4.</i>	<i>Cálculo del ancho del canal con pantallas deflectoras (CPD).....</i>	36
<i>Ecuación 5.</i>	<i>Cálculo de velocidad del canal con pantallas deflectoras (CPD)</i>	37
<i>Ecuación 6.</i>	<i>Calculo del ancho para el canal de rápidas con tapa y columpio (CRTC)</i>	37
<i>Ecuación 7.</i>	<i>Cálculo de la velocidad para el canal de rápidas con tapa y columpio (CRTC)</i>	
	38	
<i>Ecuación 8.</i>	<i>Método racional.....</i>	52
<i>Ecuación 9.</i>	<i>Expresión de Manning</i>	56
<i>Ecuación 10.</i>	<i>Expresión de Manning</i>	59
<i>Ecuación 11.</i>	<i>Para determinar el nivel de probabilidad (NP).....</i>	71

Resumen

Diagnosticar el diseño, capacidad y funcionamiento de un tramo de vía con sus respectivas obras de drenaje permite conocer las condiciones en las que se encuentra operando y determinar así si son favorables para el sistema vial al que pertenece; con este propósito se eligió el tramo de vía localizado en sector el Rodeo, el cual tiene una extensión de 542,6m y que sirve como retorno vial para usuarios de la autopista del café entre los municipios de Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal.

Las condiciones de campo permitieron obtener una serie de datos de primera mano en ayuda con información digital aportada por el concesionario de la vía la cual fue procesada a través de cálculos matemáticos y uso de programas de sistemas como AutoCAD y ArcGIS que revelan los niveles en los que se encuentra el manejo de aguas lluvias por parte de estas estructuras de drenaje para proteger el terreno de fenómenos de erosión; esta información agrupada se pudo comparar con los cálculos obtenidos al incluir los factores obligados en esta región y la zona específica que se tiene en estudio, como periodo de retorno, coeficiente de escorrentía, intensidad de la lluvia medida a través de curvas IDF, para determinar si se encuentran cumpliendo con las exigencias establecidas por las condiciones climáticas que se tienen en el eje cafetero.

Durante los recorridos que se realizaron en el área objeto de estudio, se pudo confirmar mediante observaciones directas que existe deterioro en algunas estructuras y que no existe un plan

de mantenimiento integral para las estructuras y sus áreas aferentes, de tal forma que la capa vegetal tiende a ocupar el espacio interior de las zanjas de coronación por falta de rocería.

Palabras claves: Escorrentía, Hidrología, hidráulica, precipitaciones, talud, periodo de retorno.

Abstract

Diagnosing the design, capacity and operation of a section of road with its respective drainage works allows to know the conditions in which it is operating and thus determine if they are favorable for the road system to which it belongs; For this, the road section located in the El Rodeo sector was chosen, which has an extension of 542.6m and this serves as a return path for users of the coffee highway between the municipalities of Dosquebradas and Santa Rosa de Cabal. Traducción al idioma inglés del resumen. Evitar el uso de software de traducción.

The field conditions allowed obtaining a series of first-hand data to help with the digital information provided by the road concessionaire, which was processed through mathematical calculations and the use of system programs such as AutoCAD and ArcGIS that reveal the levels at which the management of rainwater through these drainage structures is found to protect the land from erosion phenomena; This grouped information could be compared with the calculations obtained by including the factors required in this region and the specific area under study, such as return period, runoff coefficient, rainfall intensity measured through IDF curves, to determine if they are complying with the established requirements. due to the climatic conditions that exist in the coffee region.

That there is not comprehensive maintenance plan for the structures and their afferent areas, in such a way that the vegetation layer occupy the interior space of the crowning trenches due to lack of rubbing.

Keywords: runoff, hydrology, hydraulic, precipitation, slope, return period.

Introducción

Las estructuras de drenaje que se diseñan sobre las áreas aferentes a las carpetas viales, cumplen una labor muy importante de proteger la integridad de la infraestructura vial regional, ya que su construcción permite una normal conducción y evacuación de las aguas de escorrentía superficiales y las lluvias de infiltración, caudales que de no ser manejados provocan un deterioro avanzado en los terrenos y daños precipitados en las estructuras viales (Paluo, 2019).

Para el presente estudio hidráulico e hidrológico se eligió el tramo de vía construido por el concesionario Autopistas del Café S.A. para facilitar el retorno de los vehículos que se desplazan entre los municipios de Dosquebradas - Santa Rosa de Cabal y viceversa, demarcada como Ruta 29 nacional, tramo 29RSE Dosquebradas - Santa Rosa de Cabal entre la abscisa K 10+145 a K10+687,7 según resolución 3700 de 1995 expedida por el Ministerio de Transporte de Colombia, el cual tiene una extensión de 542,7 metros lineales, en cuyo recorrido podemos encontrar diversas obras de captación y drenaje tales como canales de tipo lisos, escalonados y con pantallas deflectoras, cunetas de sección cuadrada, trapezoidal y en “V” poco profunda.

El diagnóstico que nos ocupa contempló el análisis de las obras de drenaje vial debido a los deslizamientos y siniestros viales presentados en las cercanías al tramo en épocas de altas precipitaciones; de manera preliminar se recurrió al sistema de información geográfica de Google Earth donde se obtuvieron las curvas de nivel de una superficie de 1,1 km² que comprenden no solamente las áreas aferentes de ambos costados del tramo vial en estudio, sino también áreas aferentes a los trazados del par vial Dosquebradas – Santa Rosa de Cabal, esta información se pudo cotejar con el documento que en medio digital aportó para el presente trabajo de grado la firma

concesionaria de la vía Autopistas del Café S.A. a través del cual se consiguió un mejor detalle de las ondulaciones del terreno, siendo esta la razón por la cual se eligió este último registro como medio de ayuda para localización y georeferenciación de las estructuras de drenaje, archivo que permitió cumplir con el objetivo de realizar el diagnóstico hidrológico e hidráulico de las obras de drenaje vial en el tramo indicado habiendo conseguido evaluar el comportamiento actual de los elementos de drenaje existentes y corroborar que cumplen con los parámetros de la normativa vigente.

Mediante la ejecución de actividades como el estudio hidrológico, suministro del levantamientos topográficos en la zona por parte de la empresa Autopista del Café S.A, reconocimiento e inventario de las obras de drenaje existentes en el tramo vial, incluyendo su digitalización y la toma de un registro fotográfico de ellas, y contando con la ayuda de variables como las curvas de nivel y la clasificación de las obras de drenaje en cumplimiento de la normatividad vigente, entre otras, permiten alcanzar el primer objetivo específico propuesto de obtener el caudal real de las áreas aferentes a las obras de drenaje vial mediante la utilización del método racional.

En cumplimiento del segundo objetivo específico de determinar las velocidades de funcionamiento de las estructuras de drenaje vial, surgió la necesidad de realizar el cálculo de velocidad del flujo en condiciones de diseño, el cual fue posible hallar mediante la aplicación de la fórmula de velocidad de flujo expresada por Manning que incluye el coeficiente de rugosidad de la superficie sobre la que se transporta el caudal, pendiente de la estructura de drenaje y radio hidráulico.

Habiendo conseguido establecer los parámetros reales de caudal y velocidad de flujo de las estructuras existentes fue que se pudo contrastar que las condiciones de su funcionamiento están acorde con los diseños que exige la norma para este tipo de estructuras de drenaje, exceptuando la cuneta tipo triangular construida sobre el lado derecho de la vía, estructura cuyas dimensiones se encuentran por debajo de los diseños que exige la norma, situación que la lleva a estar operando actualmente al 312% de su capacidad.

1. Antecedentes

El tema objeto de estudio ha sido tratado por diferentes autores a nivel internacional, nacional y regional, quienes interesados en determinar la manera en que los factores climáticos afectan las obras de drenaje construidas en los corredores viales, han publicado diferentes trabajos de investigación que se encuentran disponibles en espacios virtuales como la biblioteca de la Universidad Antonio Nariño, Pontificia Universidad Católica de Perú, Síe Ingeniería, Corporación Autónoma Regional del Quindío, Google Académico, entre otra bases de datos que sirven de fuente para investigar y conocer los proyectos más relevantes sobre el comportamiento hidrológico e hidráulico de las estructuras de drenaje vial. A continuación se clasifican según su origen:

1.1 Internacionales

1.1.1. “Evaluación hidrológica e hidráulica de los drenajes transversales en la carretera

Cocahuayco – Cocachimba – Bongará - Amazonas”

Tabla 1

Antecedente N°1 internacional

Detalle	Contenido
Objetivo	Evaluar el sistema de drenaje transversal de la carretera Cocahuayco, Cocachimba, Distrito de Valera, provincia de Bongará – Amazonas.
Origen	Internacional (Cajamarca – Perú)
Semejanzas	Se realiza identificación y dimensionamiento de estructuras hidráulicas para manejo de aguas superficiales.

Detalle	Contenido
Diferencias	Se hace cálculo de caudales para diseño el método racional y el uso de la curva duración intensidad frecuencia (IDF). En proyecto del amazonas se enfoca principalmente en realizar diseños y mejoramiento de taludes en lo referente al corte a diferencia del proyecto en mención que se centra en recolección de datos para análisis de estructuras hidráulicas (diagnostico)

Nota: Tomado de la tesis profesional de (Altamirano, 2017)

- 1.1.2.** Mejoramiento del diseño de la trocha carrozable a nivel afirmado del tramo cruce carretera Llaray - caserío Las Pajillas, distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, La Libertad 2020.

Tabla 2
Antecedente N°2 internacional

Detalle	Contenido
Objetivo	Realizar el mejoramiento del diseño de la carretera a nivel afirmado del tramo cruce carretera Llaray - caserío Las Pajillas, distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de chuco, la Libertad 2020.
Origen	Internacional (Trujillo – Perú)
Semejanzas	Ambos trabajos se asemejan por fijar en sus objetivos realizar los estudios y diagnósticos hidrológicos, de igual manera se lleva a cabo el cálculo de caudales de diseño el método racional y el uso de la curva duración intensidad frecuencia (IDF).
Diferencias	El estudio realizado en distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, se enfoca en realizar un diseño geométrico de carreteras y seguidamente estudios ambientales. Adicionalmente no se realiza diagnóstico de estructuras hidráulicas como en el presente proyecto.

Detalle	Contenido
---------	-----------

Nota: Tomado de la tesis profesional de (Julca Santa cruz & Sanchez Meza, 2020)

1.1.3. Diseño del sistema de drenaje pluvial para el casco urbano del municipio de La Concepción-Masaya.

Tabla 3
Antecedente N°3 internacional

Detalle	Contenido
Objetivo	Diseñar el sistema de drenaje pluvial para el casco urbano del municipio de La Concepción-Masaya.
Origen	Internacional (Managua – Nicaragua)
Semejanzas	Se hacen semejantes al momento de enfocarse los dos trabajos en diagnosticar el estado físico-estructural del drenaje pluvial superficial existente del sector estudiado. En los dos proyectos se hace uso de la curva Intensidad Duración Frecuencia (IDF), y el método racional para realizar los correspondientes caculos de caudales de diseño (Q).
Diferencias	El trabajo tomado como antecedente se enfoca en realizar diseño de drenaje pluvial en zona urbana, a diferencia del estudio en mención que se enfoca en diagnostico hidráulico e hidrológico de drenajes viales en zonas rurales.

Nota: Tomado de la tesis profesional de (García Hernandez, Montoya López, & Rodriguez Hernandez, 2013).

1.2 Nacionales

- 1.2.1. Consideraciones generales para realizar el diseño hidrológico e hidráulico de obras de drenaje para vías de bajos volúmenes de tránsito caso de estudio pista de prueba urrao-antioquia.

Tabla 4

Antecedente N°1 nacional

Detalle	Contenido
Objetivo	Especificar consideraciones generales sobre los diseños hidrológicos e hidráulicos para vías de bajo volumen de tránsito.
Origen	Nacional (Medellín – Antioquia)
Semejanzas	Ambos trabajos se centran en realizar estudios hidrológicos e hidráulicos en obras de drenaje vial, en zonas montañosas y taludes de altas pendientes.
Diferencias	En el trabajo de grado seleccionado se evidencia que se busca llevar a cabo estudios con los cuales se formalizara un diseño hidrológico e hidráulico, de tal manera diferenciándose del presente proyecto de grado el cual se centra principalmente en recolección de datos en campo y ejecución de un diagnóstico sin incluir diseños. También este proyecto se encuentra limitado a vías con bajos volúmenes de tránsito.

Nota: Tomado de la tesis profesional de (Barco, 2016)

1.2.2. Propuesta de diseño de un sistema de drenaje vial para el tramo de carretera terciaria san Joaquín alto del tigre en el municipio de la mesa Cundinamarca.

Tabla 5
Antecedente N°2 nacional

Detalle	Contenido
Objetivo	Diseñar el sistema de drenaje en vía terciaria en el sector de San Joaquín –Alto Del Tigre en La Mesa Cundinamarca 1,2 km.
Origen	Nacional (Bogotá D.C – Cundinamarca)
Semejanzas	En los dos proyectos se hace uso de la curva Intensidad Duración Frecuencia (IDF), y el método racional para realizar los correspondientes caculos de caudales de diseño (Q).
Diferencias	El trabajo se lleva a cabo en una carretera terciaria, las cuales presentan menores flujos vehiculares e inversiones para mantenimiento de vías y manejo de aguas superficiales y subsuperficiales, a diferencia del presente estudio que se realiza en una vía primaria de continuos flujos vehiculares. Se realiza el diseño y verificación de las dimensiones a través del software H CANALES.

Nota: Tomado de la tesis profesional de (Romero Vanegas, Ronchaquira Sabogal, & Gomez Pachon, 2017).

- 1.2.3. Diseño hidráulico y seguimiento de obras para el control de erosión en ríos y taludes en los tramos 2, 3 y 4 de la vía Bogotá Villavicencio.

Tabla 6*Antecedente N°3 nacional*

Detalle	Contenido
Objetivo	Realizar el diseño hidráulico y de seguimiento para el control de erosión en taludes y ríos en las obras realizadas para los tramos 2, 3 y 4 de la vía Bogotá-Villavicencio.
Origen	Nacional (Bogotá D.C – Cundinamarca)
Semejanzas	Se hace uso de del método racional para cálculo de caudales de diseño. Los estudios se realizan en sectores viales con taludes de altas pendientes y propensos a deslizamientos y movimientos en masa
Diferencias	El enfoque de este proyecto son los diseños hidráulicos y control de erosión en taludes y ríos.

Nota: Tomado de la tesis profesional de (Benavides Contreras & Robayo Botero, 2013)

1.3 Regionales

- 1.3.1. Diagnóstico hidrológico e hidráulico del estado actual de la cuenca de la quebrada las burras – dorada, caldas. 2016

Tabla 7*Antecedente N°1 regional*

Detalle	Contenido
Objetivo	Realización de dos estudios diagnósticos hidrológicos e hidráulicos con fines de adelantar medidas de protección ambiental en dos ambientes hidrográficos del departamento de Caldas: la corriente de la Quebrada las Burras, afluente de la charca de Guarinocito en el

Detalle	Contenido
	Municipio de La Dorada, en la cual se establezca el estado actual de la cuenca a fin de determinar las afectaciones reales de la misma sobre los niveles de sedimentación de la charca y establecer propuestas metodológicas de intervención; y en las corrientes urbanas del municipio de Manizales, para realizar el ajuste y actualización de las fajas forestales protectoras a escala de detalle, según la resolución 561 de 2012, utilizando la imagen tipo LIDAR suministrada por la Corporación, donde se encuentran las corrientes para la cabecera urbana del Municipio de Manizales.
Origen	Regional (La dorada – Caldas)
Semejanzas	Esta investigación realiza el cálculo del caudal a través del método racional y con la utilización de la curva de intensidad, duración y frecuencia (IDF).
Diferencias	Los estudios se realizan a dos afluentes hídricos y no a las estructuras de drenaje vial, razón por la cual discrepa con la investigación del presente proyecto de grado.

Nota: Tomado del informe de la empresa (Integrales), 2016)

1.3.2. Diagnóstico del estado actual de la infraestructura hidráulica y taludes de la red

vial secundaria del tramo San Joaquín – Alcalá, sector Pereira. 2017.

Tabla 8
Antecedente N°2 regional

Detalle	Contenido
Objetivo	Diagnosticar el estado actual de la infraestructura hidráulica y taludes de la red vial secundaria del tramo San Joaquín – Alcalá, sector Pereira.

Origen	Regional (Pereira– Risaralda)
Semejanzas	Se evidencia la utilización de los formatos de inspección visual para drenajes y obras transversales del INVIAS.
Diferencias	El proyecto de grado se enfoca en el estado físico de la infraestructura hidráulica y de los taludes en dicha zona, con el fin de identificar las amenazas por fenómenos de remoción en masa.

Nota: Tomado de la tesis profesional de (Arias Bermudez, Borbón Sepulveda, Hoyos Cataño, & Montoya Guana, 2017).

- 1.3.3.** Estudio hidrológico e hidráulico que identifique las manchas de inundación para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) a lo largo del río Lejos cerca de la zona urbana del municipio de Pijao, departamento del Quindío. 2018

Tabla 9
Antecedente N°3 regional

Detalle	Contenido
Objetivo	Realizar el estudio hidrológico e hidráulico que identifique las manchas de inundación para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) a lo largo del río Lejos cerca de la zona urbana del municipio de Pijao en el departamento del Quindío.
Origen	Regional (Pijao – Quindío)
Semejanzas	Se realizan los cálculos respectivos de los parámetros morfométricos de la cuenca, y se utiliza la curva de intensidad, duración y frecuencia (IDF) para la determinación de la intensidad de la tormenta.
Diferencias	Los estudios se realizan a un afluente hídrico y no a las estructuras de drenaje vial, razón por la cual discrepa con la investigación del presente proyecto de grado.

Nota: Tomado del informe final de la Corporación Autónoma Regional del Quindío (Carreño, 2018).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Realizar el diagnóstico hidrológico e hidráulico de las obras de drenaje vial en la Ruta 29 nacional, tramo 29RSE Pereira- Santa Rosa de Cabal entre la abscisa K 10+145 a K10+687,7 en el departamento de Risaralda, con el fin de evaluar el comportamiento actual versus los parámetros de la normativa vigente.

2.2 Objetivos específicos

- Obtener el caudal transportado de las áreas aferentes a las obras de drenaje vial mediante la utilización del método racional.
- Determinar las velocidades de funcionamiento de las estructuras de acuerdo con las dimensiones actuales de las obras de drenaje vial.
- Contrastar las condiciones de funcionamiento de las obras de drenaje existentes en la vía objeto de estudio con los diseños que exige la norma para este tipo de estructuras de drenaje vial.

3. Justificación

La deficiencia en las estructuras de drenaje para el manejo de aguas lluvias en los corredores viales, ya por su deterioro o bien por su reducido número, generan problemas en las vías, especialmente en temporadas de lluvia. El tramo de vía que se tiene en estudio corresponde a un corredor ubicado en el sector El rodeo en el Alto de Boquerón construido para unir el par vial de la vía Dosquebradas – Santa Rosa de Cabal, motivo por el cual se convierte en una importante ruta que sirve de retorno para los usuarios, es así que el buen estado de su carpeta, obras de drenaje y talud, garantizan el normal funcionamiento para el cual fue diseñado.

En avisos noticiosos que han sido de conocimiento público en la región han quedado registrados los eventos de deslizamiento de tierra que se han presentado en el sector de ubicación de este corredor vial, especialmente en temporadas de lluvia cuando los excesos de agua que se infiltran en el terreno no son evacuados de manera oportuna o adecuada.

Tal como lo menciona el autor (Olaciregui & Andes, 1997): “El agua es el factor que más comúnmente se asocia con las fallas de los taludes. La mayoría de los deslizamientos ocurren después de lluvias fuertes o durante época de lluvia, y el control de agua subterránea es uno de los sistemas más efectivos para controlar los deslizamientos”. Esta zona del eje cafetero es de alta pluviosidad, ya que en la actualidad varía entre los 2000 y 2500 mm anuales que en comparación con las precipitaciones de toda la región Andina la cual se encuentra entre los 500 y 3500 mm anuales, representa así una las zonas con mayores precipitaciones de dicha región.

La duración de la carpeta vial y sus estructuras de drenaje dependen en gran proporción del manejo que se haga a las aguas de infiltración y escorrentía tal como lo afirma (INVIAS & UNAL,

2006) quien al respecto manifiesta que el exceso de agua u otros fluidos en los suelos o en la estructura de una carretera, afecta sus propiedades geomecánicas, los mecanismos de transferencia de carga, presiones de poros, subpresiones de flujo y presiones hidrostáticas. Por tal motivo, y aun cuando el agua es un elemento fundamental para la vida, es también una de las causas más relevantes de deterioro prematuro de la infraestructura vial.

Este diagnóstico hidráulico e hidrológico es importante, pues de sus resultados se concluirá el estado en el que se encuentran las estructuras de drenaje vial en el corredor utilizado como retorno entre las ciudades de Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal, el cual presta un servicio a los usuarios que transitan por esta zona y que en ocasiones se han visto afectados por los deslizamientos en esta vía que facilita el transporte intermunicipal de pasajeros, carga y desplazamiento de vehículos particulares en actividades laborales y de turismo.

4. Marco teórico

El diagnóstico hidráulico e hidrológico de las obras de drenaje vial para el tramo de vía que se tiene en estudio, se presenta de manera resumida en la siguiente ramificación conceptual la cual contempla los subtemas específicos de la hidrología y la hidráulica a tener en cuenta en el manejo de aguas en la vía, donde el autor Roberto Hernández Sampieri propone en su libro Metodología de la investigación, la técnica de ramificación conceptual para un proyecto de grado.

Figura 1.
Ramificación conceptual para proyecto de grado



Nota: El mapa conceptual representa los subtemas del marco teórico del proyecto “Diagnóstico hidráulico e hidrológico de las obras de drenaje vial en la Ruta 29 nacional, tramo 29RSE Pereira- Santa Rosa de Cabal entre la abscisa K 10+145 a K10+687,7 en el departamento de Risaralda.” Fuente propia

Todos los corredores viales se diseñan y se construyen con estructuras laterales al eje vial que permitan realizar un correcto manejo de aguas en la vía, de tal forma que sean suficientes para impedir que los caudales de agua lluvias precipitados en las áreas aferentes a la carpeta vial, ingresen a la superficie de rodadura donde pueden ser causales de siniestros viales y deterioros graduales de la estructura vial, así mismo deben contar con un diseño tal que reciba el caudal que por efecto de la gravedad llega desde la carpeta de rodadura, teniendo como finalidad transportar dichos caudales hasta una fuente hídrica, cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado (Ministerio de Vivienda, 2017).

El manejo de aguas en la vía se constituye en un desafío para los profesionales de la Ingeniería Civil quienes deben contemplar en primera instancia la hidrología de la región como el factor principal de análisis para la comprensión y atención de los siguientes subtemas.

4.1. Hidrología

4.1.1. Precipitación

De acuerdo con (Morán, 1989) en su libro Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil, tiene la precipitación definida como toda forma de humedad se origina en las nubes y llega hasta la superficie terrestre en forma de lluvia, granizada o nieve, dependiendo de factores como la latitud, altitud, corrientes marinas, vientos dominantes y barreras orográficas; esta condición climática, medida en mm o L/m² de superficie, es uno de los factores determinantes en cada zona para definir el dimensionamiento de las estructuras que permiten el manejo de aguas en la vía.

Con la ecuación que se ilustra a continuación se deduce que el total de agua lluvia precipitada está conformada por la intercepción o cantidad de agua retenida en la capa vegetal u

otros obstáculos, por el agua almacenada de manera superficial en la capa terrestre, por el agua evaporada desde el suelo, por la cantidad de agua infiltrada en la superficie de la tierra y por el agua de escorrentía que fluye por la pendiente del terreno

Ecuación 1.

Balance hídrico

Ecuación de balance hídrico $P = I + S + E + F + P_n$

Nota: En la ecuación P= Lluvia total, I= Intercepción, S= Almacenamiento superficial, E=Evaporación desde el suelo, F= Infiltración, Pn= Escorrentía directa. Tomado del libro (Morán, 1989).

4.1.2. Infiltración

Según el autor (Morán, 1989) en su libro Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil indica que por efecto de la precipitación, el agua lluvia que cae sobre la superficie terrestre y no consigue almacenarse, evaporarse o formar caudales de escorrentía, empieza a pasar través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra donde se pueden presentar dos procesos distintos, el primero de ellos es que el agua infiltrada haga parte de los depósitos subterráneos, en tanto que el segundo lo constituye un caudal de agua infiltrada que continua en movimiento hasta formar un proceso de percolación dependiente de la topografía del terreno.

4.1.3. Escorrentía

Corresponde específicamente a los caudales de agua que corren ladera abajo en terreno natural o impermeabilizado, debido a precipitaciones recientes en esta zona, normalmente toman curso por efecto de la gravedad hacia fuentes hídricas o cuerpos de agua ubicados en las partes más bajas de la topografía de este terreno o en su defecto hacia estructuras de conducción

construidas por el hombre; durante su trayecto se forman caudales de distinto orden de acuerdo al nivel de precipitación y para su medición existen varios métodos que a continuación se indican.

Método del coeficiente de escorrentía esta medición está asociada a las condiciones del suelo por donde fluye el agua de escorrentía y se deben tener en cuenta los parámetros que se indican en las siguientes tablas:

Tabla 10
Valores de Coeficientes de escorrentía

Naturaleza de la superficie	Topografía	
	Ondulada S de 5-10%	Inclinada S de 10-30%
Cultivos generales	0,6	0,72
Cultivos de pasto	0,36	0,42
Cultivos de bosque	0,18	0,21
Áreas desnudas	0,8	0,9

Nota: Representa diferentes valores de coeficiente de escorrentía, de acuerdo con el tipo de terreno y su pendiente. Tomada del Libro riegos y avenamientos (Blair, 1957)

Método mediante la separación de histogramas usando curva de infiltración:

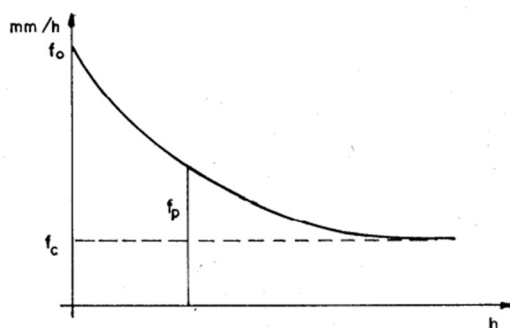
Tabla 11
Valores de Coeficiente de escorrentía

Área residencial urbana solo casas habitación	0,30
Apartamentos con espacios verdes	0,50
Área de edificios comerciales e industriales	0,90
Áreas boscosas, dependiendo del suelo	0,05 – 0,20
Parques, terrenos agrícolas y pastizales	0,05 – 0,20
Asfalto o pavimento de concreto	0,85

Nota: Representa diferentes valores de coeficiente de escorrentía, para zonas residenciales. Tomada del Hidrología para estudiantes de ingeniería civil de (Morán, 1989).

Este método está basado en el manejo de la curva de infiltración que se ilustra a continuación, apoyándose en la tasa máxima en la cual puede penetrar el agua en el suelo durante un fenómeno de precipitación.

Figura 2.
Curva de Capacidad de infiltración



Nota: Tomada del libro Hidrología para estudiantes de ingeniería civil de (Morán, 1989).

Método de empleo de índices de infiltración: Es la tasa de precipitación por encima de la cual el volumen de lluvia es igual al volumen de escorrentía directa y su obtención se hace a través del sistema gráfico que se ilustra a continuación.

Figura 3.
Índice de infiltración

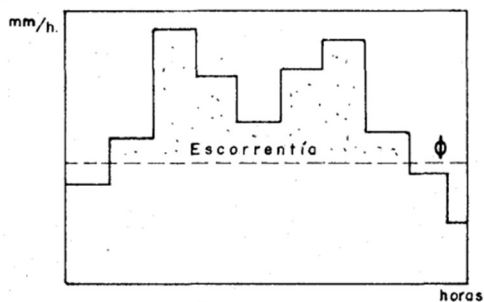


Fig. 4.6 EL INDICE ϕ

Nota: Tomada del libro Hidrología para estudiantes de ingeniería civil (Morán, 1989).

4.1.4. Método racional

El método racional parte de un valor adimensional de escorrentía, definiendo que el caudal máximo de escorrentía es directamente proporcional a la intensidad máxima de la lluvia para un periodo de duración igual al tiempo de concentración y al área de la cuenca.

Ecuación 2 .

Formula método racional.

$$Q_E = C i A$$

Nota: En donde C= Coeficiente de escorrentía, i: Intensidad de la lluvia y A: área aferente. Tomada del Manual de drenaje para carreteras. (INVIAS, 2009).

4.2. Hidráulica.

La hidráulica se define según (Álvarez Álvarez, y otros, 2018) en el libro hidráulica aplicada para ingenieros civiles como la ciencia que trata sobre las leyes que rigen los movimientos de los líquidos, y de las técnicas destinadas para el aprovechamiento de las aguas o a la defensa o protección contra las mismas. Para el manejo de agua de escorrentía en laderas y taludes se utilizan elementos como canales o cunetas por lo cual se presentan los siguientes subtemas de las propiedades mecánicas de los fluidos dependiendo a las circunstancias que se vean sometidas.

4.2.1. Cunetas y zanjas de coronación.

La función que cumplen las cunetas y las zanjas de coronación es captar el agua de escorrentía superficial de vías y taludes para posteriormente conducirlos longitudinalmente hasta un lugar para su correcta disposición, las cunetas al igual que las zanjas de coronación pueden variar en su geometría, pendiente y ubicación esto depende de su facilidad de construcción y la disposición del terreno donde se implantara la obra.

El diseño de una cuneta y zanja de coronación se mide por la capacidad hidráulica que esta posea, estimada con la expresión de Manning.

Ecuación 3.

Formula de la continuidad de Manning.

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

Nota: De la ecuación, Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo; n: Coeficiente de rugosidad de Manning; A: área mojada respetando un borde libre equivalente al 30% de la altura total, en metros cuadrados (m²); R: Radio hidráulico el cual se calcula con base en la geometría de la estructura, en metro (m); S: pendiente, en metros por metro (m/m). Tomada del Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS, 2009).

4.2.2. Canales de rápidas.

La función que cumplen los canales de rápidas es captar el agua de escorrentía en los cortes de gran magnitud en los cuales la vía se encuentra ubicada en un nivel inferior con respecto al terreno natural, es necesario el uso de canales para conectar la corriente existente en la parte superior con las cunetas ubicadas en el nivel inferior, las cunetas pueden variar en su

geometría, pendiente y ubicación esto depende de su facilidad de construcción y la disposición del terreno donde se implantara la obra.

Debido a la topografía de la región conformada por altas pendientes se la necesidad de construir estructuras de caídas escalonadas y lisas las cuales han sido analizadas para pendientes entre 5.7° y 55° .

El diseño trata en calcular la velocidad y la profundidad del flujo en la estructura, la energía al final de la estructura y el incremento de la profundidad del flujo por efecto del aire para determinar la altura de muros de la estructura.

La función que cumplen es captar el agua en los taludes y conducirlos de manera rápida a través de estos y entregarlo en la cuneta más cercana, para el diseño de estos es de suma importancia definir la velocidad máxima para cada tipo de material.

Tabla 12.
Velocidad a través de canales según su material.

Material	Velocidad Máxima (m/s)
Ladrillo común	3,0
Ladrillo vitrificado	5,0
Arcilla vitrificada (gres)	4,0
Concreto 175 kg/cm ² (17,2 MPa)	6,0
Concreto 210 kg/cm ² (20,6 MPa)	10,0
Concreto 280 kg/cm ² (27,5 MPa)	15,0
Concreto 350 kg/cm ² (34,3 MPa)	20,0

Nota: Tomada del Manual de drenaje para carreteras. (Ministerio, 2009).

Parámetros de diseño.

De acuerdo con lo establecido en el Manual de drenaje para carreteras (INVIAS, 2009) establece los siguientes parámetros de diseño, en donde la sección debe diseñarse para el tramo de mayor pendiente que presente el perfil longitudinal del canal, y esa misma servirá para pendientes menores.

La velocidad de entrada al canal no debe ser mayor que la que tendría dentro de él en una pendiente del 50%. Si no se cumple esta condición, se puede lograr la disipación dentro del mismo canal aumentando la altura y/o la pestaña en el tramo inicial.

Las pantallas pueden prefabricarse, mientras sea práctico, y pueden dejarse cortas con el objeto de permitir un espacio entre ellas y las paredes del canal, para simplificar la formaleta lateral. El espacio se rellenará posteriormente con concreto.

La entrega del canal puede consistir en aletas y enrocado, prescindiendo de la estructura de disipación de energía si el último tramo del canal es de pendiente moderada.

Ecuación 4.

Cálculo del ancho del canal con pantallas deflectoras (CPD)

$$b = 0.98 Q^{0.4} \quad \text{para pendiente de 10\%}$$

$$b = 1.04 Q^{0.4} \quad \text{para pendiente de 50\%}$$

Donde: **b:** Ancho del CPD, en metros (m).

Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m^3/s).

Nota: Tomada del Manual de drenaje para carreteras. (Ministerio, 2009).

Ecuación 5.

Cálculo de velocidad del canal con pantallas deflectoras (CPD)

$$V = 2.64 Q^{0.2} \quad \text{para pendiente de 10\%} \quad [4.77]$$

$$V = 4.42 Q^{0.2} \quad \text{para pendiente de 50\%} \quad [4.78]$$

Donde: V: Velocidad promedio en el CPD, en metros por segundo (m/s).

Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m³/s).

Nota: Tomada del Manual de drenaje para carreteras. (Ministerio, 2009).

Ecuación 6.

Cálculo del ancho para el canal de rápidas con tapa y columpio (CRTC)

$$a = 0.905 Q^{0.4} \quad [4.82]$$

Donde: a: Ancho del CRTC alterno, en metros (m).

Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo (m³/s).

Nota: Tomada del Manual de drenaje para carreteras. (INVIAS, 2009)

Ecuación 7.

Cálculo de la velocidad para el canal de rápidas con tapa y columpio (CRTC)

$$V_{rap} = 9.457 Q^{0.2} \quad [4.83]$$

$$V_{prom} = 7.230 Q^{0.2} \quad [4.84]$$

Siendo: V_{rap} : Velocidad máxima en la rápida del CRTC (antes de entrar al columpio), en metros por segundo (m/s).

V_{prom} : Velocidad promedio a lo largo de la rápida del CRTC, en metros por segundo (m/s)³⁰.

Nota: Tomada del Manual de drenaje para carreteras. (INVIAS, 2009).

Se calcula solo la velocidad promedio debido a la ausencia de columpios en nuestros canales de rápida

5. Diseño metodológico

El propósito del presente diagnóstico fue realizar mediciones que permitieran verificar las condiciones constructivas de las estructuras de drenaje en cumplimiento de la norma que rige este tipo de obras civiles, recolectando información con la ayuda de herramientas físicas y digitales que pudieran ser analizadas mediante programas de sistemas. Los cuadros sinópticos que se ilustran a continuación muestran las actividades implementadas, las variables utilizadas, indicadores e instrumentos necesarios para el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos.

Tabla 13.

Diseño metodológico para el primer objetivo específico

Objetivos específicos	Actividades	Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Fuentes
Obtener el caudal transportado de las áreas aferentes a las obras de drenaje vial mediante la utilización del método racional.	Levantamiento topográfico	Curvas de nivel	Información tomada con equipo de topografía	Elevaciones o alturas	Restitución bibliográfica	Empresa Autopistas del Café S.A
	Reconocimiento de los tipos de obras existentes	Clasificación y diseño de las obras de drenaje en cumplimiento de la normatividad existente.	Conteo individual de los componentes de las estructuras de drenaje. Archivo fotográfico	Longitud, ancho, capacidad de caudal, daños existentes y actividades de mantenimiento	Datos de campo, tomados en sitio. Formato INVIAS preestablecido	Primaria INVIAS
	Inventario de las obras de infraestructura para el manejo de aguas en el área de estudio					

Objetivos específicos	Actividades	Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Fuentes
	Diligenciamiento de los formatos para inspección visual de obras de drenaje vial de INVIAS					
	Levantamiento y registro fotográfico de las obras con sus respectivas dimensiones					
	Digitalización de las obras de drenaje vial	Topografía	Fotografías satélite Programa de dibujo	Escala real	Software Google Earth y AutoCAD.	Primaria
	Estudio hidrológico	Efectividad del sistema de drenaje	Ecuación de caudal: Escorrentía, Intensidad de la lluvia y Área aferente	Caudal	Método racional	Primaria
	Producción de caudales para diferentes periodos de retorno, según las estructuras de drenaje vial					

Nota: Fuente propia.

Tabla 14.*Diseño metodológico para el segundo objetivo específico*

Objetivos específicos	Actividades	Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Fuentes
Determinar las velocidades del flujo transportado en las estructuras de drenaje de acuerdo con las dimensiones actuales de las obras de drenaje vial.	Chequeo de la capacidad hidráulica limitante (Velocidades)	Capacidad hidráulica	Caudales y medidas de las estructuras	Velocidades	Cálculos manuales	Primaria

Nota: Fuente propia.**Tabla 15.***Diseño metodológico para el tercer objetivo específico*

Objetivos específicos	Actividades	Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Fuentes
Contrastar las condiciones de funcionamiento de las obras de drenaje existentes en la vía objeto de estudio con los diseños que exige la norma para este tipo de estructuras de drenaje vial.	Diferencias entre la capacidad hidráulica limitante y de trabajo (Caudal y velocidades)	Nivel de precipitaciones Capacidad real de trabajo	Datos publicados por el Ideam Resultados de las modelaciones Hidráulicas e hidrológicas	Curva IDF, Caudal, Velocidad	Página web del Ideam Ras-2017 Manual de drenaje vial INVIAS	Primaria

Nota: Fuente propia

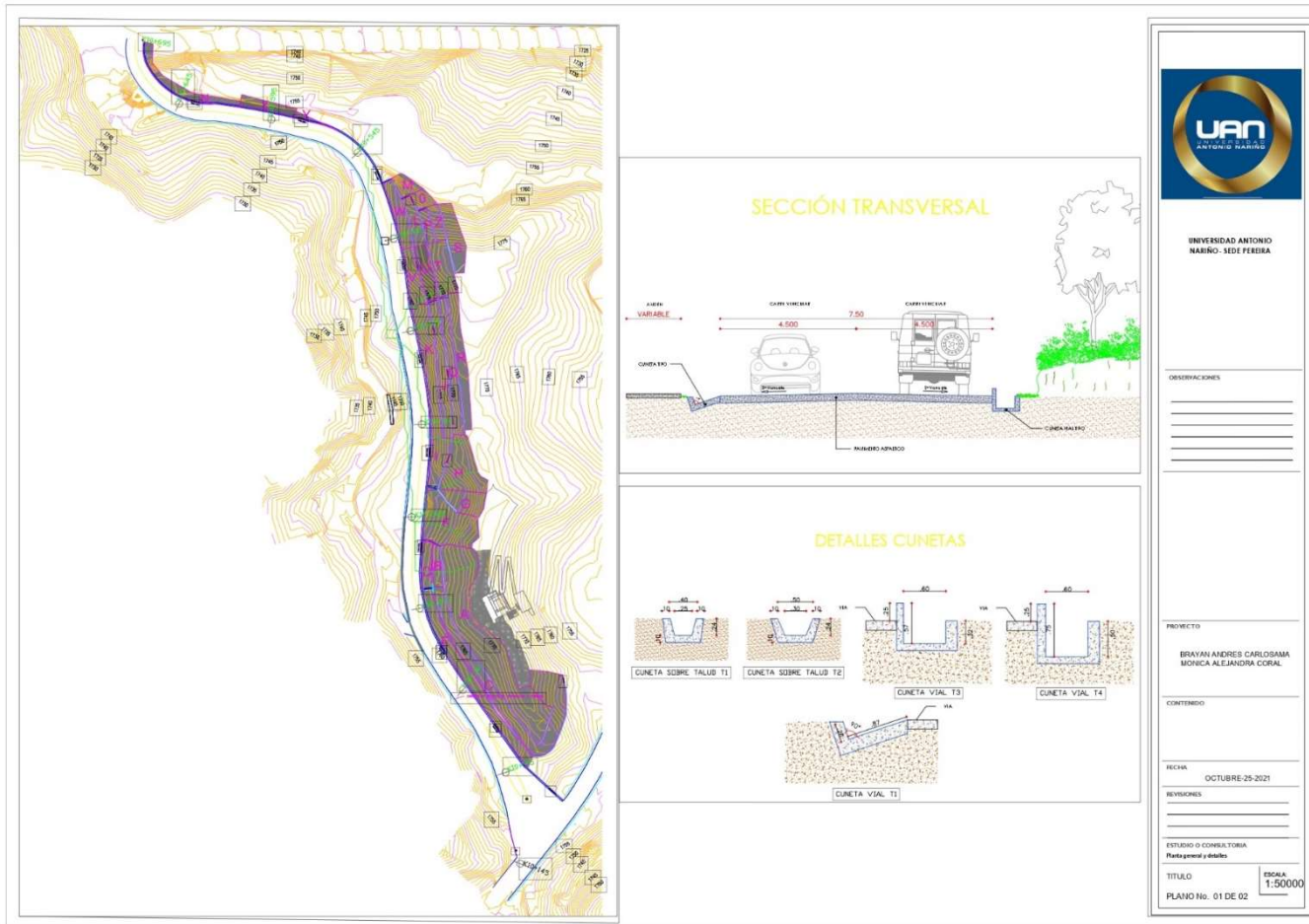
6. Resultado y análisis de resultados

El trabajo de campo realizado en el área de estudio, combinado con el material digital del que se dispuso para para adelantar los cálculos bajo fórmulas matemáticas preestablecidas en el Manual de Drenaje para Carreteras publicado por INVIAS, permitió poner en contexto los elementos asociados a la hidráulica e hidrología para obtener datos específicos del caudal transportado de las áreas aferentes, permitiendo que de manera posterior se pudiera establecer la velocidad del flujo transportado en las estructuras de drenaje de acuerdo con sus dimensiones actuales para finalmente contrastar las condiciones de funcionamiento de estas obras de drenaje con los diseños que exige la norma de acuerdo a su tipo.

Los parámetros de topografía y localización de las estructuras de drenaje vial como cunetas, zanjas de coronación y canales construidas en el área objeto de estudio, obtenidos mediante archivo entregado de forma virtual por parte de la firma Autopistas del Café S.A. se encuentran en el *Anexo 1. Planos topográficos*, del presente informe, el cual permitió conseguir información relevante como: delimitación del área a intervenir, ubicación de las abscisas de la vía vehicular diseñada para retorno de autos en el sector el Rodeo, determinación de las áreas aferentes a cada estructura, chequeo previo de las dimensiones de las estructuras de drenaje existentes en la vía e identificación de la geometría en cada una de las obras de drenaje, a continuación, se ilustran los resultados obtenidos de forma correcta.

El siguiente plano hace parte del Anexo 1, el cual representa la localización y curvas del nivel del área en estudio.

Figura 4.
Plano de localización de las estructuras



Nota: Elaboración propia.

Figura 5.
Localización del área de estudio con puntos de inicio y fin georreferenciados.



Nota: Tomado del Google Eath.

Tabla 16.
Registro fotográfico relevante de las visitas de campo

**REGISTRO FOTOGRÁFICO: RELEVANTE DE LAS
VISITAS DE CAMPO**



Foto 1. Reducción de sección de la zanja de coronación debido a presencia de material.



Foto 2. Obstrucción de zanja de coronación, con material vegetal.



Foto 3. Fisuras o fallas en paredes de la zanja de coronación



Foto 4. Estancamiento de agua lluvia debido a poca pendiente de las zanjas de coronación.

REGISTRO FOTOGRÁFICO: RELEVANTE DE LAS VISITAS DE CAMPO



Foto 5. Acumulación de basuras en empalme entre las zanjas de coronación y canal.



Foto 6. Canal en funcionamiento.



Foto 7. Vista general área de estudio.

Nota: Elaboración propia

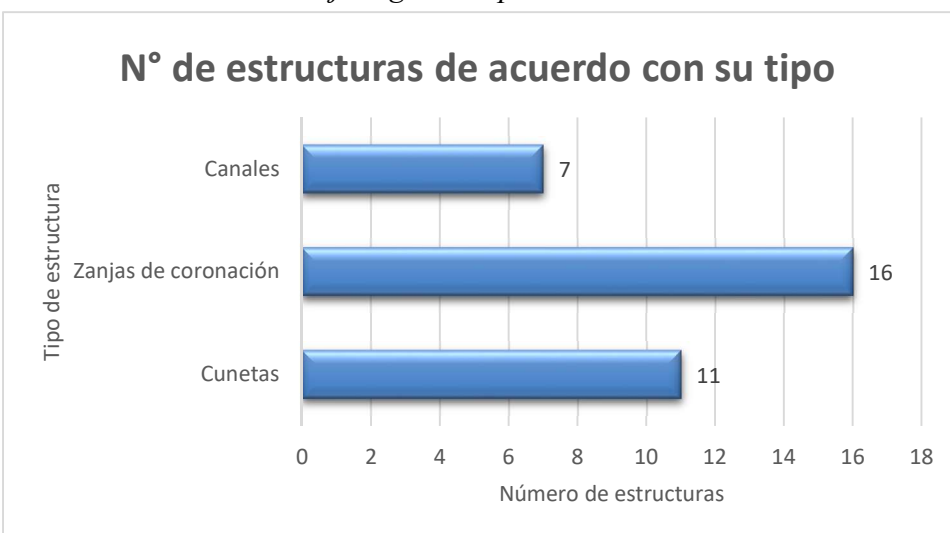
6.1. Obtención del caudal en áreas aferentes

Con el área aferente a cada estructura de drenaje, el periodo de retorno para cada estructura dependiendo de su tipo, la intensidad de la lluvia según el periodo de retorno, el coeficiente de escorrentía según la textura del suelo y la pendiente de inclinación para cunetas y zanjas de coronación, que se extractan directamente de las tablas incluidas en el *Anexo 2. Diseño: Cálculo de caudal según áreas aferentes, Cálculo de caudales de diseño según geometría, Cálculo de velocidad del flujo en condiciones de diseño*, fue posible obtener el caudal real de las 34 estructuras establecidas para la zona objeto de estudio, como resultado previo al análisis hidráulico.

Es preciso destacar que durante el trabajo de campo realizado en este sector fue posible identificar las cantidades de estructuras de drenaje, tal como se ilustra en la figura 5 en las cuales se realizó inspección visual y sus resultados se encuentran en el *Anexo 3. Inspección visual para estructuras de drenaje* con su respectivo registro fotográfico, esquema y observaciones según su estado.

Figura 6.

Nº de estructuras de drenaje según su tipo

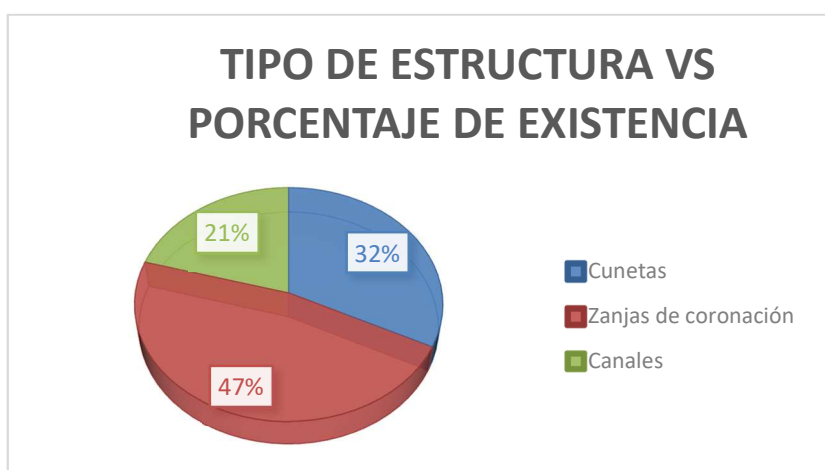


Nota: La figura representa el número de estructuras de drenaje vial encontradas en la zona de estudio según su tipo. Elaboración propia.

La figura 6 representa el porcentaje de participación que tiene cada tipo de estructura con respecto a su cantidad, frente al número total de obras de drenaje existentes en el corredor vial que se tiene en estudio.

Figura 7.

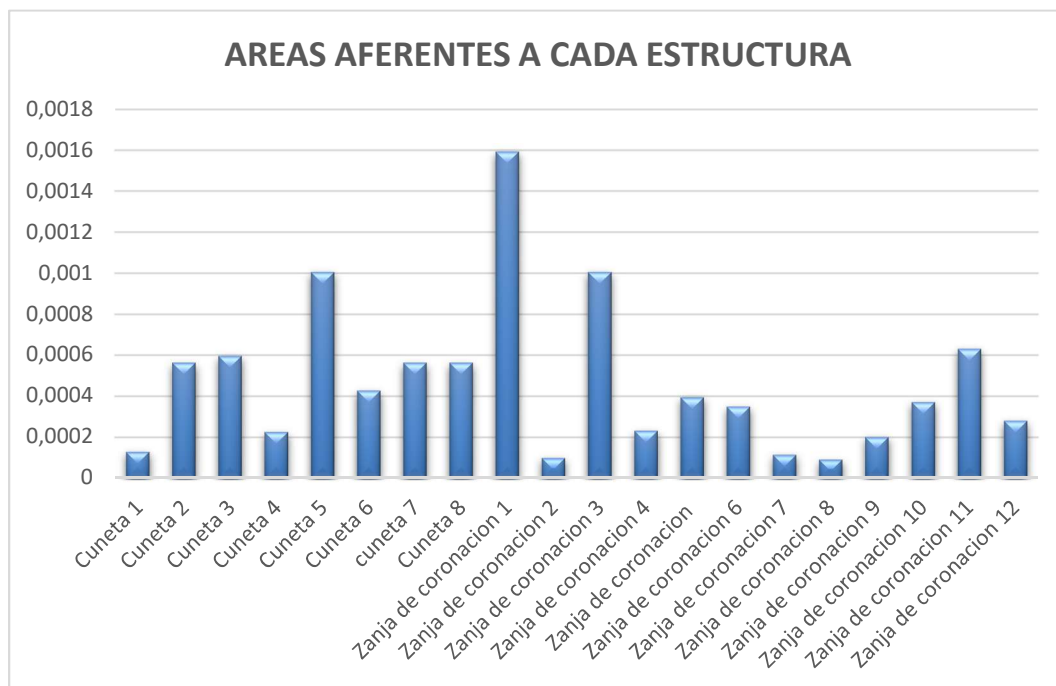
Tipo de estructuras de acuerdo con su porcentaje de existencia



Nota: La figura representa las cantidades en porcentaje de la totalidad de estructuras de drenaje vial encontradas en la zona de estudio. Elaboración propia

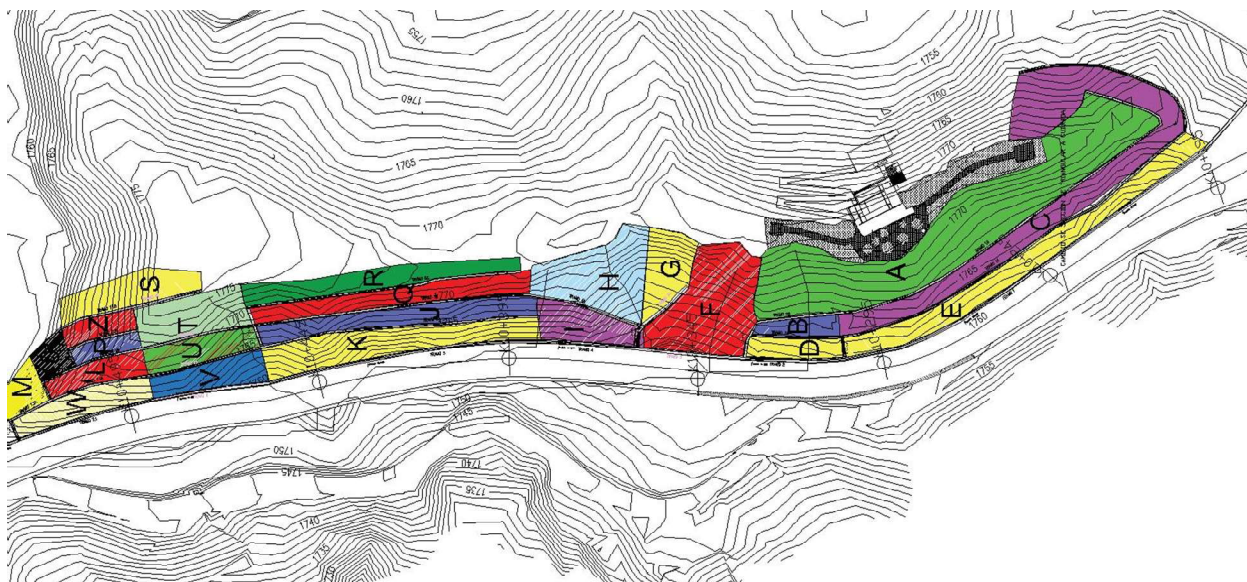
De un análisis a la *Figura 7* donde se ilustran las áreas aferentes a las estructuras de drenaje existentes, se puede establecer que la cuneta 5 y las zanjas de coronación 1, 3, 11 son las que mayores áreas aferentes poseen y por lo tanto están condicionadas a ser las que mayores caudales de agua lluvia deben transportar.

Figura 8.
Áreas aferentes a cada estructura



Nota: La figura representa el área aferente a cada estructura (km²). Elaboración propia

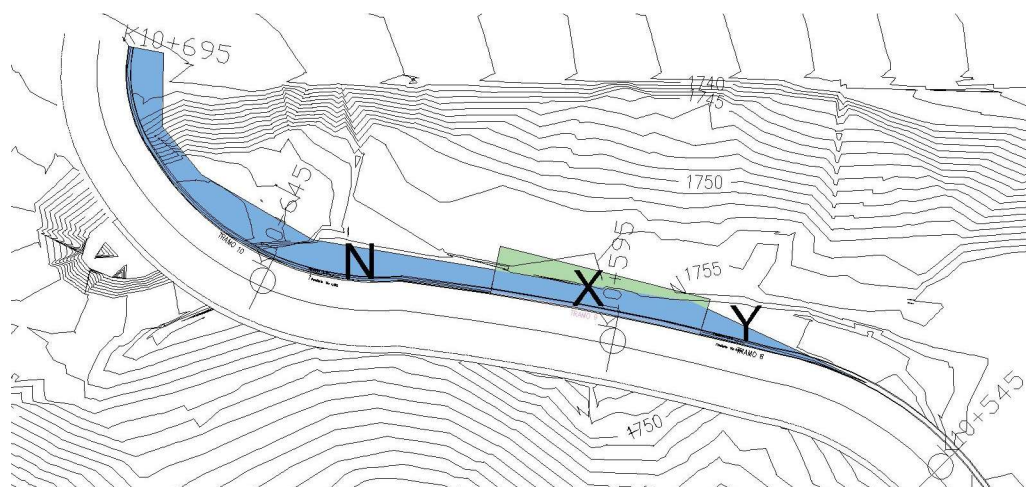
Figura 9.
Localización de los tramos de estructuras de drenaje vial analizadas.



Nota: Elaboración propia.

Figura 10.

Localización de los tramos de estructuras de drenaje vial analizadas.

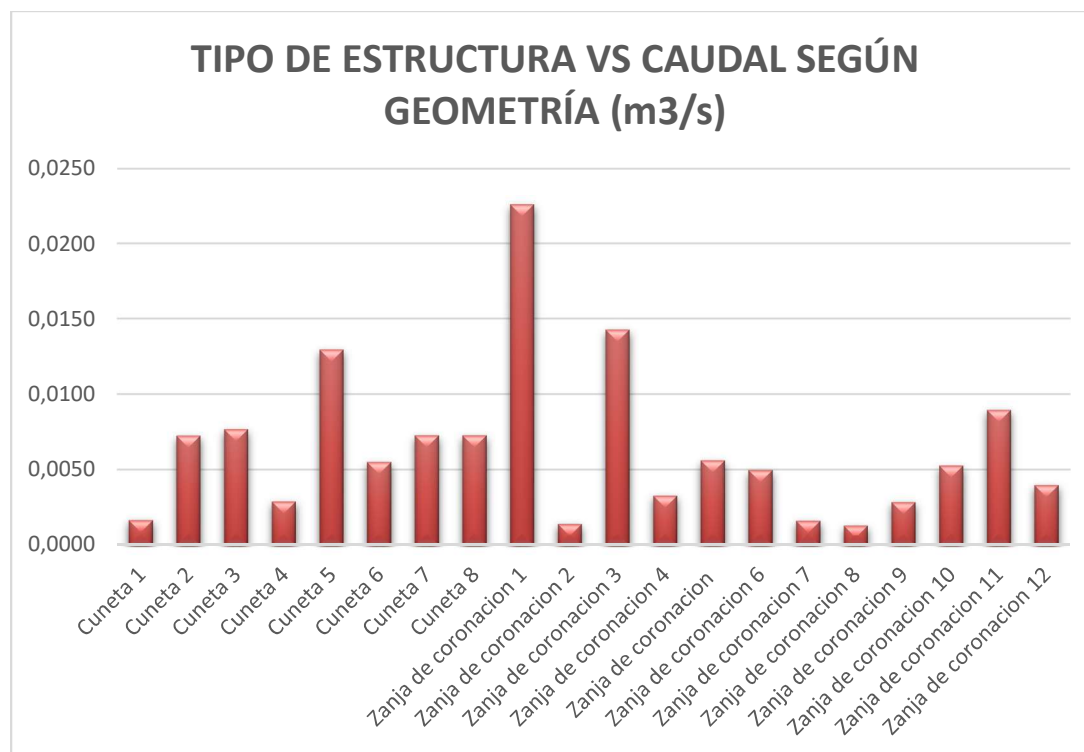


Nota: Elaboración propia.

Continuando con el análisis de las estructuras existentes en la zona objeto de estudio, se puede verificar que las cuatro estructuras mencionadas con anterioridad, son precisamente los elementos de drenaje que mayor caudal soportan actualmente por su condición de áreas aferentes.

Figura 11.

Tipo de estructura vs Caudal transportado por sus áreas aferentes



Nota: La figura representa el caudal transportado (m³/s) para cada estructura de drenaje vial.

Elaboración propia

De acuerdo con el Manual de Drenaje para Carreteras publicado por el (INVIAS, 2009) existen dos formas de calcular el caudal para las estructuras de drenaje en las vías, ellas son el método racional y el método del hidrograma de escorrentía superficial, este último exige la implementación de software de modelación, recurso digital con el que no se cuenta para el presente diagnóstico académico pues dicho software no fue enseñado durante el pregrado; en tal sentido se hizo viable utilizar el método racional para calcular el caudal de las estructuras existentes, gracias a que la sumatoria de las áreas aferentes, totalizada en 0,015627 km² se encuentra dentro del rango establecido por este manual de 1,3 a 2,5 km².

El método racional está definido como el producto entre una constante, el coeficiente de escorrentía, la intensidad de la lluvia y el área aferente, tal como se describe en la siguiente ecuación.

Ecuación 8.

Método racional

$$Q_p = 0,278 * C * i * A$$

Nota: Ecuación utilizada para el cálculo del caudal transportado por cada una de las estructuras. Tomada del Manual de Drenaje para Carreteras. (INVIAS, 2009)

A continuación se ilustran las tablas de valores constantes de las cuales se extrajeron los datos puntuales para obtener los parámetros incluidos en los resultados que se ilustraron con anterioridad.

Tabla 17.

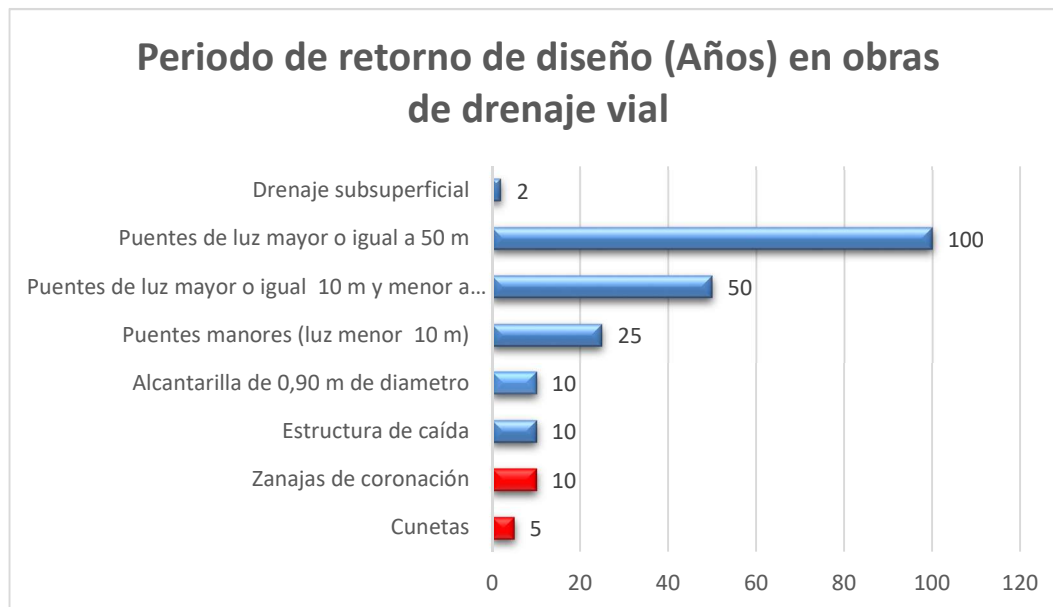
Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales

Vegetación y Topografía	Textura del suelo		
	Franco Arenoso	Franco Limo Arcilloso	Arcilloso
Bosques			
Plano	0,10	0,30	0,40
Ondulado	0,25	0,35	0,50
Montañoso	0,30	0,50	0,60
Pastos			
Plano	0,10	0,30	0,40
Ondulado	0,16	0,36	0,55
Montañoso	0,22	0,42	0,60
Tierras cultivadas			
Plano	0,30	0,50	0,60
Ondulado	0,40	0,60	0,70
Montañoso	0,52	0,72	0,82
<p style="text-align: center;"><i>Nota:</i> Plano (Pendiente 0- 5%); ondulado (Pendiente 5 – 10 %); Montañoso (Pendiente 10-30%). Para valores mayores al 30%, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30%.</p>			

Tomada del Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS, 2009).

Figura 12.

Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial



Nota: Tomada del Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS, 2009).

Tomando un tiempo de duracion 15 min con el fin de tener en cuenta el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en una hoyo y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría con valores calculados menores a este tiempo de concentración, se determina la intensidad con base en el tiempo de retorno de cada estructura.

Tabla 18. Duración de la lluvia (min) de acuerdo con los Periodos de retorno.

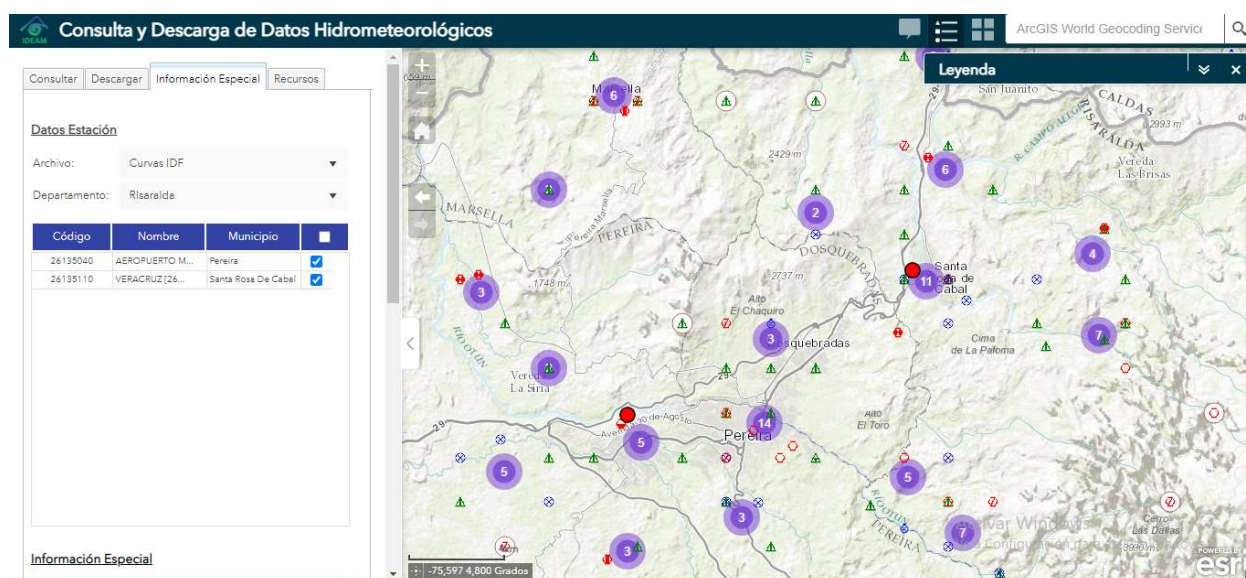
D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	93.2	101.3	110.3	121.6	135.8	146.4	156.9
30	68.2	74.1	80.5	88.7	99.0	106.6	114.2
60	45.0	49.3	53.9	59.8	67.3	72.8	78.3
120	26.6	29.7	33.3	37.8	43.4	47.6	51.8
360	10.5	12.1	13.8	16.0	18.8	20.9	22.9

Nota: Tomada de la curva IDF Veracruz – Santa Rosa de Cabal.

En cuanto a la selección de la estación meteorológica de la cual se toma la curva IDF, se revisa el Catalogo Nacional de Estaciones meteorológicas de la pagina web del IDEAM en el departamento de Risaralda y la escoge la estación VERACRUZ cuyo codigo de identificación es 26135110, pues es la estación más cercana al área en estudio tal con se aprecia en la figura 13 y 14.

Figura 13.

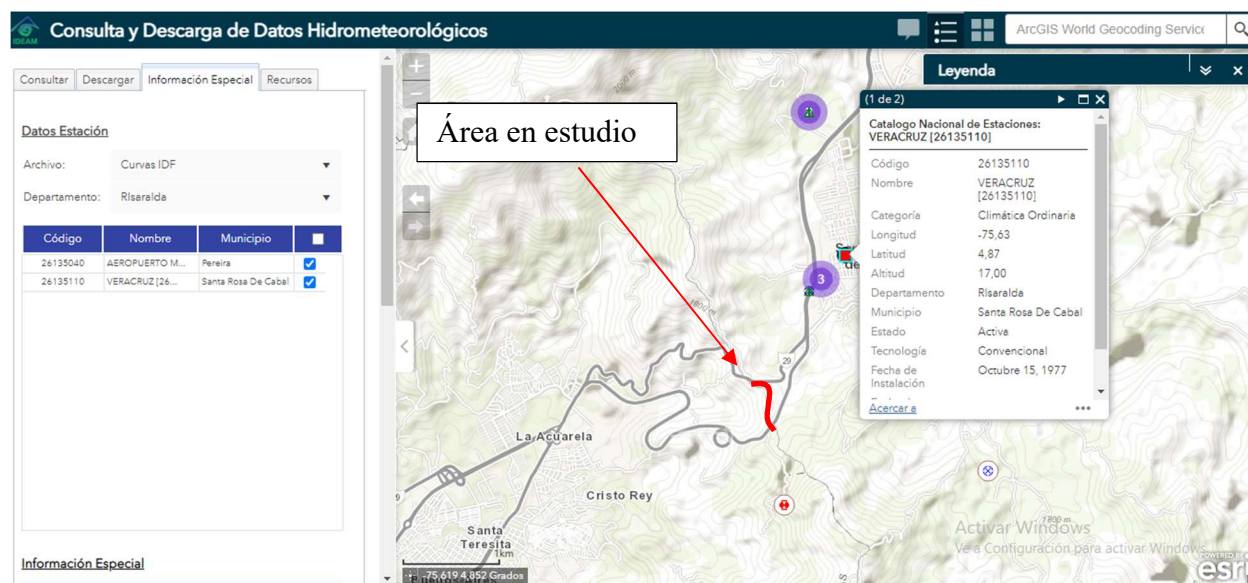
Localización de las dos estaciones meteorológicas en el departamento de Risaralda.



Nota: Tomada de la pagina web del IDEAM.

Figura 14.

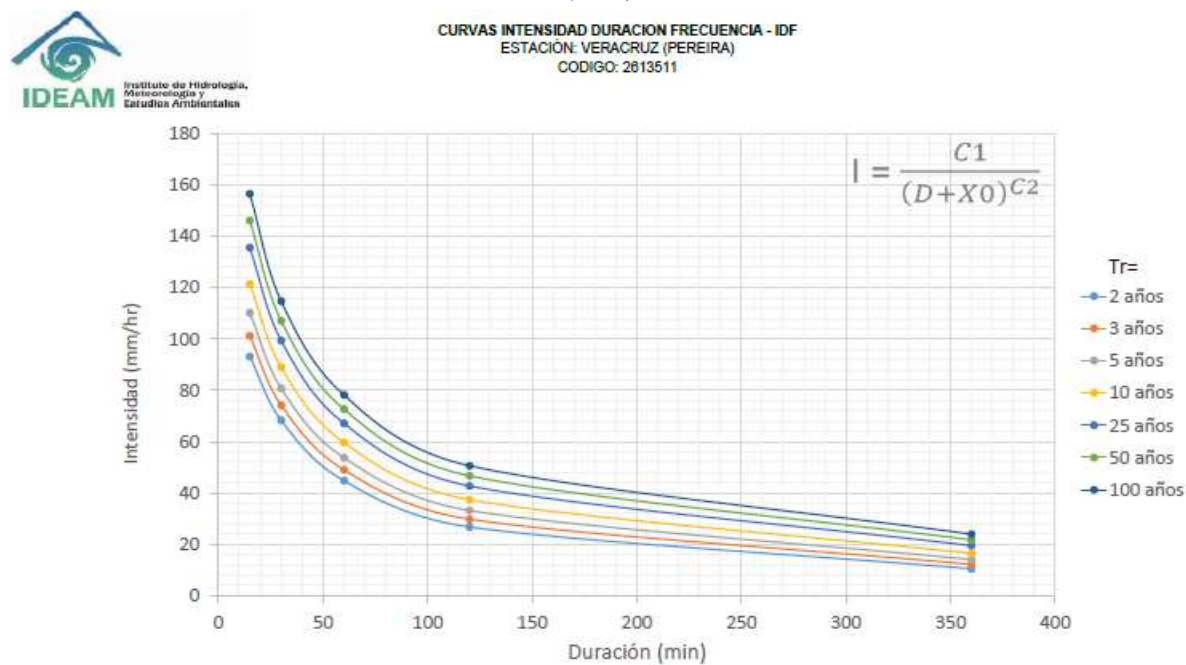
Localización de la estación meteorológica Veracruz con respecto al área en estudio.



Nota: Tomada de la pagina web del IDEAM.

Figura 15.

Curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) Estación Veracruz – Santa rosa de Cabal.



Nota: La figura representa las curvas de intensidad, duración, frecuencia (IDF) según datos obtenidos de la estación Veracruz- Santa rosa de cabal. Tomada de la página web del Ideam.

Habiendo establecido la totalidad de los caudales transportados para las áreas que se ilustraron en el capítulo anterior, esto en cumplimiento del primer objetivo específico, se hizo necesaria la implementación de la ecuación de Manning, $(Q = \frac{1}{n} * (A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}))$ como método científico para calcular el caudal de diseño en cada uno de estos elementos de drenaje, utilizando para ello parámetros como la geometría y pendiente de las estructuras existentes para obtener el radio hidráulico y el coeficiente de Manning asociado al tipo de material de la estructura, arrojando como resultado lo representado en las Figuras 11, 12 y 13 las cuales presentan el porcentaje de trabajo de las obras, subdivididas por su tipo de estructuras. De forma detallada se aprecia la información en el *Anexo 2. Diseño: Cálculo de caudal según áreas aferentes, Cálculo de caudales de diseño según geometría, Cálculo de velocidad del flujo en condiciones de diseño*. Mediante el cual fue posible validar condiciones de funcionamiento de las obras de drenaje existentes en la vía objeto de estudio con los diseños que exige la norma para este tipo de estructuras de drenaje vial.

Ecuación 9.

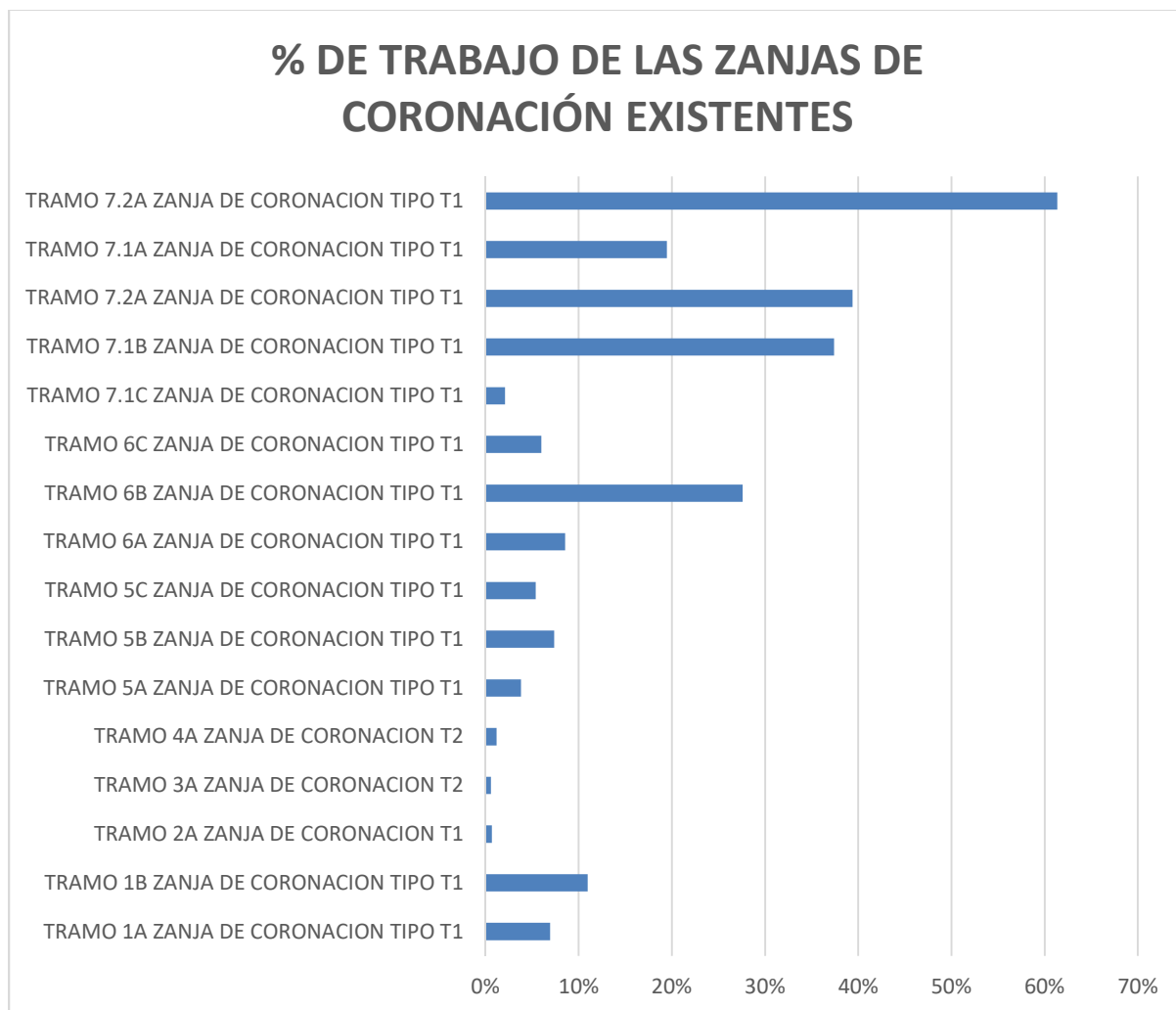
Expresión de Manning

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

Nota: De la ecuación, Q: Caudal de diseño, en metros cúbicos por segundo; n: Coeficiente de rugosidad de Manning; A: área mojada, en metros cuadrados (m²); R: Radio hidráulico, en metro (m); S: pendiente, en metros por metro (m/m). Tomada del Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS, 2009).

Figura 16.

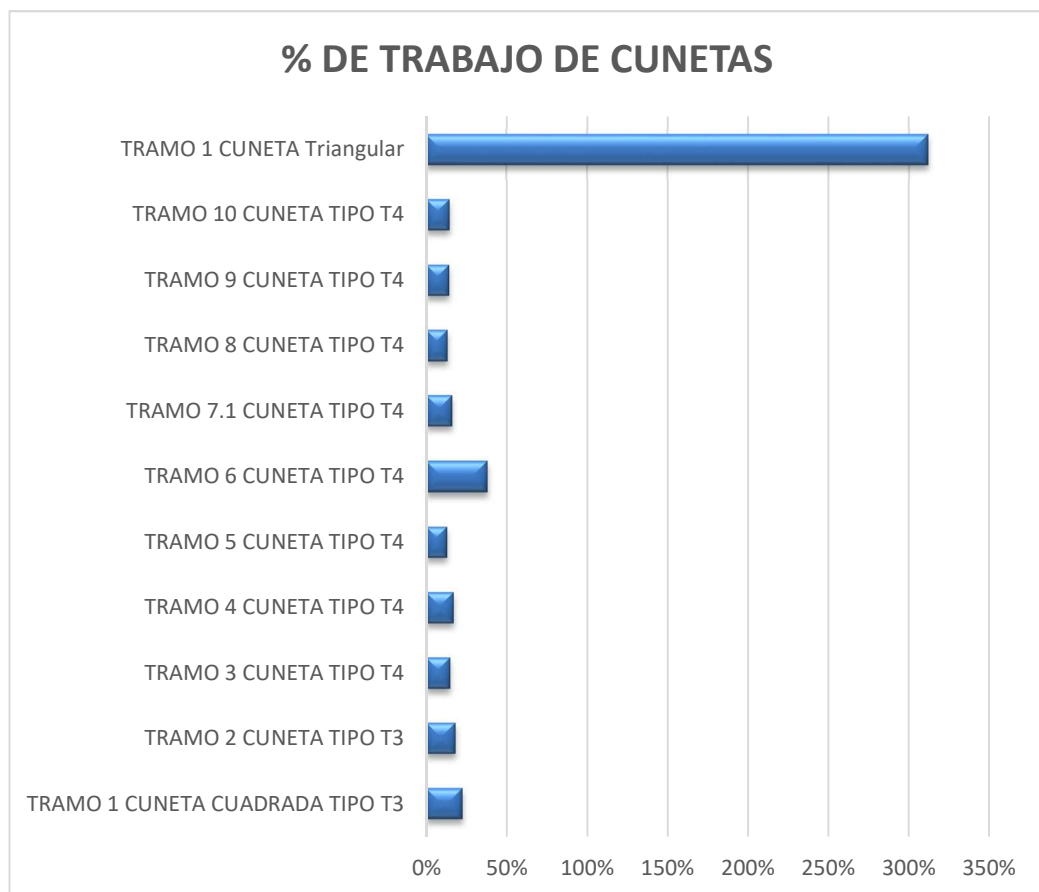
Porcentaje % de trabajo con respecto al caudal de trabajo y caudal de diseño de las zanjas de coronación existentes



Nota: Elaboración propia.

Figura 17.

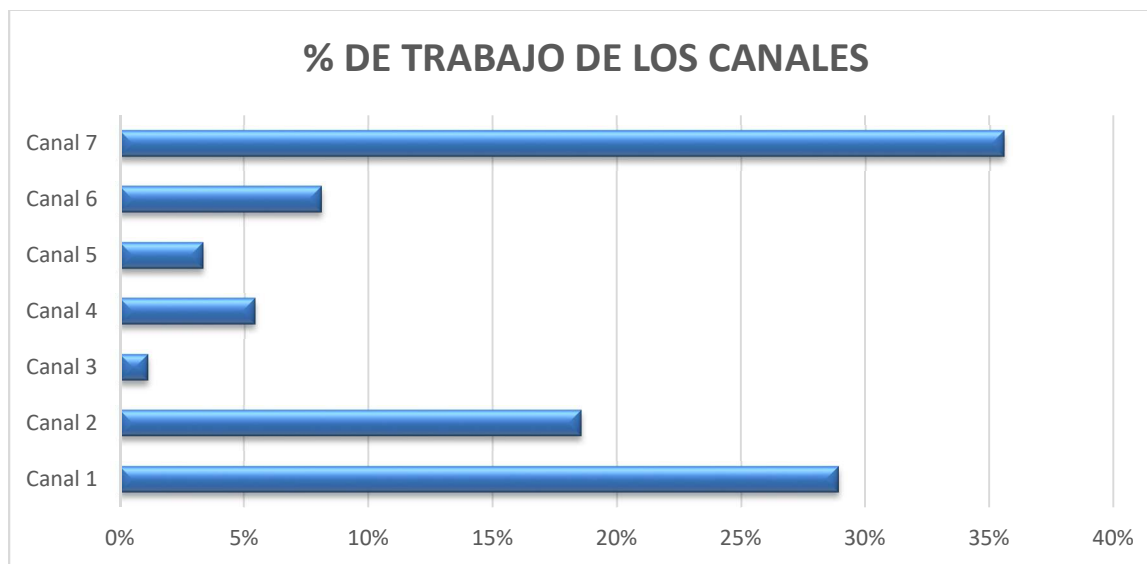
Porcentaje % de trabajo con respecto al caudal de trabajo y caudal de diseño de cunetas existentes



Nota: Elaboración propia.

Figura 18.

Porcentaje % de trabajo con respecto al caudal de trabajo y caudal de diseño de los canales existentes



Nota: Elaboración propia.

Como complemento a las condiciones normales de funcionamiento de las estructuras existentes, el presente diagnóstico se adentra en el cálculo de velocidad del flujo en condiciones de diseño parámetro que es posible hallar mediante la aplicación de la fórmula de velocidad de flujo expresada por Manning que incluye el coeficiente de rugosidad de la superficie sobre la que se transporta el caudal, pendiente de la estructura de drenaje y radio hidráulico, tal como se describe a continuación:

Ecuación 10.

Expresión de Manning

$$v = \frac{1}{n} * (Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}})$$

Nota: De la ecuación, v: Velocidad del flujo (m/s); n: Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional); S: Pendiente de la estructura de drenaje; Rh: Radio hidráulico (m). Tomada del Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS, 2009).

Tabla 19.

Valores para n . en el proceso de determinación del coeficiente de rugosidad.

Superficie	Condiciones			
	Perfectas	Buenas	Regulares	Malas
Canales y Zanjas				
Canales revestidos con concreto	0.012	0.014*	0.016*	0.018
En tierra, alineados y uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.025*
En roca, lisos y uniformes	0.025	0.030	0.033*	0.035
En roca, con salientes y sinuosos	0.035	0.040	0.045	
Sinuosos y de escurrimiento lento	0.0225	0.025*	0.0275	0.030
Dragados en tierra	0.025	0.0275*	0.030	0.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra, enhierbados	0.025	0.030	0.035*	0.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos	0.028	0.030	0.033	0.035
Corrientes naturales				
1. Limpios, bordos rectos, llanos, sin hendiduras ni charcos profundos	0.025	0.0275	0.030	0.033
2. Igual a 1, pero con algo de hierbas y piedra	0.030	0.033	0.035	0.040
3. Sinuoso, algunos charcos y escollos limpios	0.033	0.035	0.040	0.045
4. Igual a 3, de poco tirante con pendiente y sección menos eficientes	0.040	0.045	0.050	0.055
5. Igual a 3, algo de hierba y piedras	0.035	0.040	0.045	0.050
6. Igual a 4, secciones pedregosas	0.045	0.050	0.055	0.060
7. Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos	0.050	0.060	0.070	0.080
8. Cauces muy enhierbados	0.075	0.100	0.125	0.150

* Valores corrientemente usados en la práctica.

Nota: Tomada del Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS, 2009).

Los resultados de velocidades de diseño obtenidos para cada una de las 34 estructuras de drenaje incluido en el *Anexo 2. Diseño: Cálculo de caudal según áreas aferentes, Cálculo de caudales de diseño según geometría, Cálculo de velocidad del flujo en condiciones de diseño*, fueron comparadas con el rango establecido en el Manual de Drenaje para Carreteras publicado por INVIAS donde los valores inferiores en cada uno de los comparativos con el rango de 10 m/s que le corresponde a cada una de las estructuras de concreto cuya resistencia es de 210 kg/cm² (3000 psi) permite concluir que la velocidad de flujo en las estructuras de drenaje cumple con el requisito establecido por el INVIAS, tal como se describen en las figuras 14, 15 y 16.

Tabla 20.

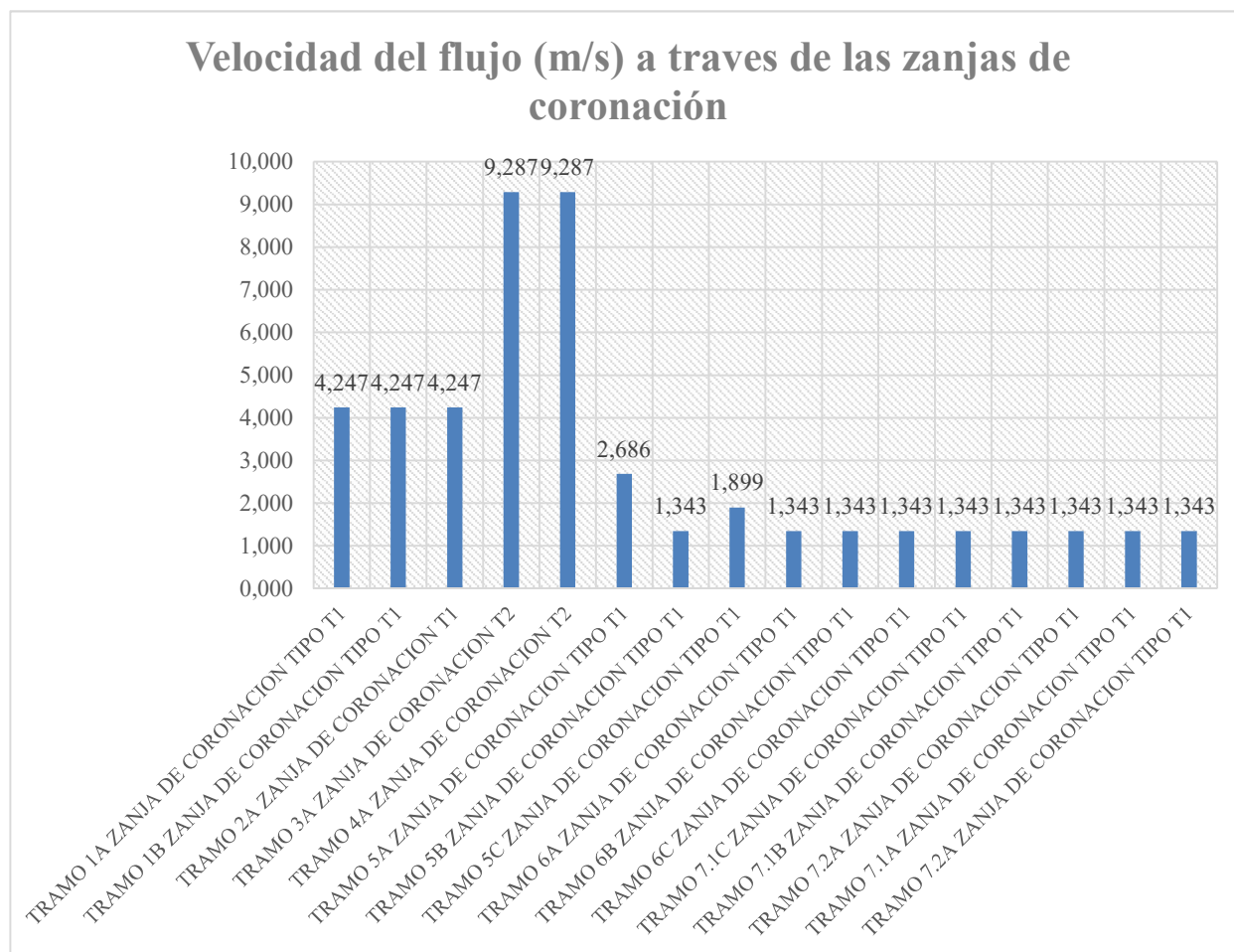
Velocidades máximas permisibles en canales artificiales según su material.

Material	Velocidad Máxima (m/s)
Ladrillo común	3,0
Ladrillo vitrificado	5,0
Arcilla vitrificada (gres)	4,0
Concreto 175 kg/cm ² (17,2 MPa)	6,0
Concreto 210 kg/cm ² (20,6 MPa)	10,0
Concreto 280 kg/cm ² (27,5 MPa)	15,0
Concreto 350 kg/cm ² (34,3 MPa)	20,0

Nota: Tomada del Manual de drenaje para carreteras. (INVIAS, 2009).

Figura 19.

Velocidad del flujo (m/s) a través de las zanjas de coronación



Nota: Elaboración propia

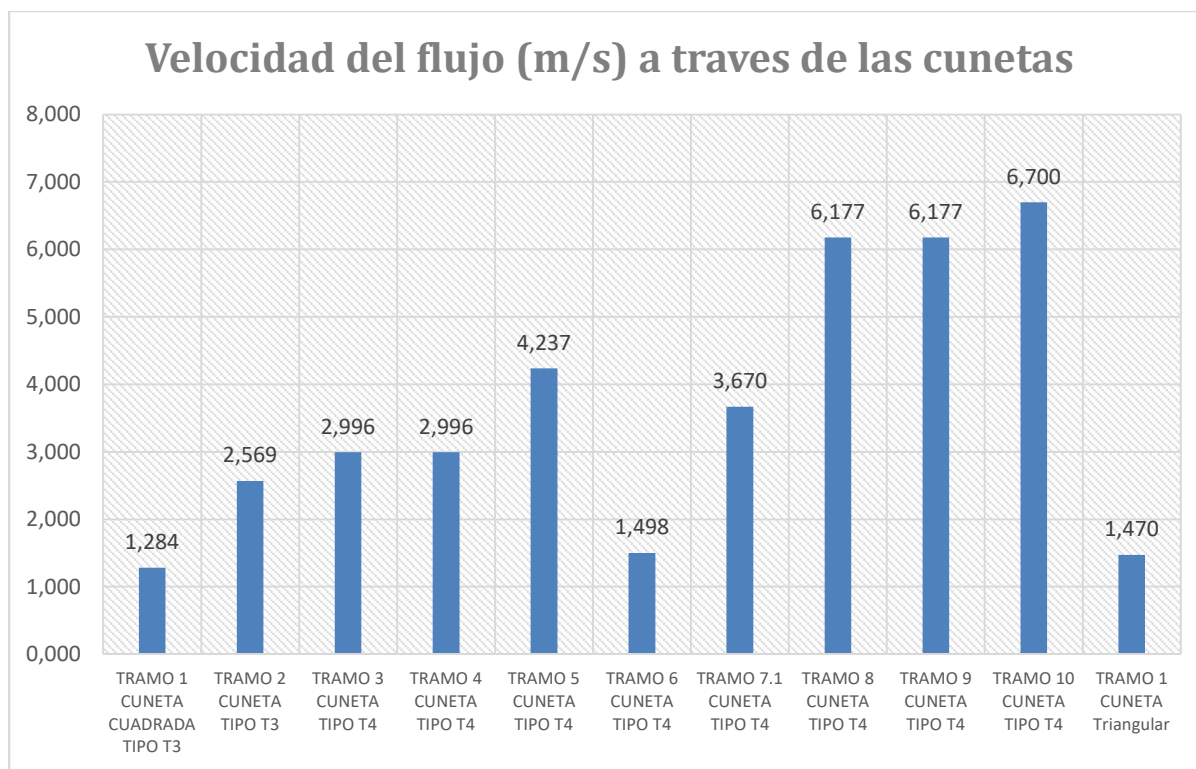
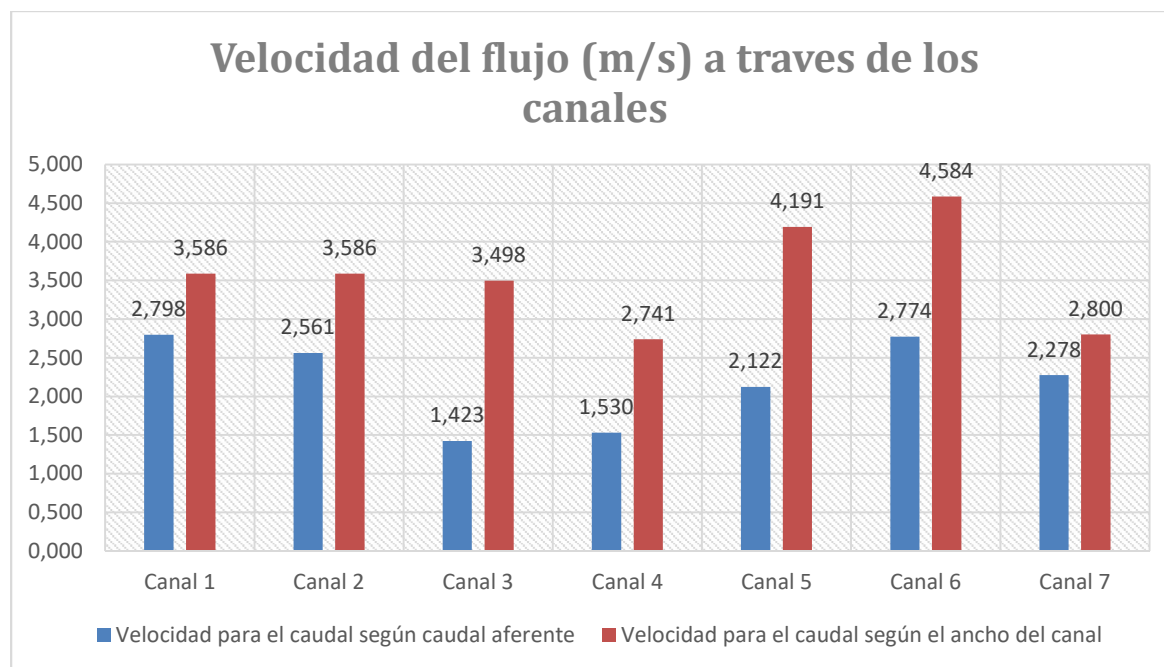
Figura 20.*Velocidad del flujo (m/s) a través de las cunetas**Nota: Elaboración propia.*

Figura 21.

Velocidad del flujo (m/s) a través de los canales y velocidad según ancho del canal



Nota: Elaboración propia.

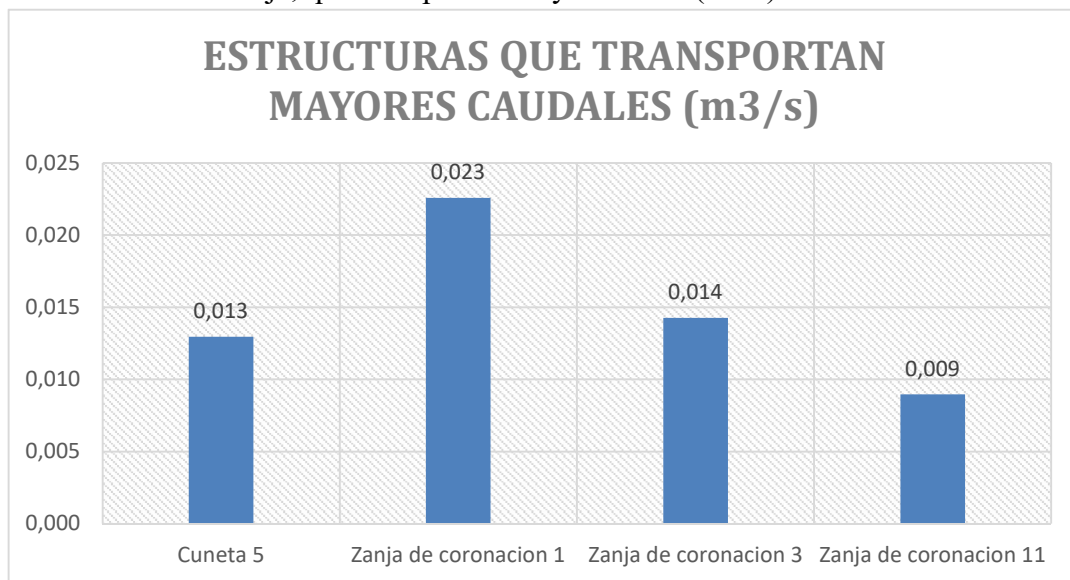
Cabe resaltar que todas las estructuras de drenaje encontradas en el área de estudio, fueron analizadas y procesadas a través del software H- Canales y se evidencia una coincidencia del 100% con respecto al diseño realizado a cada estructura, dicha verificación está incluida en el *Anexo 4*.

Verificación de parámetros de diseño en H- Canales.

7. Conclusiones

Figura 22.

Estructuras de drenaje, que transportan mayor caudal (m³/s)

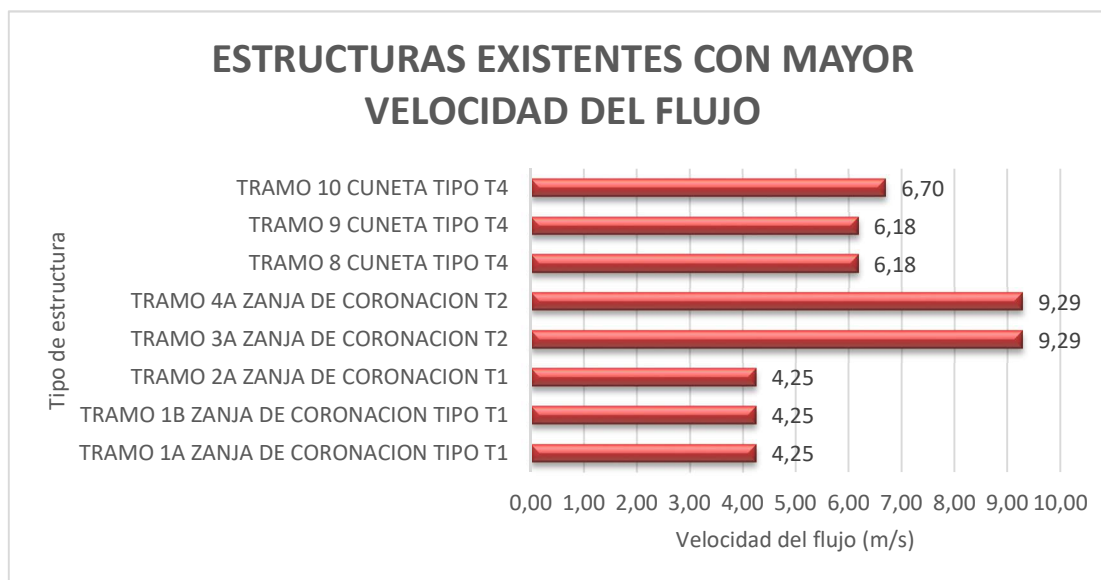


Nota: Elaboración propia.

Estas cuatro estructuras representadas en la figura 17, se encuentran transportando el 46% del caudal total producido por todas las áreas aferentes de la zona en estudio.

Figura 23.

Mayores velocidades del flujo (m/s), para las estructuras de drenaje existentes.



Nota: Elaboración propia.

En cuanto a las estructuras que se presentan en la figura 21, las mayores velocidades del flujo para las estructuras de drenaje vial existentes en el área de estudio, las cuales son las zanjas de coronación y las cunetas.

Con la modelación elaborada mediante la herramienta digital ArcGIS se establece que las líneas de escorrentía en la ladera coinciden con la localización real de las estructuras de drenaje tipo canal, esto permite una normal conducción de caudales de escorrentía, evitando así la erosión en el terreno.

Durante los recorridos que se realizaron en el área objeto de estudio, se pudo confirmar mediante observaciones directas que no existe un plan de mantenimiento integral para las estructuras y sus áreas aferentes, de tal forma que la capa vegetal tiende a ocupar el espacio interior de las zanjas de coronación por falta de rocería; hay presencia de basuras en las terrazas ubicadas entre las zanjas de coronación y la ladera, producto de la condición turística que posee este sector visitado frecuentemente por personas que llegan allí en busca de un espacio de esparcimiento y

por último se encontró una grieta longitudinal en la pared de la zanja de coronación que se apoya en el talud causada por la presión que ejerce el suelo saturado sobre la estructura.

Tabla 21.
Presencia de basuras en terrazas y en canales

Presencia de basuras en terrazas y en canales



Nota: Elaboración Propia

Tabla 22.
Fisura en zanja de coronación.



Nota: Elaboración Propia

De acuerdo con las mediciones en campo se encuentra que las zanjas de coronación construidas en la ladera, no están cumpliendo con la normativa establecida en el Manual de Drenaje para Carreteras publicación del (INVIAS, 2009), donde se exige una separación mínima de 3,0 metros entre la zanja de coronación y el borde de la ladera, ya que de acuerdo con los diseños existentes solo se respetó una distancia máxima de 1,5 metros y en algunos tramos donde esta distancia tiende a ser cero, se presentan fenómenos de erosión del terreno que ponen en peligro la estabilidad de la estructura.

Tabla 23.

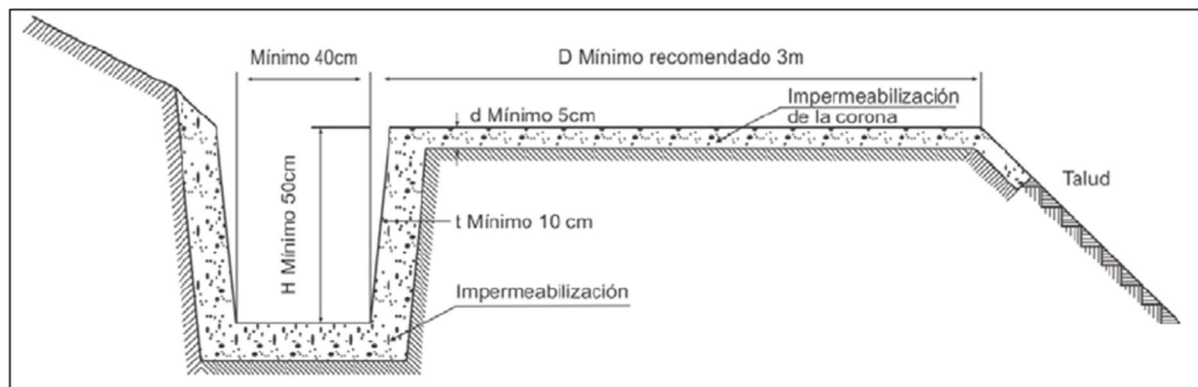
Zanja de coronación nivel 4, presencia de fenómenos de erosión



Nota: Elaboración Propia

Figura 24.

Detalle de zanja de coronación



Nota: Tomado del Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS, 2009).

Mediante el chequeo de las medidas geométricas de las estructuras de drenaje, cálculos del caudal transportado y velocidad del flujo, se pudo diagnosticar el funcionamiento de las estructuras existentes, las cuales, según la normativa vigente reglamentada por (INVIAS, 2009) están

sobredimensionadas para la operación de drenaje a la que están sometidas por sus áreas aferentes y los factores climáticos propios de esta región, ya que su diseño les permite mantener un desempeño que no supera el 40% de su capacidad.

8. Recomendaciones

Luego de verificar el estado actual de las estructuras existentes se recomienda implementar un protocolo de mantenimiento preventivo, tendiente a realizar actividades de limpieza, rocería y cuidado del estado actual de estas obras civiles

En el recorrido que se hizo para verificar el estado actual, diseño y construcción de las obras de drenaje, se pudo establecer que por falta de mantenimiento en esta zona, las aguas lluvias han generado un problema de erosión del terreno dejando sin suelo portante un tramo de zanja de coronación que pone en peligro su estabilidad motivo por el cual se recomienda la ejecución de una obra civil a corto plazo que evite el deterioro y colapso de esta estructura de drenaje; adicionalmente se pudo observar que esta misma estructura no cumple con la condición normativa de verter su caudal a un canal situación que genera erosión del terreno por donde escurre las aguas lluvias en suelo natural, es así que se recomienda dar continuidad a la obra civil de drenaje en cumplimiento de la normatividad vigente.

8.1 Matriz de riesgo

Debido a los diferentes hallazgos en la inspección a las obras de drenaje se presenta la siguiente matriz de riesgo en la cual se puede evidenciar los diferentes factores de cada elemento que pueden presentar un riesgo o peligro, esta matriz se elabora bajo los criterios establecidos en la guía técnica colombiana GTC 45:

La evaluación de riesgos hace parte del proceso en el que se asigna una probabilidad de que ocurra un evento específico y la gravedad de las consecuencias mediante la evaluación de la información disponible.

Para evaluación el nivel de riesgo (NR), se tiene la siguiente relación para calcular el nivel riesgo:

$$NR = NP \times NC$$

NP = Nivel de probabilidad

NC = Nivel de consecuencia

Nota: Guía Técnica Colombiana GTC 45 (Ministerio, 2009).

Ecuación 11.

Para determinar el nivel de probabilidad (NP)

$$NP = ND \times NE$$

ND = Nivel de deficiencia

NE = Nivel de exposición

Nota: Guía Técnica Colombiana GTC 45 (Ministerio, 2009).

Tabla 24.

Para determinar el nivel de deficiencia (ND)

Nivel de deficiencia	Valor de ND	Significado
Muy Alto (MA)	10	Se ha(n) detectado peligro(s) que determina(n) como posible la generación de incidentes o consecuencias muy significativas, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo es nula o no existe, o ambos.
Alto (A)	6	Se ha(n) detectado algún(os) peligro(s) que pueden dar lugar a consecuencias significativa(s), o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es baja, o ambos.
Medio (M)	2	Se han detectado peligros que pueden dar lugar a consecuencias poco significativa(s) o de menor importancia, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es moderada, o ambos.
Bajo (B)	No se Asigna Valor	No se ha detectado consecuencia alguna, o la eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes es alta, o ambos. El riesgo está controlado. Estos peligros se clasifican directamente en el nivel de riesgo y de intervención cuatro (IV) Véase tabla 8.

Nota: Guía Técnica Colombiana GTC 45 (Ministerio, 2009).

Tabla 25.

Para determinar el nivel de exposición (NE) se utiliza la siguiente tabla:

Nivel de exposición	Valor de NE	Significado
Continua (EC)	4	La situación de exposición se presenta sin interrupción o varias veces con tiempo prolongado durante la jornada laboral.
Frecuente (EF)	3	La situación de exposición se presenta varias veces durante la jornada laboral por tiempos cortos.
Ocasional (EO)	2	La situación de exposición se presenta alguna vez durante la jornada laboral y por un periodo de tiempo corto.
Esporádica (EE)	1	La situación de exposición se presenta de manera eventual.

Nota: Guía Técnica Colombiana GTC 45 (Ministerio, 2009).

Tabla 26.

Determinación del nivel consecuencia (NC)

Nivel de Consecuencias	NC	Significado
		Daños Personales
Mortal o Catastrófico (M)	100	Muerte (s)
Muy grave (MG)	60	Lesiones o enfermedades graves irreparables (Incapacidad permanente parcial o invalidez)
Grave (G)	25	Lesiones o enfermedades con incapacidad laboral temporal (ILT)
Leve (L)	10	Lesiones o enfermedades que no requieren incapacidad

Nota: Guía Técnica Colombiana GTC 45 (Ministerio, 2009).

Con base en los anteriores criterios se realiza el montaje de la matriz de riesgos en la cual se obtienen los siguientes resultados:



PROYECTO DE GRADO	Versión 1
MATRIZ DE RIESGOS Y PELIGROS	Hoja 1 de 3

Área / Lugar	Actividad	Tarea	Descripción	Efectos posibles	EVALUACIÓN DEL RIESGO							
					Nivel de deficiencia	Nivel de exposición	Nivel de probabilidad	Interpretación nivel de probabilidad	Nivel de consecuencia	Nivel de riesgo	Interpretación del nivel de riesgo	Aceptabilidad del riesgo
Estructuras de vertimiento y recolección de caudal (Zanjas de coronación, canales y cunetas)	Funcionamiento común	Mantenimiento y limpieza	Se evidencia la ausencia de labores de rocería, limpieza y recolección de residuos de zonas aledañas a las estructuras.	Estancamiento y obstaculización de los elementos, provocando posibles inundaciones y agotamiento de la capacidad hidráulica de los elementos.	6	3	18	ALTO	10	180	II	NO ACEPTABLE CON INTERVENCIÓN INMEDIATA
Zanja de coronación	Funcionamiento común	Ubicación zanjas de coronación	Se contempla que el distanciamiento entre la zanja de coronación a el borde del talud es inferior a 3 metros.	Erosion del talud.	10	4	40	MUY ALTO	25	1000	I	NO ACEPTABLE
Canales de rapidas	Funcionamiento común	Ubicación canales de rapidas	Se evidencia la ausencia de canales de rapidas en puntos de descole de zanjas de coronación.	Erosion del talud.	10	4	40	MUY ALTO	25	1000	I	NO ACEPTABLE
Canales de rapidas	Funcionamiento común	Habilitación de canales de rapidas	Se observa canales de rapidas que se encuentran inhabilitados debido a que una estructura en concreto evita el paso de agua.	Estancamiento y obstaculización de los elementos, provocando posibles inundaciones y agotamiento de la capacidad hidráulica del canal de rapidas.	6	3	18	ALTO	10	180	II	NO ACEPTABLE CON INTERVENCIÓN INMEDIATA

Obteniendo resultados no aceptables por el alto nivel de riesgo para la ubicación de la zanja de coronación y la zona en la cual el descole se encuentra directamente en el talud, por la falta de mantenimiento, rozamiento en las zonas aledañas además de la inhabilitación de canales de rápidas se obtiene un nivel de riesgo no aceptable pero que requiere una intervención inmediata.

9. Anexos

Lista de Anexos

- Anexo 1 Planos topográficos*
- Anexo 2. Diseño: Cálculo de caudal según áreas aferentes, Cálculo de caudales de diseño según geometría, Cálculo de velocidad del flujo en condiciones de diseño.*
- Anexo 3. Inspección visual para estructuras de drenaje*
- Anexo 4. Verificación de parámetros de diseño en H- Canales.*
-

10. Referencias Bibliográficas

- Álvarez Álvarez, M. J., Parrales Parrales, E. L., Plúa Marcillo, L. A., Gutiérrez Sánchez, L. A., Parrales García, C. E., Marcillo Merino, G. L., . . . Merchán García, W. (2018). *Hidráulica aplicada para ingenieros civiles*. Área de innovación y desarrollo. Obtenido de https://books.google.com.co/books?hl=en&lr=&id=_MtaDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA131&dq=hidraulica+para+ingenieros&ots=_jhHZOBKxq&sig=89p6m3ZQvb_oZrMjL_mFYghDNrk&redir_esc=y#v=onepage&q=hidraulica%20para%20ingenieros&f=false
- Altamirano, E. M. (2017). *Evaluación hidrológica e hidráulica de los drenajes transversales en la carretera Cocahuayco - Cocachimba - Bongará - Amazonas*. Universidad Nacional de Cajamarca . Cajamarca: Perú. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1511/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Álvarez Sacoto, J. A., & Calle Rivera, G. F. (2013). *estudio de parámetros hidráulicos e hidrológicos para el dimensionamiento de obras para drenaje vial en la vía de acceso al sector “la unión” en Santa Isabel – Azuay* (Vol. 1). Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4472/1/TESINA.pdf>
- Arias Bermudez, A. F., Borbón Sepulveda, D. J., Hoyos Cataño, J., & Montoya Guana, D. A. (2017). *Diagnóstico del estado actual de la infraestructura hidráulica y taludes de la red vial secundaria del tramo San Joaquín – Alcalá, sector Pereira*. 2017. Tesis profesional, Universidad Libre Seccional Pereira, Risaralda, Pereira. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17077/DIAGN%c3%93STICO%20DEL%20ESTADO%20ACTUAL%20DE%20LA%20INFRAESTRUCTURA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barco, M. O. (2016). *1.2.1. Consideraciones generales para realizar el diseño hidrológico e hidráulico de obras de drenaje para vías de bajos volúmenes de tránsito caso de estudio pista de prueba urrao-antioquia*. Universidad de Medellín, Antioquia, Medellín. Obtenido de https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2203/TG_IC_4.PDF
- Benavides Contreras, J. S., & Robayo Botero, H. A. (2013). *1.2.3. Diseño hidráulico y seguimiento de obras para el control de erosión en ríos y taludes en los tramos 2, 3 y 4 de la vía Bogotá Villavicencio*. Universidad Libre sede Bogotá, Cundinamarca, Bogotá D.C. Obtenido de

- <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11225/Dise%C3%B1o%20Hidraulico%20para%20el%20Control%20de%20Erosion%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Blair, E. (1957). *Manual del riegos y avenamientos*. (IICA, Ed.) Lima, Perú. Obtenido de <https://repositorio.iica.int/handle/11324/13612>
- Carmona, R. P. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitarios, pluviales y drenaje en carreteras* (Vol. 1). (A. d. sierra, Ed.) Bogotá DC, Colombia: Ecoe Ediciones. Recuperado el 01 de Mayo de 2021, de <https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/91520>
- Carreño, J. P. (2018). *1.3.3. Estudio hidrológico e hidráulico que identifique las manchas de inundación para diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) a lo largo del río Lejos cerca de la zona urbana del municipio de Pijao, departamento del Quindío. 2018*. Informe estudio, Corporación Autonoma Regional del Quindio, Quindío, Pijao.
- García Hernandez, Y. C., Montoya López, N. J., & Rodriguez Hernandez, D. I. (2013). *1.1.1. Diseño del sistema de drenaje pluvial para el casco urbano del municipio de La Concepción-Masaya*. Informe final. Tesis profesional, Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua, Nicaragua, Managua. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/5008/1/94342.pdf>
- I. I., & U. U. (2006). *Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras* (Vol. 1). Bogotá D.C, Colombia. Recuperado el Septiembre de 2021, de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/973-manual-para-la-inspeccion-visual-de-estructuras-de-drenaje/file>
- Integrales), S. I. (2016). *1.3.1. Diagnóstico hidrológico e hidráulico del estado actual de la cuenca de la quebrada las burras – dorada, caldas. 2016*. Informe de diagnostico, SIE INGENIERÍA (Soluciones Integrales), Caldas, Dorada. Obtenido de https://empocaldas.com.co/doctransparencia/7/6/Diagnoostico%20Hidrologico%20e%20Hidraulico%20Charca_2016.pdf
- INVIAS. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*. (J. H. Gálvez, Ed.) Bogotá D.C, Colombia. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file>
- Julca Santa cruz, B. J., & Sanchez Meza, J. M. (2020). *Mejoramiento del diseño de la trocha carrozable a nivel afirmado del tramo cruce carretera Llaray - caserío Las Pajillas, distrito de Quiruvilca, provincia de Santiago de Chuco, La Libertad 2020*. Informe final.

- Tesis profesional, Universidad César Vallejo, Perú, Trujillo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/59032/Julca_SCBJ-S%c3%a1nchez_MJM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- M. D. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*. (J. H. Gálvez, Ed.) Bogotá D.C, Colombia. Recuperado el Octubre de 2021, de <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras/file>
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2017). *Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS*. Bogotá D.C, Colombia. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/0330-2017.pdf>
- Morán, W. C. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. (P. U. Peru, Ed.) Lima, Peru: Concytec. Recuperado el Septiembre de 2021, de <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/28689>
- Olaciregui, F. J., & Andes, U. d. (1997). *Análisis de estabilidad de taludes : utilizando los sistemas de información geográfica (S.I.G.)*. Santafé de Bogotá, Colombia: Uniandes-CIFI, ©1997. Obtenido de <https://www.worldcat.org/title/analisis-de-estabilidad-de-taludes-utilizando-los-sistemas-de-informacion-geografica-sig/oclc/915915543>
- Paluo, N. (12 de Octubre de 2019). Tirar basura en la cuneta supone un gran peligro. *Periodico la Vanguardia*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/natural/tu-huella/20190812/463998432867/basura-tirada-cunetas-carreteras-peligro-campana-libera-sensibilizacion-basuraleza.html>
- Romero Vanegas, A. J., Ronchaquirá Sabogal, Y., & Gomez Pachon, L. F. (2017). *Propuesta de diseño de un sistema de drenaje vial para el tramo de carretera terciaria san Joaquín alto del tigre en el municipio de la mesa Cundinamarca*. Universidad la Gran Colombia, Cundinamarca, Bogota D.C. Obtenido de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5551/1.%20Tesis%20de%20grado.pdf?sequence=1>