

EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA
(PASOS DE AGUA Y OBRAS DE ARTE) Y TALUDES DE LA RED VIAL SECUNDARIA
DEL TRAMO MOTEL AS DE AMOR VÍA ARMENIA MUNDO NUEVO Y EL ACCESO
EDIFICIO DE BELLAS ARTES (UTP), MUNICIPIO DE PEREIRA.

LUIS EDUARDO CAMACHO VALLEJO
OSCAR IVÁN FERNÁNDEZ ECHEVERRY

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA, RISARALDA

2018

EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA
(PASOS DE AGUA Y OBRAS DE ARTE) Y TALUDES DE LA RED VIAL SECUNDARIA
DEL TRAMO MOTEL AS DE AMOR VÍA ARMENIA MUNDO NUEVO Y EL ACCESO
EDIFICIO DE BELLAS ARTES (UTP), MUNICIPIO DE PEREIRA.

INVESTIGADOR PRINCIPAL
ALEJANDRO ÁLZATE BUITRAGO

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN
LUIS EDUARDO CAMACHO VALLEJO
OSCAR IVÁN FERNÁNDEZ ECHEVERRY

UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA, RISARALDA

2018

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Planteamiento del problema.....	11
1.1 Pregunta de investigación.....	12
2. Justificación	13
3. Objetivos.....	15
3.1 Objetivo general	15
3.2 Objetivos específicos.....	15
4. Referentes teóricos.....	16
4.1 Marco teórico.....	16
4.1.1 Taludes	16
4.1.1.1 Movimiento en los suelos.....	18
4.1.2 Drenaje superficial	21
4.1.2.1 Cunetas	21
4.1.2.2 Peralte	24
4.1.2.3 Alcantarillas.....	25
4.1.2.4 Vegetación.....	26
4.2 Marco de antecedentes.....	27
4.3 Marco legal	28
4.4 Marco conceptual	29
5. Diseño metodológico	31
5.1 Fases de la investigación	31
6. Resultados.....	33

6.1	Inventario de taludes y pasos de agua	33
6.2	Evaluación del estado, características de diseño, tipologías, patologías y funcionalidad de los pasos de agua.....	45
6.2.1	Tipo de alcantarilla.....	45
6.2.2	Tipo de entrega.....	46
6.2.3	Características de la tubería.....	49
6.2.4	Fracturas o desprendimientos.....	50
6.2.5	Grietas o fracturas en canales disipadores.....	53
6.2.6	Exposición de acero de refuerzo en muro cabezal, aletas, poceta y tubería	55
6.2.7	Socavación del concreto y suelo de fundación en aletas, solado y/o muro cabezal	62
6.2.8	Mantenimiento inadecuado	65
6.3	Evaluación y caracterización del estado y condición de estabilidad de los taludes ...	74
6.3.1	Perfil geológico de los taludes	74
6.3.2	Morfometría de los taludes.....	76
6.3.3	Signos de inestabilidad.....	76
6.3.4	Elementos de vulnerabilidad	77
6.3.5	Ensayos de laboratorio	78
6.3.5.1	Contenido de humedad.....	79
6.3.5.2	Gravedad específica.....	80
6.3.5.3	Corte directo	80
6.3.5.4	Granulometría.....	81
6.4	Medidas de mitigación necesarias de implementarse en los diferentes pasos de agua y taludes evaluados	89
6.4.1	Plan de mantenimiento preventivo y correctivo.....	89
7.	Conclusiones.....	92

8. Recomendaciones	93
Bibliografía	94

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Inventario de taludes	33
Tabla 2. Registro fotográfico de taludes	34
Tabla 3. Inventario de pasos de agua	39
Tabla 4. Tipo de alcantarilla.....	45
Tabla 5. Tipo de alcantarilla simple.....	45
Tabla 6. Tipo de entrega.....	46
Tabla 7. Estado del tipo de entrega abierto	47
Tabla 8. Estado del tipo de entrega controlado	48
Tabla 9. Estado del tipo de entrega controlado	49
Tabla 10. Fracturas o desprendimientos.....	50
Tabla 11. Fracturas o desprendimientos por elementos (encole y descole).....	51
Tabla 12. Grietas o fracturas en canales disipadores	53
Tabla 13. Tipo de grietas o fracturas en canales disipadores	54
Tabla 14. Exposición de acero de refuerzo en muro cabezal, aletas, poceta y tubería	55
Tabla 15. Elementos afectados por exposición de acero de refuerzo.....	56
Tabla 16. Parte de la aleta afectada por exposición de acero de refuerzo.....	57
Tabla 17. Parte del muro cabezal afectado por exposición de acero de refuerzo	58
Tabla 18. Parte de la poceta afectada por exposición de acero de refuerzo	58
Tabla 19. Parte de la tubería afectada por exposición de acero de refuerzo	59
Tabla 20. Nivel del daño por exposición de acero de refuerzo	60
Tabla 21. Socavación del concreto y suelo de fundación	62
Tabla 22. Parte afectada por socavación del concreto y suelo de fundación	62
Tabla 23. Elementos en el encole menor afectados por socavación del concreto y suelo de fundación.....	63
Tabla 24. Elementos en el descole menor afectados por socavación del concreto y suelo de fundación.....	64
Tabla 25. Mantenimiento inadecuado	65
Tabla 26. Clase de afectación por mantenimiento inadecuado	66

Tabla 27. Elemento afectado por invasión de maleza.....	67
Tabla 28. Elemento afectado por acumulación de escombros	68
Tabla 29. Elemento afectado por acumulación de basuras	69
Tabla 30. Elemento afectado por acumulación de tierra.....	70
Tabla 31. Estado del encole por mantenimiento inadecuado.....	71
Tabla 32. Estado de la tubería por mantenimiento inadecuado	72
Tabla 33. Estado del descole por mantenimiento inadecuado	73
Tabla 34. Perfil geológico de los taludes	74
Tabla 35. Morfometría de los taludes	76
Tabla 36. Signos de inestabilidad.....	76
Tabla 37. Clasificación del F.R.M.	77
Tabla 38. Elementos vulnerables y daños posibles	77
Tabla 39. Potenciales causas de inestabilidad.....	78
Tabla 40. Contenido de humedad de los taludes.....	79
Tabla 41. Gravedad específica	80
Tabla 42. Corte directo de los taludes.....	81
Tabla 43. Prueba de granulometría talud 1	82
Tabla 44. Resultados prueba de granulometría de los taludes	84
Tabla 45. Escala de estabilidad de los taludes	86
Tabla 46. Evaluación de estabilidad de los taludes.....	87

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Laderas y taludes	17
Figura 2. Deslizamiento o movimiento en masa típico.....	19
Figura 3. Vista real de sección parabólica revestida con prefabricados de concreto hidráulico	22
Figura 4. Vista filtro entrante	23
Figura 5. Vista real de lavadero con prefabricados de concreto hidráulico sobre talud de terraplén	24
Figura 6. Vista tridimensional de vía peraltada	25
Figura 7. Alcantarilla circular corrugada de metal proyectada fuera del talud de terraplén	25
Figura 8. Perspectiva de una alcantarilla circular corrugada de metal o concreto hidráulico con muro de cabecera y ala.....	26
Figura 9. Protección con vegetación en la vía.....	26
Figura 10. Ruta de intervención Motel AS de Amor - Mundo nuevo - Facultad de Bellas Artes	28
Figura 11. Vía sin obras de captación	37
Figura 12. Canales naturales en la vía.....	38
Figura 13. Tipo de alcantarilla simple.....	46
Figura 14. Tipo de entrega	47
Figura 15. Estado tipo de entrega abierto.....	48
Figura 16. Estado tipo de entrega controlado.....	49
Figura 17. Fracturas o desprendimientos	51
Figura 18. Fracturas o desprendimientos por elementos (encole y descole).....	52
Figura 19. Elementos afectados por fracturas o desprendimientos en el encole.....	52
Figura 20. Elementos afectados por fracturas o desprendimientos en el descole	53
Figura 21. Grietas o fracturas en canales disipadores	54

Figura 22. Tipo de grietas o fracturas en canales disipadores.....	55
Figura 23. Elementos afectados por exposición de acero de refuerzo	56
Figura 24. Parte de la aleta afectada por exposición de acero de refuerzo	57
Figura 25. Parte del muro cabezal afectado por exposición de acero de refuerzo	58
Figura 26. Parte de la poceta afectada por exposición de acero de refuerzo.....	59
Figura 27. Parte de la tubería afectada por exposición de acero de refuerzo	60
Figura 28. Nivel del daño por exposición de acero de refuerzo.....	61
Figura 29. Socavación del concreto y suelo de fundación	62
Figura 30. Parte afectada por socavación del concreto y suelo de fundación	63
Figura 31. Elementos en el encole menor afectados por socavación del concreto y suelo de fundación.....	64
Figura 32. Elementos en el descole menor afectados por socavación del concreto y suelo de fundación.....	65
Figura 33. Mantenimiento inadecuado.....	66
Figura 34. Clase de afectación por mantenimiento inadecuado.....	67
Figura 35. Elemento afectado por invasión de maleza.....	68
Figura 36. Elemento afectado por acumulación de escombros	69
Figura 37. Elemento afectado por acumulación de basuras	70
Figura 38. Elemento afectado por acumulación de basuras	71
Figura 39. Estado del encole por mantenimiento inadecuado.....	72
Figura 40. Estado de la tubería por mantenimiento inadecuado	73
Figura 41. Estado del descole por mantenimiento inadecuado	74
Figura 42. Registro fotográfico pruebas de granulometría talud	82
Figura 43. Curva de granulometría talud 1	83
Figura 44. Curva de granulometría talud 2	83
Figura 45. Curva de granulometría talud 3	83
Figura 46. Curva de granulometría talud 4	84
Figura 47. Curva de granulometría talud 5	84
Figura 48.Obstrucción generada por falta de mantenimiento	89
Figura 49.Secciones típicas de la cuneta.....	91
Figura 50.Disipadores de energía.....	91

Introducción

El presente trabajo de investigación, muestra los resultados del análisis realizado a los taludes y pasos de agua de la red vial secundaria del tramo Motel As de Amor vía Armenia y el acceso Edificio de Bellas Artes (UTP), municipio de Pereira, que a partir de una investigación de tipo descriptiva – analítica identificó un total de cinco (5) taludes y 17 pasos de agua. El objetivo de identificar, caracterizar, los taludes y pasos de agua se ajustó a los términos estipulados en el manual de INVIAS. Para el diagnóstico se recurrió a ensayos de laboratorio como pruebas de contenido de humedad, gravedad específica, corte directo y granulometría.

El trabajo de campo realizado permitió identificar que se encuentra un volumen de área potencialmente deslizable en esta zona que varía entre los 192,5 y los 1.440 m³, con un área de afectación de los 180 a los 420 m², igualmente se logró establecer que la falta de obras de captación de aguas lluvia, esta ocasionado que las canales que hay a cada lado de la vía son naturales y cada día más grandes por la socavación del agua.

Los resultados obtenidos en esta investigación son un aporte a las bases de investigación de la Universidad Libre de Pereira, orientadas a la planificación del municipio frente a las obras de mitigación y reparación de los tramos rurales del municipio de Pereira.

1. Planteamiento del problema

Las vías terciarias son la gran apuesta de infraestructura para el desarrollo del campo y la consolidación de la paz, dado que se ejecutan en las zonas más vulnerables y con mayor impacto en la generación de economías locales (DNP , 2016).

La intercomunicación terrestre de la población rural se hace difícil debido a que por un lado las vías están en mal estado, intransitables o con restricciones de tránsito y por otro hay deficiente mantenimiento. Algunas de las vías tienen deterioro de la superficie para la circulación de vehículos, debido a situaciones específicas como tratamientos deficientes o la falta de mantenimiento.

La dificultad en la intercomunicación terrestre de las zonas veredales de acuerdo al Departamento Nacional de Planeación DNP, está asociado directamente al deterioro de las vías debido a dos causas específicas: deterioro de la superficie de rodadura y desatención de puntos críticos. En esta segunda causa se hace referencia específica a zonas de inestabilidad geológica o geotécnica, drenaje deficiente de escorrentía e inestabilidad de taludes¹.

La situación anterior se agrava en las temporadas invernales que provocan la saturación en la superficie terrestre, afectando gravemente la estabilidad de los taludes de corte y relleno en las vías, especialmente en las zonas rurales que por su topografía y estructura de sus carreteras en afirmado son muy susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos de tierra debido a que generalmente, se reúnen cuatro de los elementos más importantes para su ocurrencia tales como son la topografía, sismicidad, meteorización y lluvias intensas.

Uno de los problemas más graves que se presentan en el funcionamiento de los taludes viales es la combinación de factores como los estudios incompletos, generalmente por falta de presupuestos, el uso de maquinaria inapropiada en su construcción, pendientes inadecuadas, falta de construcción de drenajes como zanjas de coronación, inadecuado mantenimiento, el mal uso

del suelo sobre los taludes con sembríos sin un regadío apropiado o con asentamientos poblacionales sin adecuados sistemas de evacuación de aguas servidas, a lo que ahora se adiciona el cambio climático, que en su conjunto o en forma individual están afectando su estabilidad (Sánchez, 2009).

Dentro de este contexto las vías terciarias del municipio de Pereira, son vulnerables a la presencia de estas deficiencias que ocasionan congestión en las vías por pasos restringidos, aumento de tiempo de viajes de los habitantes de las zonas rurales, dificultades en la comercialización de los productos agrícolas y ganaderos afectando las economías rurales. Cada una de esas situaciones trae consigo diferentes efectos colaterales como inoportuno acceso a servicios médicos, aumento en los costos de transporte de carga y pasajeros, incremento de precios de los alimentos, pérdida de productos.

Para el caso específico de este estudio se evaluará el estado del arte de la infraestructura hidráulica (pasos de agua y obras de arte) y taludes de la red vial secundaria del tramo Motel As de Amor la vereda mundo nuevo hasta el acceso edificio de Bellas Artes (UTP), del municipio de Pereira, para determinar las condiciones de estas importantes estructuras e identificar los puntos críticos en la vía de análisis y poder emitir desde la visión de la ingeniería civil un plan de mitigación viable, que al implementarse mejore las condiciones en los diferentes pasos de agua y taludes evaluado.

1.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es el estado del arte de la infraestructura hidráulica (pasos de agua, obras de arte) y taludes de la red vial secundaria del tramo Motel As de Amor – Mundo Nuevo - Acceso al edificio de Bellas Artes (UTP), ¿municipio de Pereira?

2. Justificación

La vulnerabilidad del departamento de Risaralda a los cambios ambientales, evidencia la necesidad de fortalecer planes de prevención que mitiguen los sucesos de deslizamientos en las vías de intercomunicación terrestres de las zonas rurales. Este hecho se sustenta ante los deslizamientos de relacionados con el fenómeno de la niña que cada año se presenta con mayor intensidad en el territorio nacional, ocasionando en cada periodo invernal una gran cantidad de kilómetros de vías afectadas, hecho que se relaciona directamente con las consecuencias que ocasionan las infiltraciones de agua lluvia y otras fuentes de agua como son los cuerpos de agua (canales, cañadas o lagunas) arriba del talud, en los cuales puede ocurrir infiltración localizada.

La importancia de una adecuada tecnología de recubrimiento y protección de taludes afectados por saturación del suelo, disminuye el problema de accidentalidad, congestiones de tráfico, disminuye la vulnerabilidad ante catástrofes, así como el prematuro deterioro de las vías, pero para poder lograr la implementación de un plan de prevención y mantenimiento de las infraestructuras como redes hidráulica (pasos de agua y obras de arte) y taludes, se hace necesario identificar las condiciones y puntos críticos de los diferentes corredores viales. Es por esto que el evaluar y caracterizar el estado y condición de estabilidad de los taludes es un proceso que debe ser adoptado por parte de los entes territoriales como instrumento para la planeación de obras, mantenimiento e identificación de zonas de riesgo durante los periodos invernales, que como ya se indicó, son cada más fuertes y más prologados.

Es así como evaluar el estado del arte de la infraestructura hidráulica (pasos de agua y obras de arte) y taludes de la red vial secundaria del tramo Motel As de Amor, hasta el edificio de Bellas Artes (UTP), que cruza el sector rural de la vereda de Mundo Nuevo y sus periferias adquiere importancia si se tiene en cuenta que esta zona del municipio de Pereira tiene dos connotaciones de importancia: una de ellas es que es un intercomunicador terrestre de veredas con un gran número de pequeños productores de hortalizas y este circuito vial permite el acceso a la vía principal hacia el departamento del Quindío y el centro de la ciudad, y un segundo aspecto es que esta zona ha

alcanzado un desarrollo en actividades de ciclo turismo rural que le ha dado una nueva alternativa de sustento, debido al desarrollo de actividades comerciales ante la presencia continua de propios o turistas que circulan por la zona.

Contar con un diagnóstico del estado de los taludes y pasos de agua del tramo vial objeto de estudio, con una propuesta de medidas de mitigación, se traduce en beneficios para la comunidad y los usuarios; en la medida que permitiría disminuir los riesgos de deslizamientos, bloqueos de la carretera, mayor deterioro de los pavimentos y contribuiría a la disminución del impacto negativo ambiental de la erosión en una zona de vocación agrícola y turística.

Por último, este estudio permite consolidar la base de conocimiento de los diferentes semilleros de investigación de la Universidad Libre de Pereira en su Facultad de Ingeniería Civil.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el estado del arte de la infraestructura hidráulica (pasos de agua y obras de arte) y taludes de la red vial secundaria del tramo Motel As de Amor – Mundo Nuevo - Acceso edificio de Bellas Artes (UTP), municipio de Pereira.

3.2 Objetivos específicos

Realizar el inventario de taludes y pasos de agua, con los que cuenta la red vial secundaria del tramo vial objeto de estudio.

Evaluar el estado, características de diseño, tipologías, patologías y funcionalidad de los pasos de agua existentes en el tramo vial objeto de estudio, según la metodología y fichas técnicas del INVIAS.

Evaluar y caracterizar el estado y condición de estabilidad de los taludes más críticos del tramo vial objeto de estudio.

Estimar las medidas de mitigación necesarias de implementarse en los diferentes pasos de agua y taludes evaluados como un instrumento de la gestión del riesgo de desastres y la planificación del desarrollo local.

4. Referentes teóricos

4.1 Marco teórico

De acuerdo al Fondo para la comunicación y la educación ambiental A.C. de México

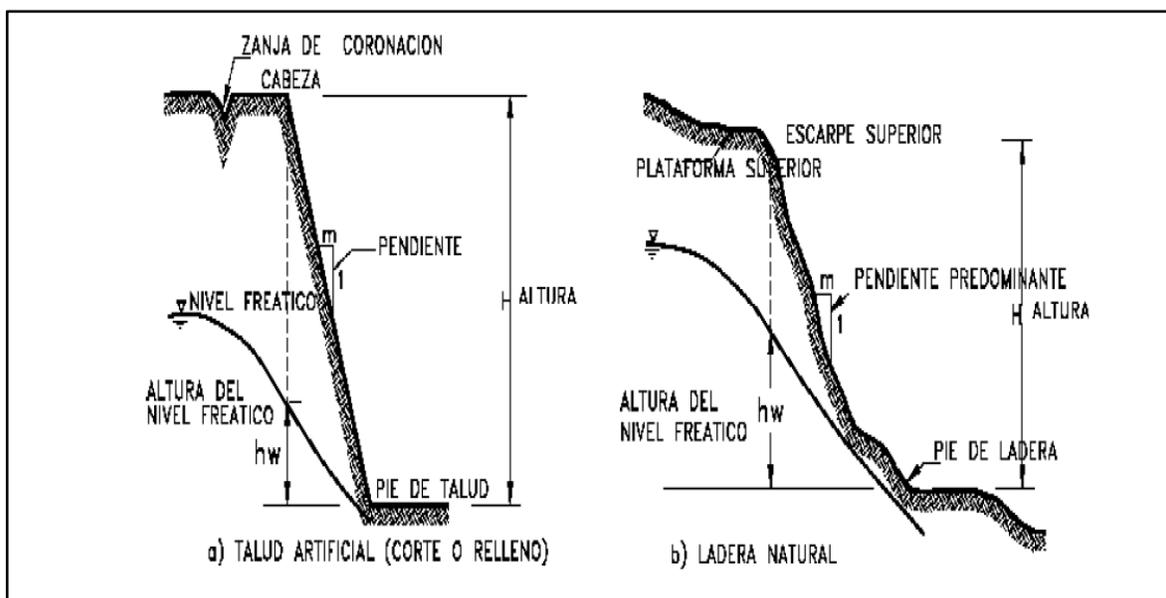
“Para lograr un consumo eficiente, sostenible y sustentable de los recursos hídricos, es necesario considerar la infraestructura hidráulica necesaria para atender todos los procesos que implican al agua, tales como la conservación de los ecosistemas donde se da la recarga de acuíferos, la extracción, la potabilización, el suministro, el desalojo pluvial, el alcantarillado y drenaje, así como el tratamiento de las aguas residuales” (Agua.org.mx, 2015).

Teniendo en cuenta el alcance de los objetivos de la investigación se abordaron los aspectos teóricos que fundamentan los elementos estructurales estudiados y el alcance de los laboratorios requeridos para la determinación de los resultados.

4.1.1 Taludes

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que posee pendiente o cambios de altura significativos, entendiendo ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se conformó artificialmente (Sánchez, 2009), en la figura 1 se aprecia la estructura de una ladera y un talud artificial.

Figura 1. Laderas y taludes



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales de Jaime Suárez Díaz

Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas.

En el talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

Altura: Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados (Suarez, 1998).

Pie: Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior (Suarez, 1998).

Cabeza o escarpe: Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior (Suarez, 1998).

Altura de nivel freático: Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza (Suarez, 1998).

Pendiente: Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación $m/1$, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical (Suarez, 1998).

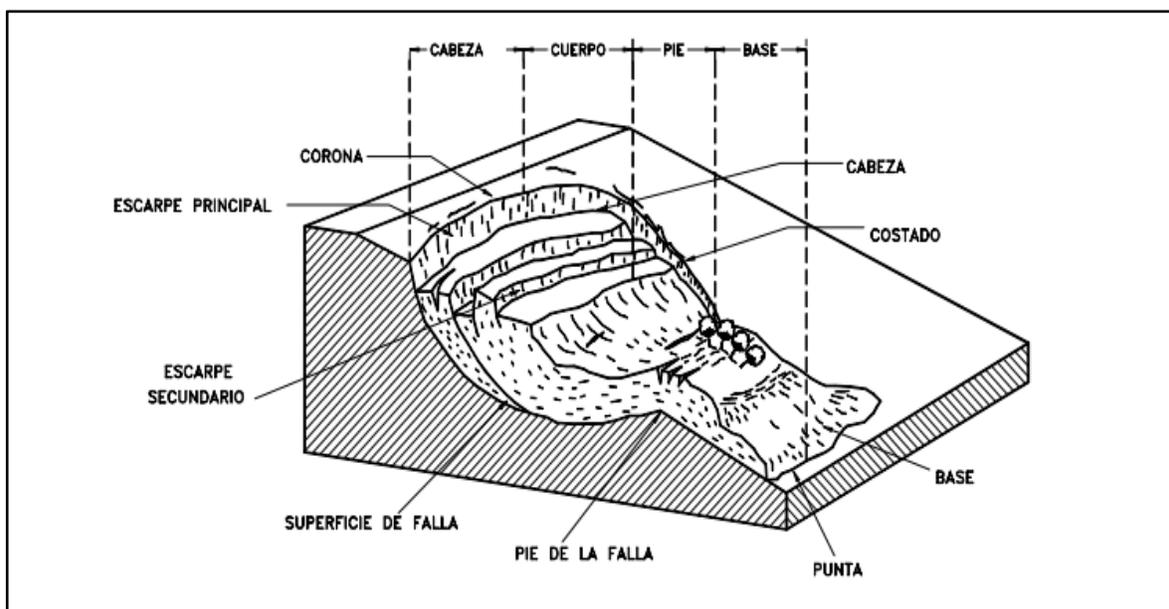
Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.

El Manual de Diseño del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, recomienda la construcción de taludes de acuerdo a los diferentes tipos de suelos, su diseño depende de las condiciones de los suelos y de las características geométricas de la vía, como regla general los taludes deben diseñarse con la menor pendiente económicamente permisible (Sánchez, 2009).

4.1.1.1 Movimiento en los suelos

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo (Suarez, 1998).

Figura 2. Deslizamiento o movimiento en masa típico



Fuente: Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Jaime Suárez, p.3

Los deslizamientos de tierra tienen como característica de que hay un movimiento de una gran masa de suelo o roca a lo largo de una superficie más o menos definida, donde en la mayoría de los casos la masa permanece intacta durante las primeras etapas del movimiento, pero finalmente se deforma y rompe en pedazos, a medida que el movimiento progresa. Algunas fallas ocurren bruscamente con un ligero aviso o ninguno, mientras que otras se producen pausadamente después de anunciar su intención por un asentamiento lento o por la formación de grietas (Oliva, 2015).

El movimiento ocurre cuando la resistencia al esfuerzo cortante del terreno es excedida por los esfuerzos cortantes que se producen en una superficie relativamente continua, las fallas localizadas en un solo punto de la masa de tierra no indican, necesariamente, que la masa sea inestable. La inestabilidad sólo se produce como resultado de la falla por esfuerzo cortante en una serie de puntos que definen una superficie, a lo largo de la cual se produce el movimiento. La inestabilidad de taludes y laderas están entre las fallas más corrientes de masas de tierra o rocas (Oliva, 2015).

El peso de la masa del terreno y del agua que está contenida en los taludes, es la fuerza principal que tiende a producir la falla, mientras que la resistencia al esfuerzo cortante del terreno disminuida por la presión de agua es la principal fuerza resistente. La superficie de falla sobre la cual se desliza

la masa de suelo o roca inestable, tiene generalmente forma cóncava y es sin dudas un fenómeno de carácter tridimensional (Oliva, 2015).

En cuanto a la clasificación de los movimientos estos tienen cuatro etapas identificadas según Jaime Suarez en su libro Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales estas son:

- Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo está intacto.
- Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- La etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

La seguridad de una masa de terreno frente a la rotura y movimiento es lo que se conoce como su estabilidad y debe considerarse no sólo en el proyecto de estructuras de tierra o roca, sino también en la reparación y corrección de las que han fracasado. Los proyectos de los taludes en excavaciones a cielo abierto y la sección transversal de los terraplenes, diques y presas de tierra, están basados principalmente en los estudios de estabilidad. Cuando ocurren los fracasos, ya sean deslizamientos, corrimientos o hundimientos, es necesario hacer estudios de estabilidad para determinar la causa de la falla y poder indicar su corrección y el mejor método para prevenir dificultades futuras. En dicho estudio, es importante diferenciar los cortes de los terraplenes (Oliva, 2015).

Los problemas de estabilidad de una ladera son, en muchos casos, diferentes de los que se presentan en los taludes. Las diferencias principales se deben a la naturaleza de los materiales involucrados y a las condiciones que prevalecieron en la formación de la ladera (geología,

climatología, etc.), además de la influencia que el hombre ha ejercido sobre ella (deforestación, cambios en el uso del suelo, cortes para construcción de obras, etc.) (Oliva, 2015).

4.1.2 Drenaje superficial

Colombia es uno de los países más húmedos del planeta, con una gran riqueza hídrica reflejada en el régimen de lluvias de tipo bimodal y/o unimodal. Los promedios de precipitación superiores a 2000 mm/año casi en la totalidad de su territorio, lo llevan a ocupar el cuarto lugar en el mundo en cuanto a disponibilidad de agua después de Rusia, Canadá y Brasil (INVIAS, 2009).

Esta condición implica que las carreteras se encuentren sometidas de manera frecuente a la acción del agua lluvia y que deban atravesar o bordear numerosos cursos de agua. Así mismo, dada la distribución de la población en el país, buena parte de la red vial nacional transcurre en terrenos montañosos, donde el agua subterránea afecta con frecuencia la estabilidad de los taludes y debilita los suelos que soportan los pavimentos. Esta combinación de circunstancias hace especialmente necesarios el diseño y la construcción de sistemas de drenaje de cuya eficacia dependerá, en buena medida, la calidad de la operación vial y la vida útil de las carreteras nacionales (INVIAS, 2009).

Las estructuras hidráulicas de drenaje vial funcionan a superficie libre o canal abierto, sujeto a la presión atmosférica. Dependiendo de la variación de la profundidad y de la velocidad del flujo, a lo largo del canal y en el tiempo ocurren diferentes tipos de flujo, clasificados como uniformes, no uniformes o variados, permanentes y no permanentes o combinaciones de los anteriores.

Las obras de drenaje están diseñadas para eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja de la carretera y restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado, a continuación, se describen los diferentes sistemas de drenaje.

4.1.2.1 Cunetas

Las cunetas son estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente

hasta asegurar su adecuada disposición. Las cunetas construidas en zonas en terraplén protegen también los bordes de la berma y los taludes del terraplén de la erosión causada por el agua lluvia, además de servir, en muchas ocasiones, para continuar las cunetas de corte hasta una corriente natural, en la cual entregar (Velazquez, 2014).

Los puntos de disposición son cajas colectoras de alcantarillas y salidas laterales al terreno natural en un cambio de corte a terraplén. En las cunetas en terraplén, las aguas se disponen al terreno natural mediante bajantes o alivios y en las cunetas de un separador central⁸ las aguas también son conducidas a la caja colectoras de una alcantarilla.

Las cunetas se deben localizar esencialmente en todos los cortes, en aquellos terraplenes susceptibles a la erosión y en toda margen interna de un separador que reciba las aguas lluvias de las calzadas. Las abscisas en las cuales se deben ubicar cunetas y puntos de desagüe deben ser obtenidas a partir del análisis de los perfiles de la vía (con sus líneas de chaflán de corte y de relleno) y del diagrama de peraltes en donde se indica el sentido del bombeo (pendiente transversal) para el caso de dobles calzadas (Velazquez, 2014).

Figura 3. Vista real de sección parabólica revestida con prefabricados de concreto hidráulico



Fuente: Tipología obras de drenaje y subdrenaje en vías, p.8

Los descole de cunetas son elementos y revestimientos hidráulicos que ayudan a entregar o intersectar el flujo de agua a corrientes naturales o estructuras hidráulicas como pocetas, protecciones y bajantes.

- Pocetas: conocidas como cajas colectoras, que por lo general se ubican a la entrada de una alcantarilla transversal (encole). Para su dimensionamiento es necesario considerar las medidas y la profundidad de la tubería de la alcantarilla, la profundidad del filtro entrante o el tamaño de la estructura de encole y la facilidad de mantenimiento de la obra.

Figura 4. Vista filtro entrante



Fuente: Tipología obras de drenaje y subdrenaje en vías, p.11

- Bajantes: conocidos como aliviaderos. Son estructuras que recogen las aguas de las zanjas de coronación que no se pueden entregar a corrientes naturales o de cunetas de terraplén (en este caso también recibe el nombre de lavadero) y las conducen hacia la parte inferior del talud.

Figura 5. Vista real de lavadero con prefabricados de concreto hidráulico sobre talud de terraplén



Fuente: Tipología obras de drenaje y subdrenaje en vías, p.11

4.1.2.2 Peralte

Esta característica también está definida en el diseño geométrico. El peralte se caracteriza por ser una inclinación dada al perfil transversal de una carretera en los tramos en curva horizontal para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento. Al igual que el bombeo, también contribuye al escurrimiento del agua lluvia (Pulecio, 2015).

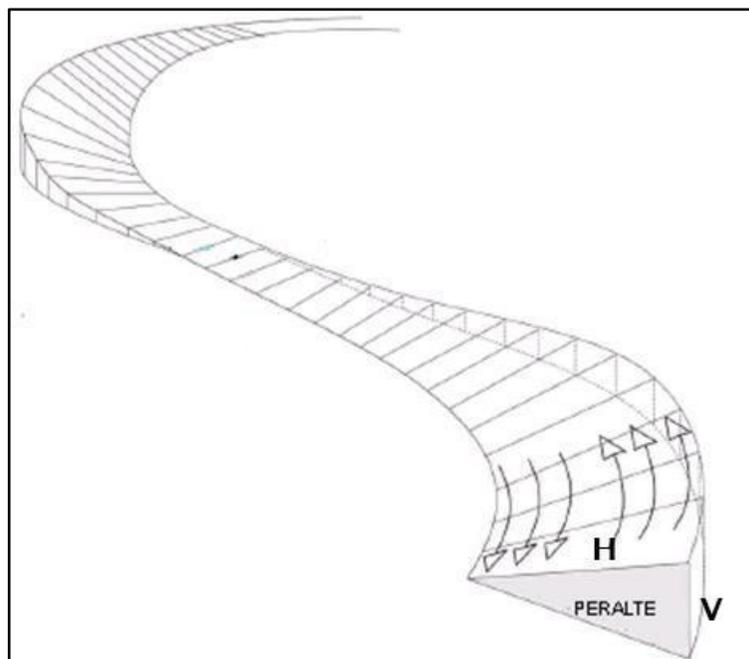
e = porcentaje de peralte

Criterio Invías: $e = V/H$

$e \leq 8\%$ en peraltes de vías principales y secundarias

$e \leq 6\%$ en vías terciarias

Figura 6. Vista tridimensional de vía peraltada

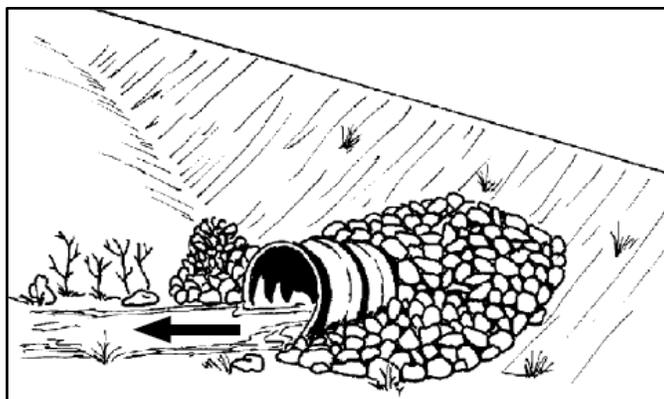


Fuente: Tipología obras de drenaje y subdrenaje en vías, p.7

4.1.2.3 Alcantarillas

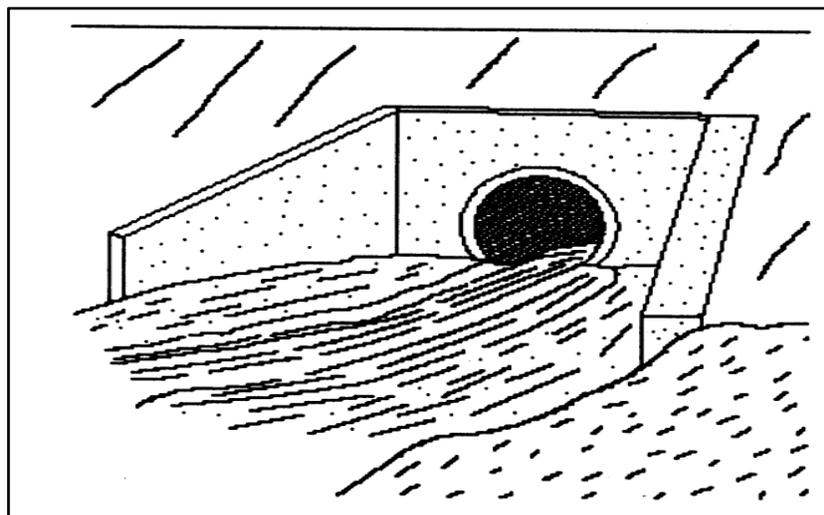
Una alcantarilla es un conducto relativamente corto a través del cual se cruza el agua bajo la vía de un costado a otro. Incluye conductos con cualquier sección geométrica, en especial conductos circulares y alcantarillas de cajón (Pulecio, 2015, p.17).

Figura 7. Alcantarilla circular corrugada de metal proyectada fuera del talud de terraplén



Fuente: Fuente: Tipología obras de drenaje y subdrenaje en vías, p.17

Figura 8. Perspectiva de una alcantarilla circular corrugada de metal o concreto hidráulico con muro de cabecera y ala



Fuente: Tipología obras de drenaje y subdrenaje en vías, p.17

4.1.2.4 Vegetación

Una de las maneras más efectivas de proteger los taludes de un corte, terraplén o del terreno natural contra la acción erosiva del agua superficial es la plantación de especies vegetales, estas retardan el escurrimiento disminuyendo la velocidad del agua y contribuyen a fomentar una condición de equilibrio en los suelos respecto al contenido de agua (Pulecio, 2015, p.16).

Figura 9. Protección con vegetación en la vía



Fuente: Tipología obras de drenaje y subdrenaje en vías, p.16

4.2 Marco de antecedentes

Al hacer una revisión bibliográfica de estudios que abordaron investigaciones similares a las del estudio planteado se encontraron:

A nivel internacional el estudio análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay, realizado en Perú, realizado por Joel Arturo Mendoza Loayza, en el cual se analizaron los taludes de la mina Antapaccay que se encuentra ubicada en la provincia de Espinar, región Cusco, a más de 4 100 msnm. Este proyecto es una unidad productora de concentrados de cobre. La mina Antapaccay realiza las explotaciones a tajo abierto por lo que los análisis de estabilidad de taludes son indispensables en cualquiera de las fases de minado.

El objetivo de este estudio fue determinar los parámetros de diseño de los taludes de gran altura debido a que la profundidad efectiva de excavación o desnivel supera los 100 metros. Para ello, se realizaron los análisis de estabilidad en condiciones estáticas y pseudoestáticas considerando valores variables de poro-presión (R_u) para los suelos debido al desconocimiento de la ubicación exacta de la línea piezométrica.

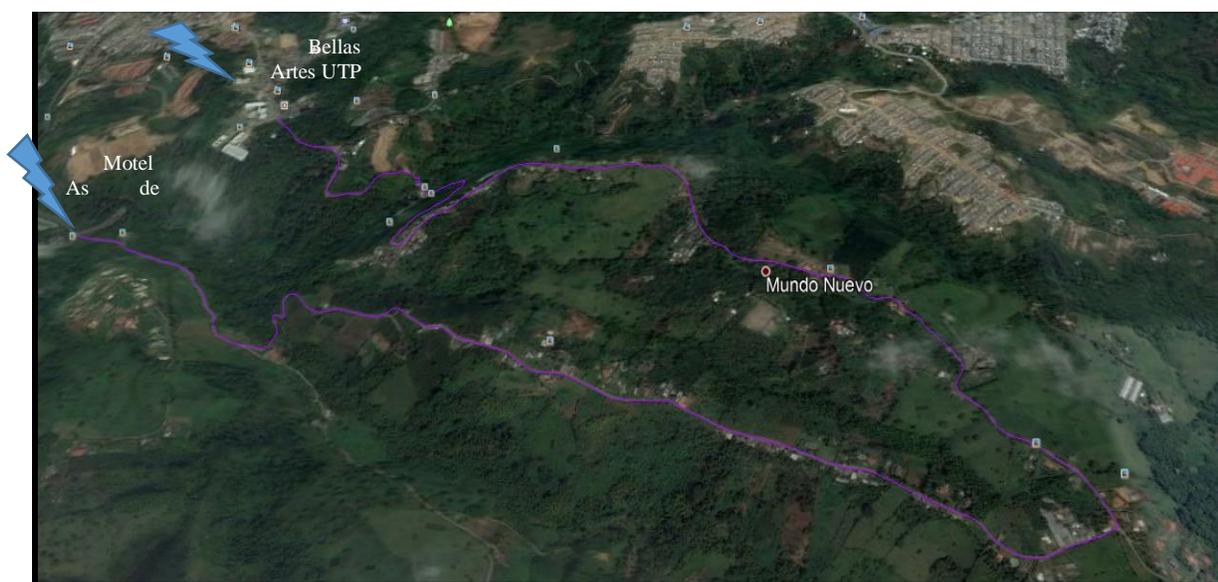
La realizada por Gustavo Sandoval Padilla y Eder Sierra Laiseca en el año 2016, evaluación y diseño de la obra hidráulica en el tramo (k3+250) sobre el cauce de la quebrada Malachi, de la vía Agua de dios – Nilo, que tenía como objetivo establecer una solución técnica basada en la normatividad colombiana, al problema de escorrentía de aguas superficiales en el tramo señalado como K3+250 de la vía terciaría que comunica los municipios de Agua de Dios y Nilo Cundinamarca, con el propósito de mantener la funcionalidad de la infraestructura vial en épocas de lluvias, para lo cual realizaron a través de inspección visual la estructura de drenaje vial en el tramo identificado (Sandoval & Sierra, 2016).

En otra fase de la investigación realizaron los diseños del drenaje superficial, diseño del conducto de la alcantarilla, conforme a su funcionamiento hidráulico, arrastre de sedimentos, socavación y estructuras de entrada y salida, y Realizaron los planos constructivos y presupuesto de la construcción del drenaje superficial para la vía en estudio.

Para el análisis de la información es estudio empleo manuales de diseño de drenajes, Manuales de diseño hidráulico y estructural, para las características del suelo se utilizarán instrumentos de medición, como estación topográfica, laboratorio de suelos y programas de computación especializados como AutoCAD para dibujar y Etabs para modelar estructuras de concreto (Sandoval & Sierra, 2016).

En la Figura 11 se muestra la zona de intervención.

Figura 10. Ruta de intervención Motel AS de Amor - Mundo nuevo - Facultad de Bellas Artes



Fuente: Google Earth

4.3 Marco legal

Manual de drenaje para carreteras. Elaborado por el Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías, en el año 2009. Es una guía para uso en el análisis hidrológico de las cuencas y áreas aferentes al corredor vial y en el diseño hidráulico de las estructuras componentes del sistema de drenaje superficial y subsuperficial. Su intención es suministrar una base para uniformizar la práctica de diseño para el drenaje típico de las carreteras nacionales (INVIAS, 2009).

Manual para la inspección visual de las estructuras de drenaje. Elaborado por la República de Colombia, Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías, en el año 2006. Es una guía para la identificación de los componentes y en la evaluación de los daños presentes en este tipo de estructuras (INVIAS, 2006)

Manual para la inspección visual de obras de estabilización. Elaborado por la República de Colombia, Ministerio de Transporte y el Instituto Nacional de Vías, en el año 2006. Es una guía para para la inspección y el reporte de los daños que se puedan encontrar en las obras de estabilización (INVIAS, 2006).

4.4 Marco conceptual

La conceptualización se realizó con base al manual publicado Ministerio de Transporte e Instituto Nacional de Vías, en su aparte específico del glosario.

Agradación: acumulación general y progresiva del perfil longitudinal del lecho de un cauce debido a la depositación de sedimentos (INVIAS, 2009).

Base permeable: capa de base construida con agregados de granulometría abierta, estabilizados o no, diseñada y construida específicamente para permitir el drenaje subhorizontal del agua de precipitación o de flujo superficial que se infiltra en la estructura del pavimento (INVIAS, 2009).

Bombeo: pendiente transversal en los tramos rectos de la carretera, que tiene por objeto facilitar el escurrimiento superficial del agua (INVIAS, 2009).

Cauce aluvial: cauce totalmente en aluvión, sin roca; su lecho suele ser de tipo granular. En caudales bajos queda a la vista y puede estar expuesto a procesos erosivos (INVIAS, 2009).

Caudal: relación entre el volumen de agua y el tiempo producido por una corriente de agua (INVIAS, 2009).

Erosión lateral: erosión en la cual la remoción del material es extendida horizontalmente, generándose un retroceso de las orillas o márgenes del cauce, en contraste con la degradación y la socavación que se producen en una dirección vertical (INVIAS, 2009).

Escorrentía: agua que escurre por los terrenos de la hoya hidrográfica superficialmente (escorrentía superficial) o subterráneamente (escorrentía subterránea) (INVIAS, 2009).

Escorrentía subterránea: proceso por el cual el agua se mueve dentro del suelo por debajo del nivel freático bajo la acción de un gradiente hidráulico (INVIAS, 2009).

Escorrentía superficial: agua que escurre laminarmente sobre el suelo o sobre depresiones (canales o corrientes de agua) (INVIAS, 2009).

Granulometría: distribución dimensional de las partículas de un suelo o agregado, la cual se expresa por la proporción en peso de material existente de cada tamaño (INVIAS, 2009).

Infiltración: proceso por el cual el agua penetra dentro del suelo. Es un fenómeno que tiene que ver con las características superficiales del suelo, y la relación entre la capacidad de infiltración del suelo y la intensidad de precipitación (INVIAS, 2009).

Socavación: erosión del lecho o de las márgenes debido a corrientes de agua; frecuentemente se considera como localizada (ver socavación local, socavación por contracción y socavación total) (INVIAS, 2009).

5. Diseño metodológico

La investigación para alcanzar el objetivo de evaluar el estado del arte de la infraestructura hidráulica (pasos de agua y obras de arte) y taludes de la red vial secundaria del tramo Motel As de Amor - Acceso edificio de Bellas Artes (UTP), municipio de Pereira, fue de tipo mixto, toda vez que se aplicó la investigación descriptiva, analítica. Igualmente se aplicó el método experimental para obtener los resultados.

5.1 Fases de la investigación

De acuerdo a los objetivos específicos la investigación se ejecutó en cuatro fases:

Fase 1. Inventario de taludes y pasos de agua: Tramo Motel As de Amor - Acceso edificio de Bellas Artes (UTP), municipio de Pereira.

Para alcanzar este objetivo se plantearon diferentes actividades, realizadas en coordinación con la Universidad. Estas se resumen en:

Selección de fichas técnicas de obras transversales y taludes a partir de la consulta de los manuales de INVIAS, ajuste de fichas técnicas de obras transversales y taludes y salida de campo para identificación de pasos de agua y taludes existentes en el tramo vial objeto del estudio

Fase II. Evaluación el estado, características de diseño, tipologías, patologías y funcionalidad de los pasos de agua existentes en el tramo vial objeto de estudio, según la metodología y fichas técnicas del INVIAS.

Las actividades que orientaron esta actividad se centraron en: Para estimar el estado, características de diseño, tipología, patología y funcionalidad de los pasos de agua, se aplicó el

formato de inspección visual en cada uno de los pasos de agua y taludes encontrados en el área de estudio y por último se realizó el respectivo análisis de resultados obtenidos.

Fase III. Evaluación y caracterización el estado y condición de estabilidad de los taludes más críticos del tramo vial objeto de estudio.

Para este objetivo se hizo uso de la investigación experimental a través de las pruebas de laboratorio que se realizaron a las muestras de suelo de los taludes, determinando las características: perfil geológico talud, Morfometría de los taludes

Los ensayos de laboratorio de suelos realizados fueron: pruebas de contenido de humedad, gravedad específica, corte directo y granulometría.

Fase IV. Estimar las medidas de mitigación necesarias de implementarse en los diferentes pasos de agua y taludes evaluados como un instrumento de la gestión del riesgo de desastres y la planificación del desarrollo local.

En esta fase se realizó un análisis de los resultados obtenidos en la evaluación visual y pruebas de laboratorio, a partir de ellas se plantearon una serie de medidas de mitigación que permitieran hacer frente a las diferentes situaciones encontradas en los diferentes pasos de agua y taludes.

6. Resultados

6.1 Inventario de taludes y pasos de agua

El inventario de taludes y pasos de agua, con los que cuenta la red vial secundaria del tramo Motel As de Amor vía Armenia y el acceso al edificio de Bellas Artes (UTP), municipio de Pereira, dio como resultado un total de cinco taludes y 17 pasos de agua.

Para el inventario de los taludes se aplicó el formato de caracterización de fenómenos de remoción en masa (F.R.M) y/o taludes. En la siguiente tabla se presentan aspectos generales de los taludes encontrados en la vía:

Tabla 1. Inventario de taludes

Aspecto	Talud 1	Talud 2	Talud 3	Talud 4	Talud 5
Área	360	160	192.5	371.25	280
ASNM	1.360	1.400	1.380	1.410	1.335
Tipo	Corte o excavación de vía				
Humedad	Húmedo	Húmedo	Seco	Húmedo	Húmedo
Cobertura vegetal	Rastrojo	Pastos	Rastrojo, pastos	Café	Rastrojo
Forma de la pendiente	Plana (lisa)	Combinada	Combinada	Plana (lisa)	Plana (lisa)

Fuente: los autores

En la tabla que se relaciona a continuación, se aprecia el registro fotográfico correspondiente a los taludes que se ubican en la vía.

Tabla 2. Registro fotográfico de taludes

No. Talud	Foto / esquema
Talud 1	 <p data-bbox="440 856 1260 888">Talud ubicado al costado derecho de la vía sentido motel – UTP</p>
Talud 2	 <p data-bbox="440 1482 1260 1514">Talud ubicado al costado derecho de la vía sentido motel – UTP</p>

No. Talud	Foto / esquema
Talud 3	 <p data-bbox="440 856 1260 888">Talud ubicado al costado derecho de la vía sentido motel – UTP</p>
Talud 4	 <p data-bbox="440 1512 1260 1543">Talud ubicado al costado derecho de la vía sentido motel – UTP</p>

No. Talud	Foto / esquema
Talud 5	 <p data-bbox="440 850 1260 884">Talud ubicado al costado derecho de la vía sentido motel – UTP</p>

Fuente: los autores

K0- Al inicio de la vía objeto de estudio, se encuentran dos carriles, ambos de 2,8 metros de ancho, 15 metros después, específicamente sobre el carril del lado izquierdo se ubica un canal fabricado con longitud de 18.78 metros hasta llegar al encole, el cual se observa tapado debido a la vegetación del talud donde se encuentra.

En el k0+300 termina la vía pavimentada, con una pendiente promedio del 16.66%. La vía pavimentada presenta cunetas a ambo lados socavadas por las lluvias, desde el k0+350 hasta el k0+830.

En el k0+940 se ubica un puente, que presenta mal manejo de aguas lluvias, tiene canales a ambos lados de la vía que desembocan en el rio, pero el puente presenta inundaciones. A partir del puente inicia la vía pavimentada, con una pendiente alta del 15.5 %.

En el K1+650 termina la vía pavimentada y canales laterales, 200 metros más adelante hay una huella para la entrada a una finca, el resto sigue sin pavimentar y sin obras de manejo de aguas

lluvia. Ambos lados con cunetas naturales por socavación de la vía. Se observa poca presencia de obras de manejo de aguas.

K3+350 es la vía hacia Mundo Nuevo y la Universidad Tecnológica de Pereira (Y).

K5+100 se encuentra una canal construida en concreto sobre el lado izquierdo de la vía, observando obstrucción por material arrastrado por las lluvias.

K5+650 se encuentra el CAI de la policía y empieza de nuevo la vía pavimentada con cunetas a ambos lados.

K6+00 termina vía pavimentada, inicia la vía destapada, donde se observa inexistencia de obras de manejo de aguas lluvia, el puente está en el k6+850.

En las siguientes figuras, se observa la falta de obras de captación de aguas lluvia, las canales que hay a lado y lado de la vía son naturales y cada día más grandes por la socavación del agua.

Figura 11. Vía sin obras de captación



Fuente: los autores

Figura 12. Canales naturales en la vía



Fuente: los autores

En la siguiente tabla se detallan los 17 pasos de agua, con la figura correspondiente al encole y al descole, así mismo la descripción de cada uno.

Tabla 3. Inventario de pasos de agua

No.	Abcisa	Encole	Descripción	Descole	Descripción
1	k0+200		Se puede evidenciar que el encole esta obstruido por diversas vegetaciones suelos y escombros, los cuales evitan el flujo de las aguas escorrentías.		Se puede evidenciar que carece de mantenimiento, con acumulación de basuras y material, los cuales impiden un buen funcionamiento.
2	k0+200		Presencia de material orgánico, el cual con el tiempo puede generar taponamiento.		Totalmente obstruido por vegetación, escombros y suelo orgánico, por lo cual el agua abrió su propio camino para tener fluidez.
3	K0+970		Empozamiento de aguas en el puente por mal manejo de las mismas, tiene presencia de material vegetal, guadas y poco escombros, sin embargo el paso de agua tiene buena fluidez.		El puente tiene empozamientos por mal manejo de aguas lluvias, pero la fluidez del agua al momento de desembocar en el rio no tiene ningún obstáculo, teniendo paso libre, está buenas condiciones.

No.	Abscisa	Encole	Descripción	Descole	Descripción
4	K0+970		Presencia vegetal, la cual puede generar taponamientos en el encole.		Presencia de suelo orgánico y material vegetal, aun así el flujo de las aguas tiene buen paso, dado que el manejo de los canales disipadores en escalones disminuyen velocidad del agua y generan mejor fluido.
5	K1+050		Presencia de materia orgánica, la cual aún no a taponado la tubería, por ende, tiene buena fluidez del paso de agua.		Se observan basuras y presencia vegetal, el agua se abre paso por si sola después de pasar por el descole, desembocando en el rio Consota.
6	K1+400		Presencia de materia orgánica.		Se observan basuras y presencia vegetal

No.	Abscisa	Encole	Descripción	Descole	Descripción
7	K1+400		Presencia de vegetales, los cuales no obstruyen el movimiento ni flujo de agua.		Totalmente obstruido, se observa mantenimiento inadecuado, en los alrededores se presenta socavación debido al estancamiento de agua por obstaculización.
8	k2+870		Totalmente obstruido por maleza y arena orgánica, no permite que el paso del agua sea el adecuado para hacerle la entrega al descole.		Presencia de láminas de zinc y algunas basuras vegetales, no hay mantenimiento adecuado.
9	k2+870		Hay presencia de lodos, pero no presenta obstaculización del flujo de las aguas lluvias.		Hay presencia de lodos.

No.	Abscisa	Encole	Descripción	Descole	Descripción
10	k3+530		Se observa presencia de materia orgánica y vegetación.		Se observa presencia de materia orgánica y vegetación.
11	k3+860		Presencia de lodos sobre el cabezal y vegetación (lama), la cual a largo plazo puede causar deterioro.		Presencia de vegetación, la cual obstaculiza el paso de agua, dado que también hay materia orgánica y algunos escombros, si no se realiza mantenimiento adecuado en poco tiempo puede quedar taponado totalmente.
12	k4+050		Se puede evidenciar que carece de mantenimiento, con acumulación de basuras y materia vegetal impidiendo así el buen funcionamiento de este paso de agua.		Se puede evidenciar que carece de mantenimiento, con acumulación de basuras y materia vegetal, impidiendo el buen funcionamiento de este paso de agua.

No.	Abscisa	Encole	Descripción	Descole	Descripción
13	k4+420		Se observa el mal estado en el que se encuentra en encole el cual esta taponado por material vegetal y escombros. El cabezal de la poceta se encuentra totalmente recubierto de materia orgánica		Se puede evidenciar que carece de mantenimiento, con acumulación de basuras y materia vegetal impidiendo así el buen funcionamiento de este paso de agua.
14	k5+100		El encole se encuentra totalmente taponado tanto la poceta como la tubería por tierra materia orgánica y vegetación		El descole está lleno de material orgánico de vegetación se encuentra en mal estado, no se le da el mantenimiento adecuado para manejar y darle paso a las aguas fluviales.
15	k5+690		Se encuentra en mal estado taponado totalmente sin paso algún de aguas		Se puede evidenciar que carece de mantenimiento, con acumulación de basuras y materia vegetal impidiendo así el buen funcionamiento de este paso de agua.

No.	Abscisa	Encole	Descripción	Descole	Descripción
16	k6+130		Se encuentra con maleza, pero no está obstruido el flujo del agua es el adecuado para entregar al descole y llevarlo las aguas donde se pretende.		El descole se encuentra en función como debe de ser esta libre los canales y tuberías para el paso de agua.
17	k6+220		El encole y el descole están en buen estado, tienen el paso de agua como debe de ser.		El encole y el descole están en buen estado, tienen el paso de agua como debe de ser.

Fuente: los autores

6.2 Evaluación del estado, características de diseño, tipologías, patologías y funcionalidad de los pasos de agua

Para estimar el estado, características de diseño, tipología, patología y funcionalidad de los pasos de agua, se aplicó el formato de inspección visual, obteniendo los siguientes resultados:

6.2.1 Tipo de alcantarilla

Tabla 4. Tipo de alcantarilla

Tipo de alcantarilla	Respuestas	Porcentaje
Simple	17	100,00
Doble	0	0,00
Múltiple	0	0,00
Total	17	100,00

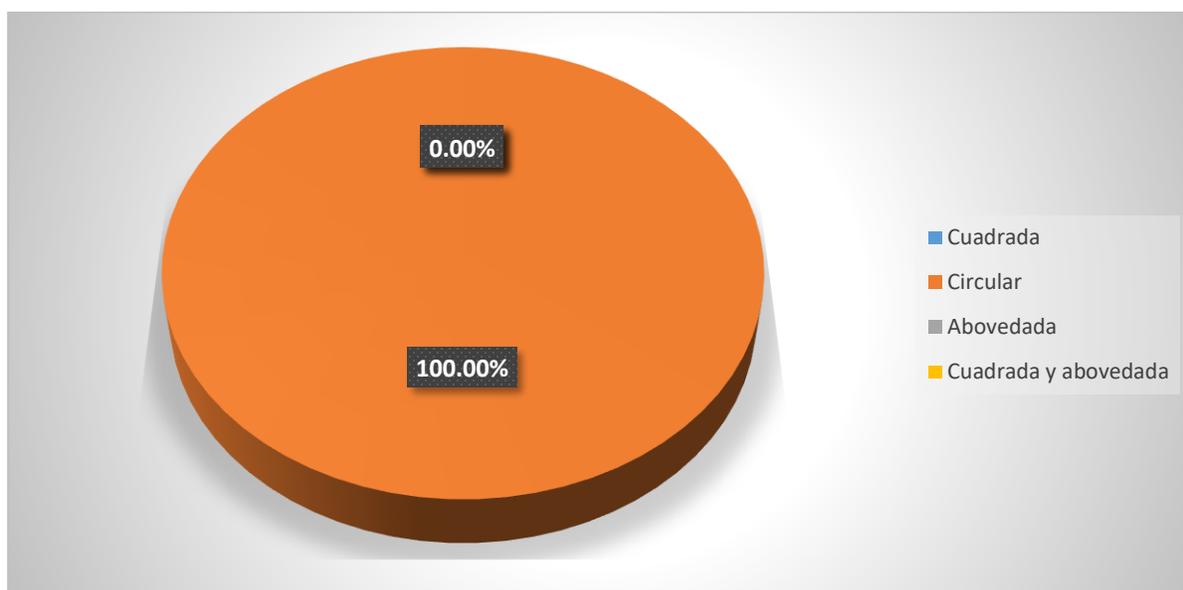
Fuente: los autores

Tabla 5. Tipo de alcantarilla simple

Tipo de alcantarilla simple	Respuestas	Porcentaje
Cuadrada	0	0,00
Circular	17	100,00
Abovedada	0	0,00
Cuadrada y abovedada	0	0,00
Total	17	100,00

Fuente: los autores

Figura 13. Tipo de alcantarilla simple



Fuente: los autores

El 100% de los pasos de agua tienen alcantarilla simple, es decir, compuestas solo por un ducto y en su totalidad son circulares.

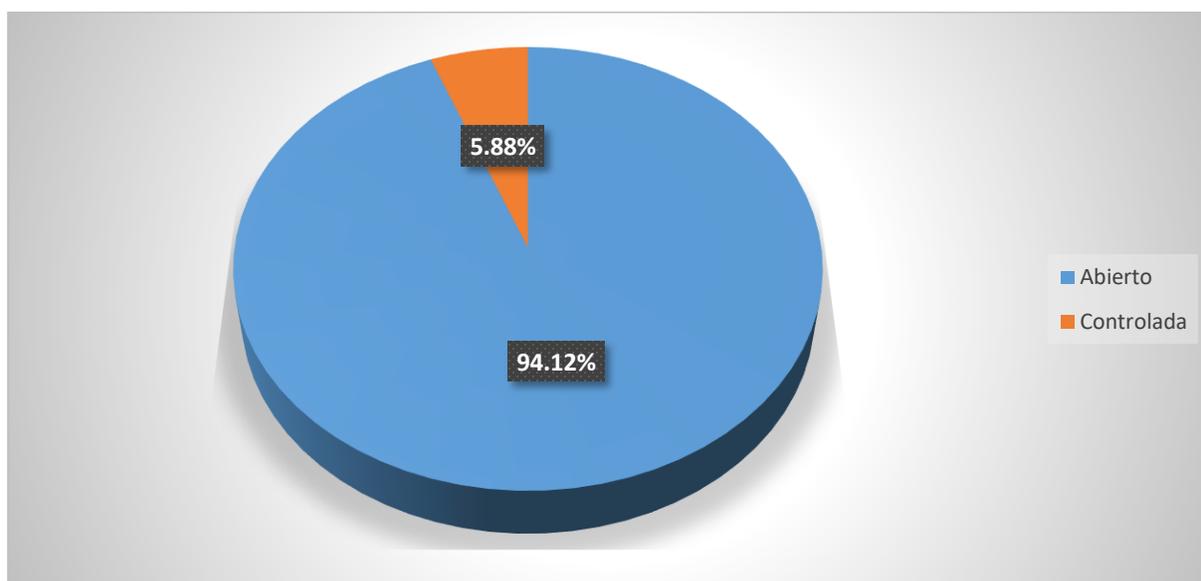
6.2.2 Tipo de entrega

Tabla 6. Tipo de entrega

Tipo de entrega	Respuestas	Porcentaje
Abierto	16	94,12
Controlado	1	5,88
Total	17	100,00

Fuente: los autores

Figura 14. Tipo de entrega



Fuente: los autores

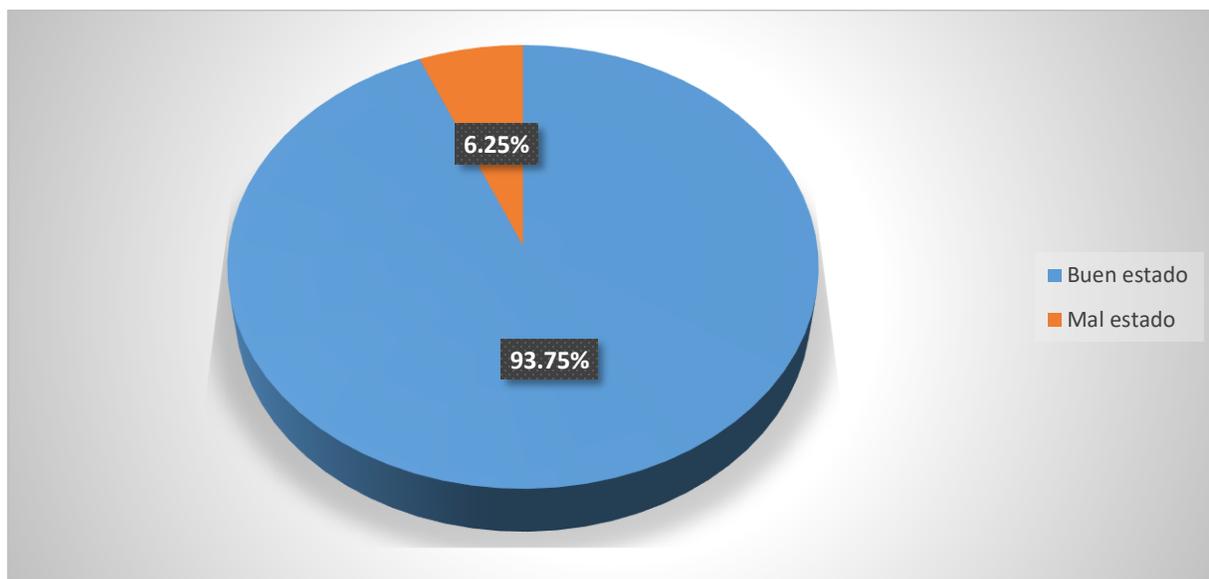
En el 93,75% de los pasos de agua, se tiene un tipo de entrega abierto, solo en el 5,88% es controlada, es decir, permite establecer la velocidad del flujo.

Tabla 7. Estado del tipo de entrega abierto

Estado de tipo de entrega abierto	Respuestas	Porcentaje
Buen estado	15	93,75
Mal estado	1	6,25
Total	16	100,00

Fuente: los autores

Figura 15. Estado tipo de entrega abierto



Fuente: los autores

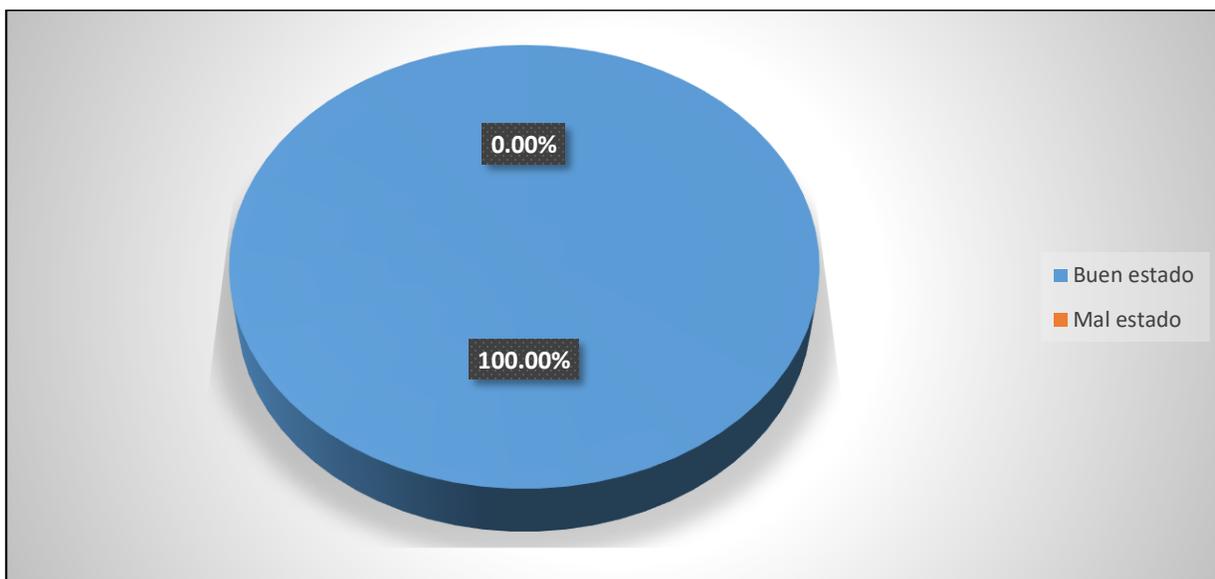
En los pasos de agua que cuentan con un tipo de entrega abierto, se encontró que el 93,75% está en buen estado y el 6,25% en mal estado.

Tabla 8. Estado del tipo de entrega controlado

Estado de tipo de entrega abierto	Respuestas	Porcentaje
Buen estado	1	100,00
Mal estado	0	0,00
Total	1	100,00

Fuente: los autores

Figura 16. Estado tipo de entrega controlado



Fuente: los autores

El paso de agua que tiene entrega controlada, se encuentra en buen estado.

6.2.3 Características de la tubería

En la siguiente tabla, se detalla las características de la tubería, presentando el diámetro, longitud, profundidad del encole y descole.

Tabla 9. Estado del tipo de entrega controlado

No. Paso de agua	Diámetro (m)	Longitud (m)	Profundidad encole (m)	Profundidad descole (m)
1	0,75	7,55	1,65	1,85
2	0,8	7,25	1,62	1,8
3	0,75	7	1,7	1,73
4	0,77	7,1	1,82	1,5
5	0,75	7,54	1,65	1,85
6	0,75	7,8	1,72	1,8
7	0,7	7,5	1,7	1,8
8	0,75	7,55	1,65	1,85
9	0,7	7	1,7	1,75

No. Paso de agua	Diámetro (m)	Longitud (m)	Profundidad encole (m)	Profundidad descole (m)
10	0,75	7,55	1,6	1,6
11	0,72	7,5	1,67	1,82
12	0,75	7,55	1,65	1,85
13	0,68	7,3	1,2	1,85
14	0,75	7,33	1,73	1,8
15	0,7	7,2	1,7	1,8
16	0,75	7,1	1,4	1,6
17	0,7	6,8	1,65	1,85

Fuente: los autores

El menor diámetro lo presenta el paso de agua número 13, el cual corresponde a 0,68 metros, por su parte el mayor es del paso de agua número 2, cuyo diámetro es de 0,8 metros; frente a la longitud, la menor es del paso de agua 17; la profundidad del encole oscila entre 1,4 y 1,82 metros, la del descole varía de 1,5 a 1,85 metros.

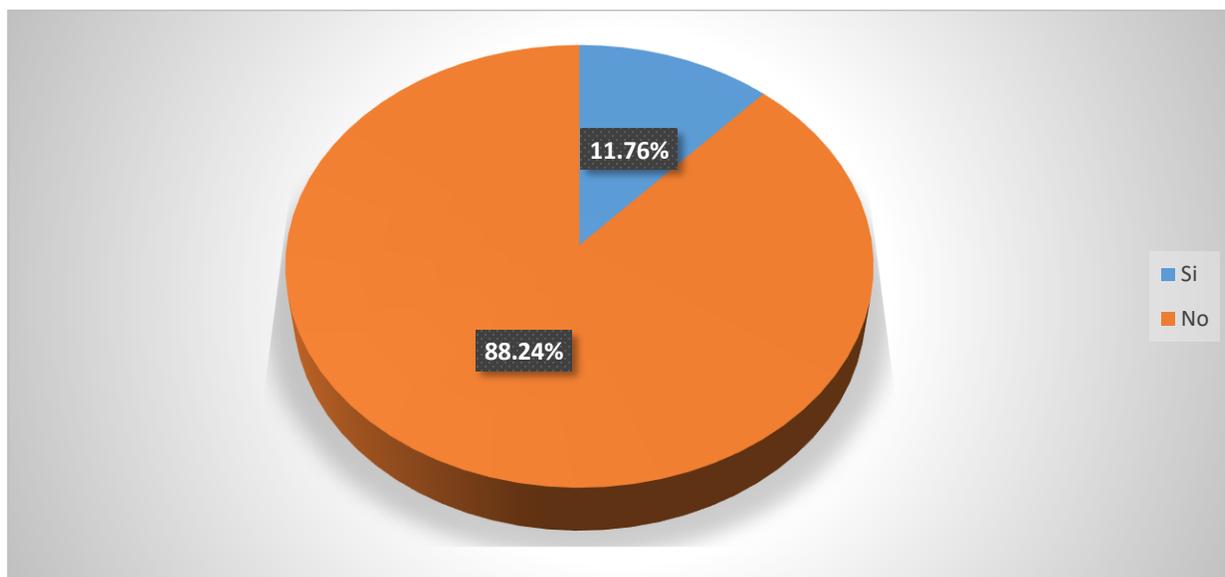
6.2.4 Fracturas o desprendimientos

Tabla 10. Fracturas o desprendimientos

Fracturas o desprendimientos	Respuestas	Porcentaje
Si	2	11,76
No	15	88,24
Total	16	100,00

Fuente: los autores

Figura 17. Fracturas o desprendimientos



Fuente: los autores

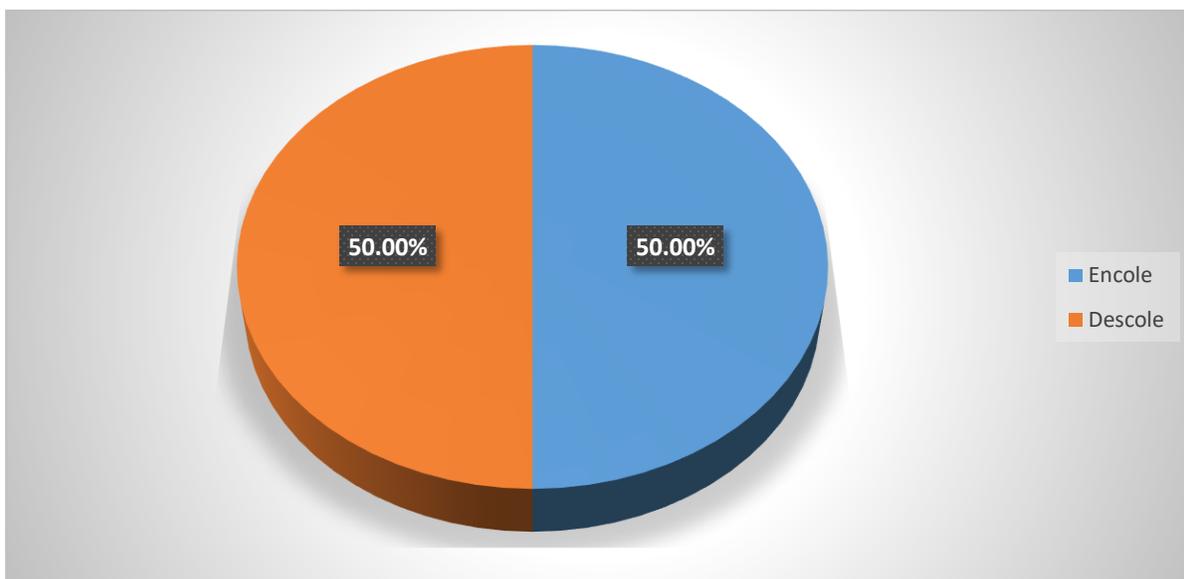
El 88,24% de los pasos de agua, no presentan ninguna fractura ni desprendimiento, el otro 11,76% si, observados en el paso de agua 1 (k 0 + 200) y en el número 4 (K0+970), a continuación, se detalla si corresponden a encole o descole y en que parte de la estructura se presentan.

Tabla 11. Fracturas o desprendimientos por elementos (encole y descole)

Parte de la alcantarilla	Respuestas	Porcentaje
Encole	1	50,00
Descole	1	50,00
Total	2	100,00

Fuente: los autores

Figura 18. Fracturas o desprendimientos por elementos (encole y descole)

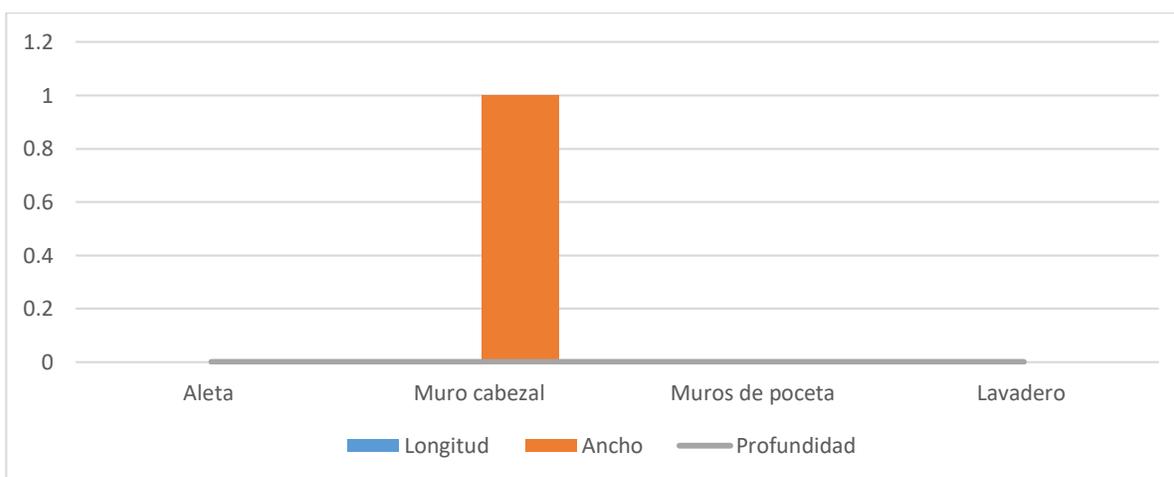


Fuente: los autores

El 50,00% de los pasos de agua evaluados, presentan fracturas o desprendimientos en el encole y el otro 50,00% en el descole.

Solo uno de los pasos de agua evaluados, presenta una fractura en el encole, observada en el ancho de la aleta, muro cabezal y lavadero del mismo, como se detalla en la siguiente figura:

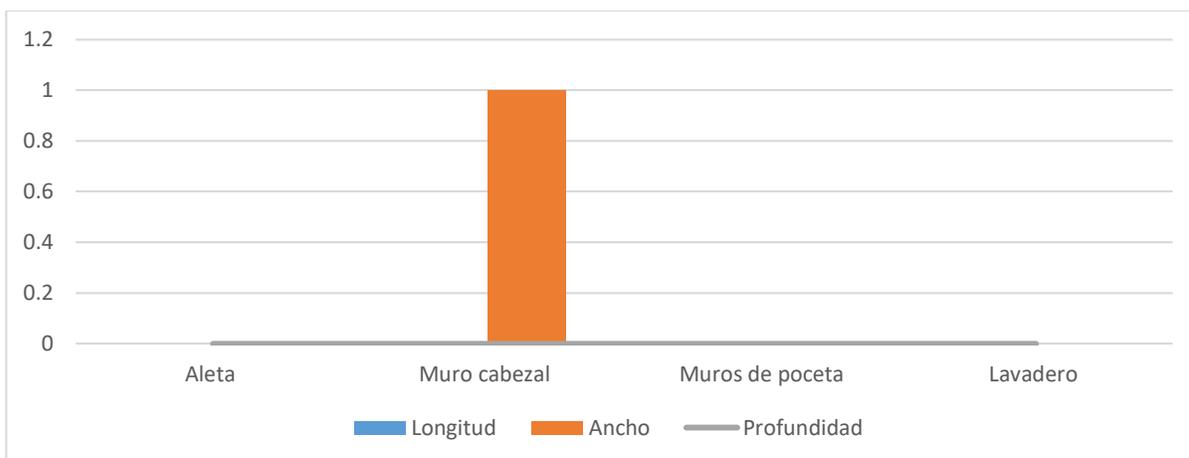
Figura 19. Elementos afectados por fracturas o desprendimientos en el encole



Fuente: los autores

El paso de agua que presenta una fractura en el descole, éste se aprecia en el ancho del muro cabezal.

Figura 20. Elementos afectados por fracturas o desprendimientos en el descole



Fuente: los autores

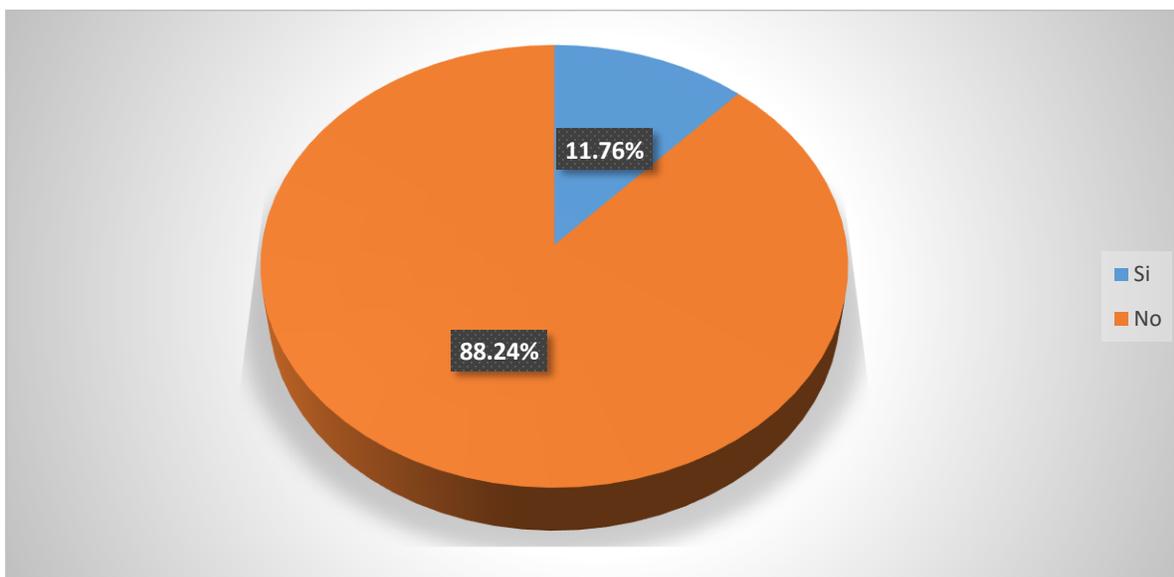
6.2.5 Grietas o fracturas en canales disipadores

Tabla 12. Grietas o fracturas en canales disipadores

Grieta o fractura	Respuestas	Porcentaje
Si	2	11,76
No	15	88,24
Total	16	100,00

Fuente: los autores

Figura 21. Grietas o fracturas en canales disipadores



Fuente: los autores

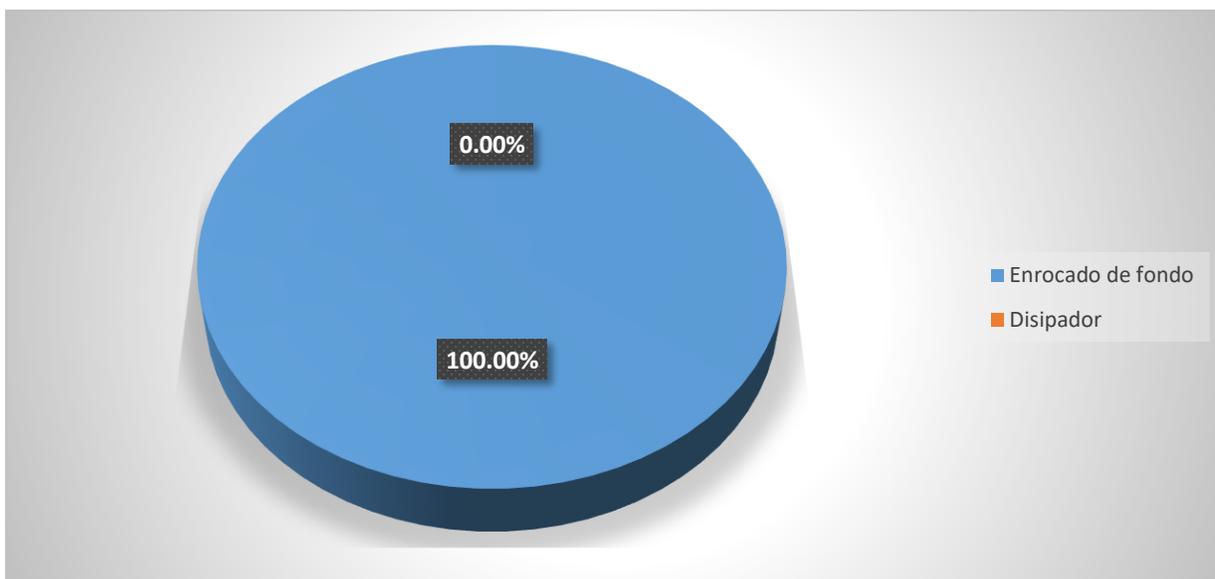
El 88,24% de los pasos de agua, no presentan ninguna grieta o fractura en los canales disipadores, el 11,76% si, es decir, dos de los pasos de agua, correspondiente al número 13 (k4+420) y número 17 (k6+220), en la siguiente tabla y gráfica se detalla el tipo de grieta.

Tabla 13. Tipo de grietas o fracturas en canales disipadores

Tipo	Respuestas	Porcentaje
Enrocado de fondo	2	100,00
Disipador	0	0,00
Total	2	100,00

Fuente: los autores

Figura 22. Tipo de grietas o fracturas en canales disipadores



Fuente: los autores

Las grietas o fracturas presentadas en los canales disipadores son de tipo enrocado de fondo.

6.2.6 Exposición de acero de refuerzo en muro cabezal, aletas, poceta y tubería

Tabla 14. Exposición de acero de refuerzo en muro cabezal, aletas, poceta y tubería

Exposición de acero de refuerzo	Respuestas	Porcentaje
Si	8	47,06
No	9	52,94
Total	17	100,00

Fuente: los autores

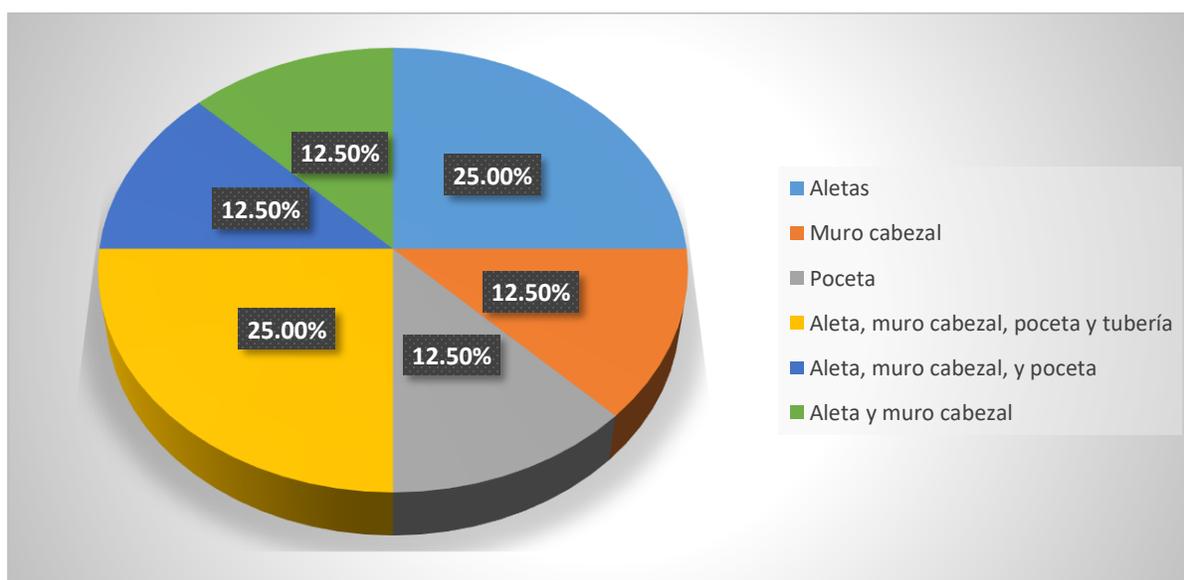
El 47,06% de los pasos de agua evaluados en la vía, presentan exposición de acero refuerzo en muro cabezal, aletas, poceta o tubería, el 52,94% no presenta dicha patología. En la siguiente tabla y gráfica se detallan los elementos afectados:

Tabla 15. Elementos afectados por exposición de acero de refuerzo

Elemento	Respuestas	Porcentaje
Aletas	2	25,00
Muro cabezal	1	12,50
Poceta	1	12,50
Aleta, muro cabezal, poceta y tubería	2	25,00
Aleta, muro cabezal, y poceta	1	12,50
Aleta y muro cabezal	1	12,50
Total	8	100,00

Fuente: los autores

Figura 23. Elementos afectados por exposición de acero de refuerzo



Fuente: los autores

En el 25,00% de los pasos de agua que tienen afectación por exposición de acero de refuerzo, ésta se presenta en la aleta, muro cabezal, poceta y tubería, otro 25,00% en aletas, el restante 50,00% se divide en 4 partes iguales, correspondientes al 12,50%, para muro cabezal y poceta, otro grupo es afectado por esta patología en la aleta, muro cabezal y poceta y otro en la aleta y muro cabezal.

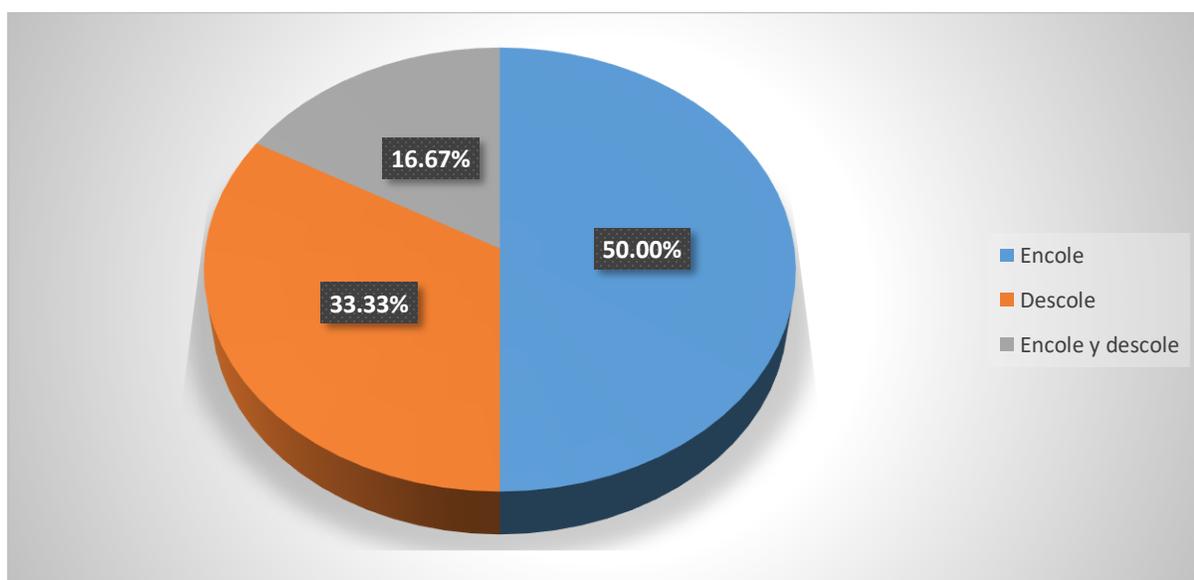
A continuación, se detalla que parte del elemento del paso de agua está afectado, especificando si es el encole o descole.

Tabla 16. Parte de la aleta afectada por exposición de acero de refuerzo

Aletas	Respuestas	Porcentaje
Encole	3	50,00
Descole	2	33,33
Encole y descole	1	16,67
Total	6	100,00

Fuente: los autores

Figura 24. Parte de la aleta afectada por exposición de acero de refuerzo



Fuente: los autores

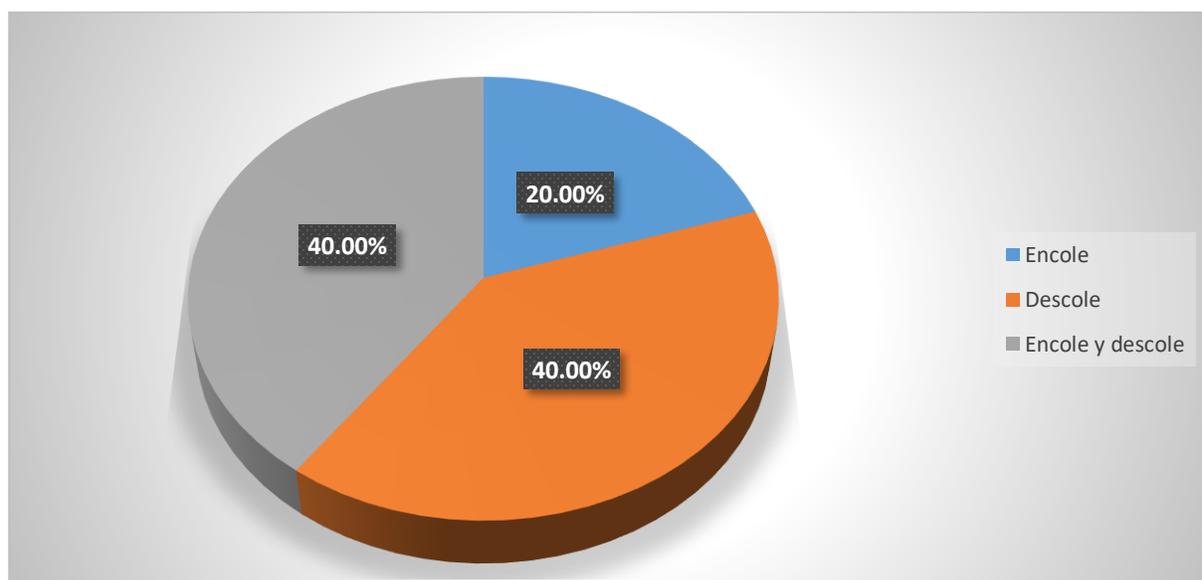
En el 50,00% de las aletas de los pasos de agua que presentan afectación por exposición de acero de refuerzo, se observa dicha patología en el encole, en el 33,33% se detalla en el descole y un 16,67% es afectado tanto en el encole como en el descole.

Tabla 17. Parte del muro cabezal afectado por exposición de acero de refuerzo

Muro cabezal	Respuestas	Porcentaje
Encole	1	20,00
Descole	2	40,00
Encole y descole	2	40,00
Total	5	100,00

Fuente: los autores

Figura 25. Parte del muro cabezal afectado por exposición de acero de refuerzo



Fuente: los autores

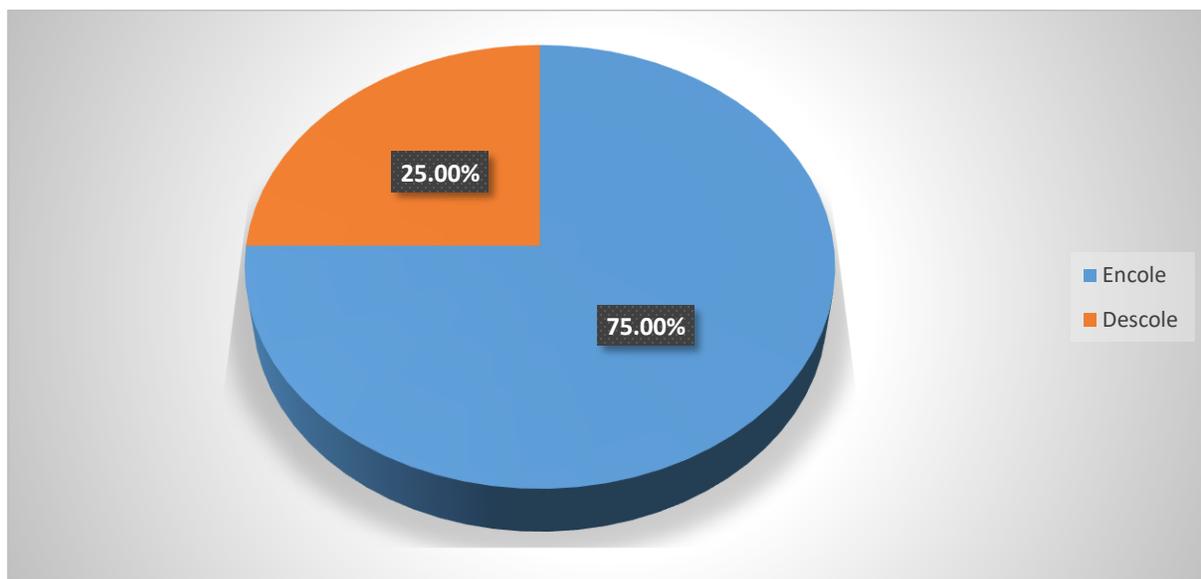
En el 40,00% de los pasos de agua se presenta afectación en el muro cabezal, por exposición de acero de refuerzo tanto en el encole como en el descole, en otro 40,00% la afectación se da en el descole, en 20,00% en el encole.

Tabla 18. Parte de la poceta afectada por exposición de acero de refuerzo

Poceta	Respuestas	Porcentaje
Encole	3	75,00
Descole	1	25,00
Total	4	100,00

Fuente: los autores

Figura 26. Parte de la poceta afectada por exposición de acero de refuerzo



Fuente: los autores

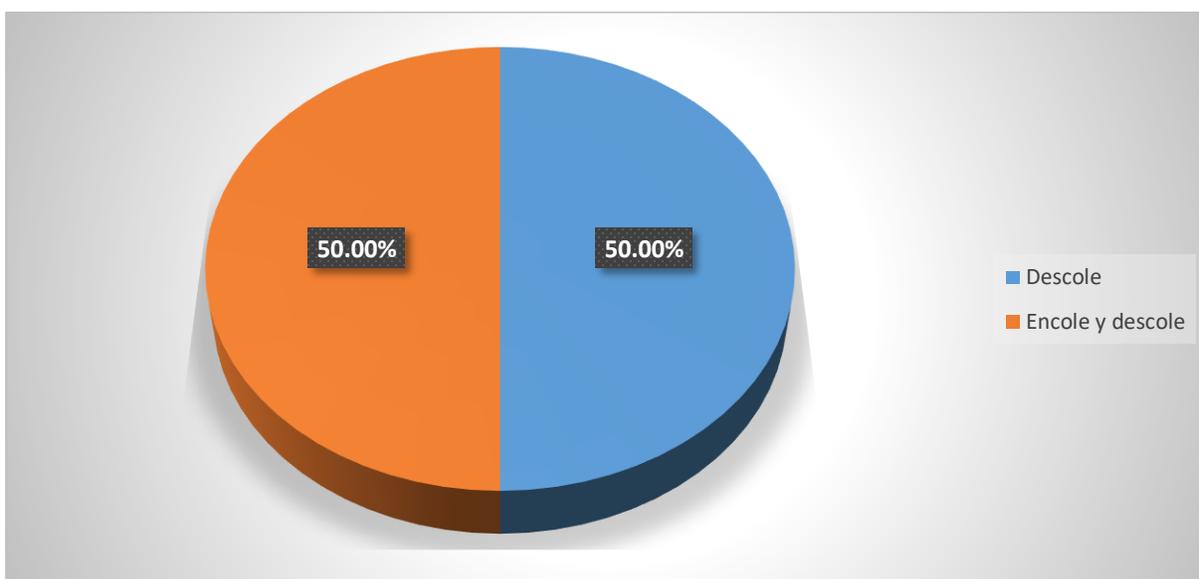
El 75,00% de las pocetas que presentan exposición de acero de refuerzo, son afectados en su encole, el otro 25,00% es afectado en el descole.

Tabla 19. Parte de la tubería afectada por exposición de acero de refuerzo

Tubería	Respuestas	Porcentaje
Descole	1	50,00
Encole y descole	1	50,00
Total	2	100,00

Fuente: los autores

Figura 27. Parte de la tubería afectada por exposición de acero de refuerzo



Fuente: los autores

La afectación por exposición de acero de refuerzo en la tubería, afecta en un 50,00% al descole y el encole, y en otro 50,00% al descole.

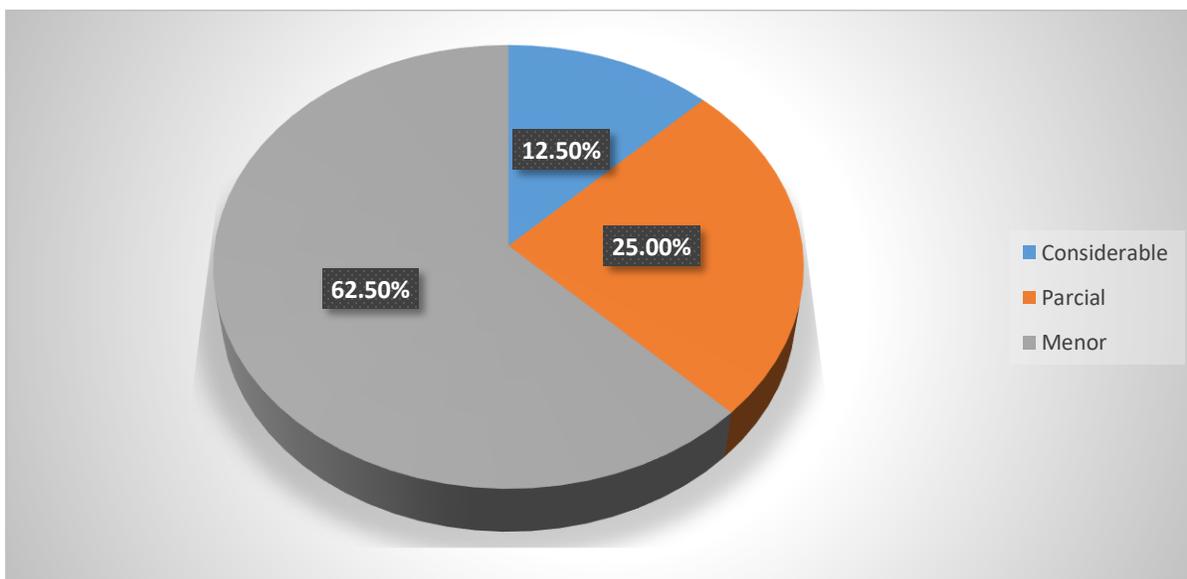
El daño presentado por la exposición de acero de refuerzo en muro cabezal, aletas, poceta y tubería, fue clasificado en considerable, parcial y menor, con los siguientes resultados:

Tabla 20. Nivel del daño por exposición de acero de refuerzo

Nivel del daño por exposición de acero de refuerzo	Respuestas	Porcentaje
Considerable	1	12,50
Parcial	2	25,00
Menor	5	62,50
Total	8	100,00

Fuente: los autores

Figura 28. Nivel del daño por exposición de acero de refuerzo



Fuente: los autores

Se encontró que el 62,50% de los daños encontrados por exposición de acero de refuerzo se clasifican como menores, el 25,00% son parciales y el 12,50% considerable.

El daño considerable se presenta en el paso de agua número 15 (k5+690), en el muro cabezal, aleta, poceta y tubería, además se observó que tanto el encole como el descole se encuentran totalmente tapados y obstruidos por materia vegetal y orgánica.

Los daños parciales se presentan en el muro cabezal, aleta y poceta del paso de agua número 8 (k2+870), en el cual se detalla, además, que el encole del muro cabezal se encuentra agrietado con socavación en los laterales y en el muro cabezal, aleta, poceta y tubería del paso de agua número 13 (k4+420), que presenta obstrucción en el descole por material vegetal, limitando el flujo del agua.

En los pasos de agua, en los cuales se tienen daños por exposición de acero de refuerzo en un nivel menor, se observa obstrucción y taponamientos por arena y material vegetal.

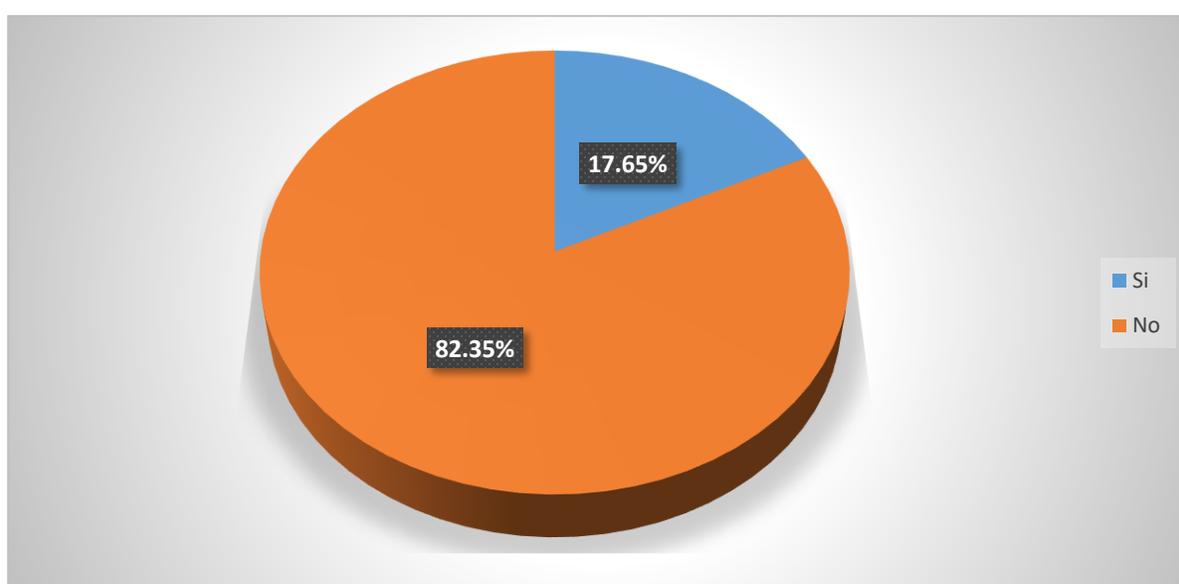
6.2.7 Socavación del concreto y suelo de fundación en aletas, solado y/o muro cabezal

Tabla 21. Socavación del concreto y suelo de fundación

Socavación del concreto y suelo	Respuestas	Porcentaje
Si	3	17,65
No	14	82,35
Total	17	100,00

Fuente: los autores

Figura 29. Socavación del concreto y suelo de fundación



Fuente: los autores

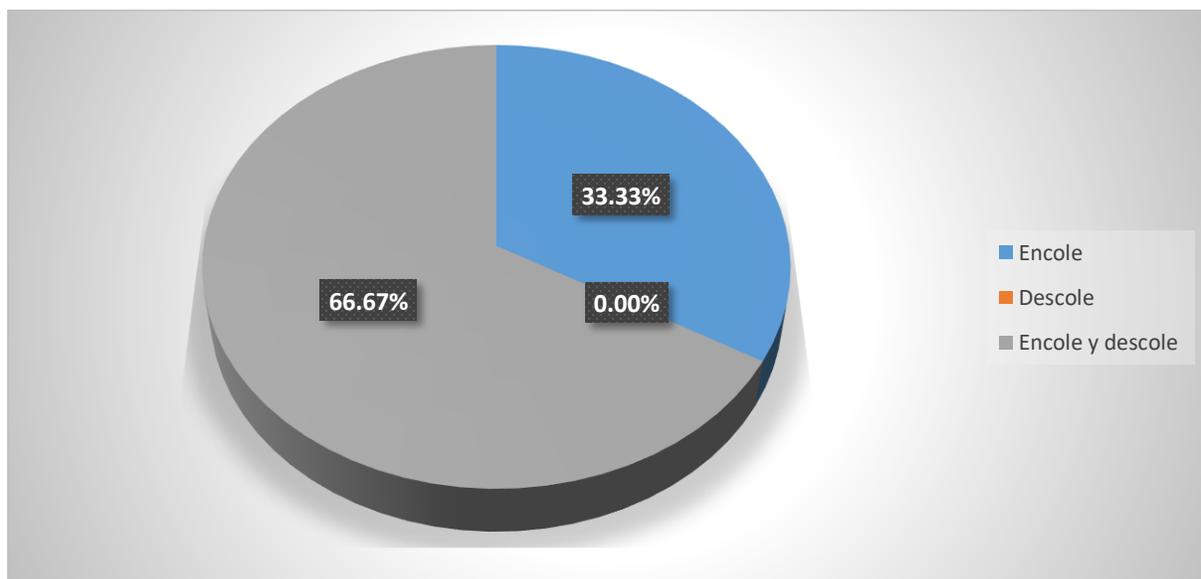
El 17,65% de los pasos de agua evaluados, presenta socavación del concreto y suelo de fundación en aletas, solados y/o muro cabezal, por su parte, el 82,35% no tienen esta patología.

Tabla 22. Parte afectada por socavación del concreto y suelo de fundación

Parte	Respuestas	Porcentaje
Encole	1	33,33
Descole	0	0,00
Encole y descole	2	66,67
Total	3	100,00

Fuente: los autores

Figura 30. Parte afectada por socavación del concreto y suelo de fundación



Fuente: los autores

El 66,67% de los pasos de agua afectados por socavación del concreto y suelo de fundación presentan dicha patología en el encole y descole, el otro 33,33% en el encole.

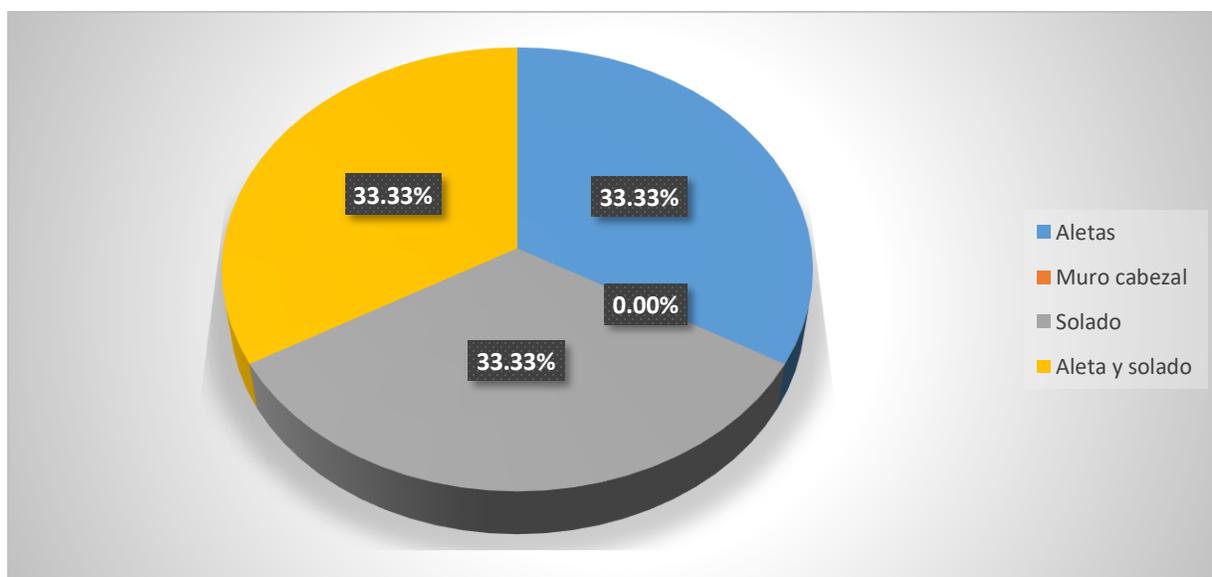
En los pasos de agua que presentan socavación del concreto y suelo de fundación en el encole, éstos son menores, presentados en los siguientes elementos:

Tabla 23. Elementos en el encole menor afectados por socavación del concreto y suelo de fundación

Encole menor	Respuestas	Porcentaje
Aletas	1	33,33
Muro cabezal	0	0,00
Solado	1	33,33
Aleta y solado	1	33,33
Total	3	100,00

Fuente: los autores

Figura 31. Elementos en el encole menor afectados por socavación del concreto y suelo de fundación



Fuente: los autores

Al evaluar los elementos en el encole menor, afectados por socavación del concreto y suelo de fundación, se tienen tres grupos con un peso porcentual igual, correspondiente al 33,33%, como son aletas, solado y aleta y solado.

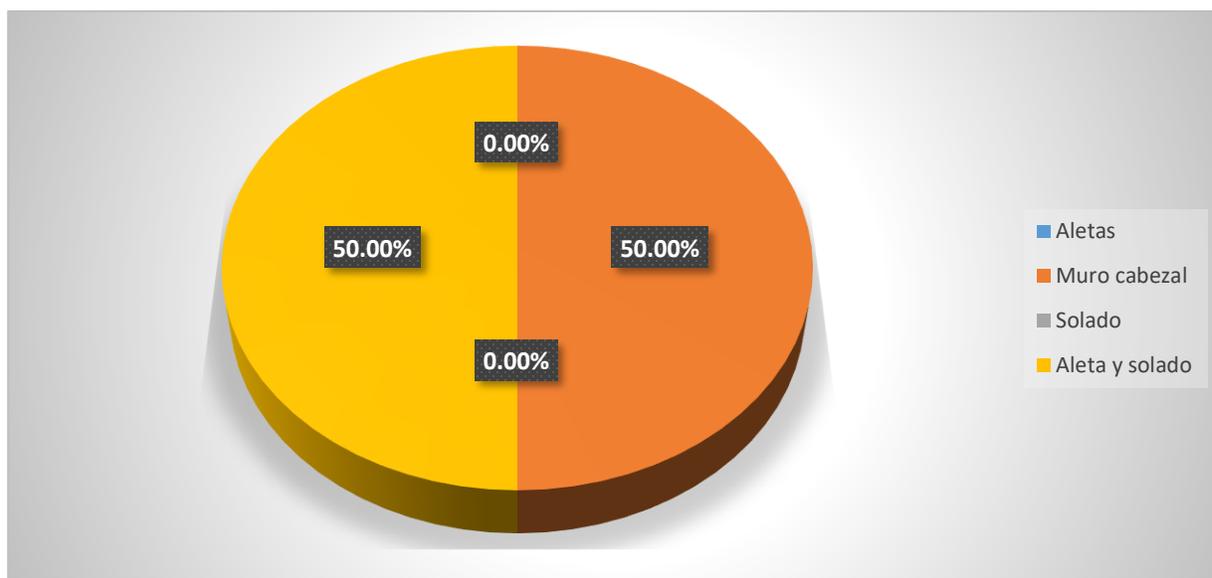
Frente a los pasos de agua que presentan socavación del concreto y suelo de fundación en el descole, éstos también son menores, afectando los siguientes elementos:

Tabla 24. Elementos en el descole menor afectados por socavación del concreto y suelo de fundación

Encole menor	Respuestas	Porcentaje
Aletas	0	0,00
Muro cabezal	1	50,00
Solado	0	0,00
Aleta y solado	1	50,00
Total	2	66,67

Fuente: los autores

Figura 32. Elementos en el descole menor afectados por socavación del concreto y suelo de fundación



Fuente: los autores

En el 50,00% de los pasos de agua que tienen socavación del concreto y suelo de fundación en el descole, el elemento afectado es el muro cabezal, en el otro 50,00% la aleta y el solado.

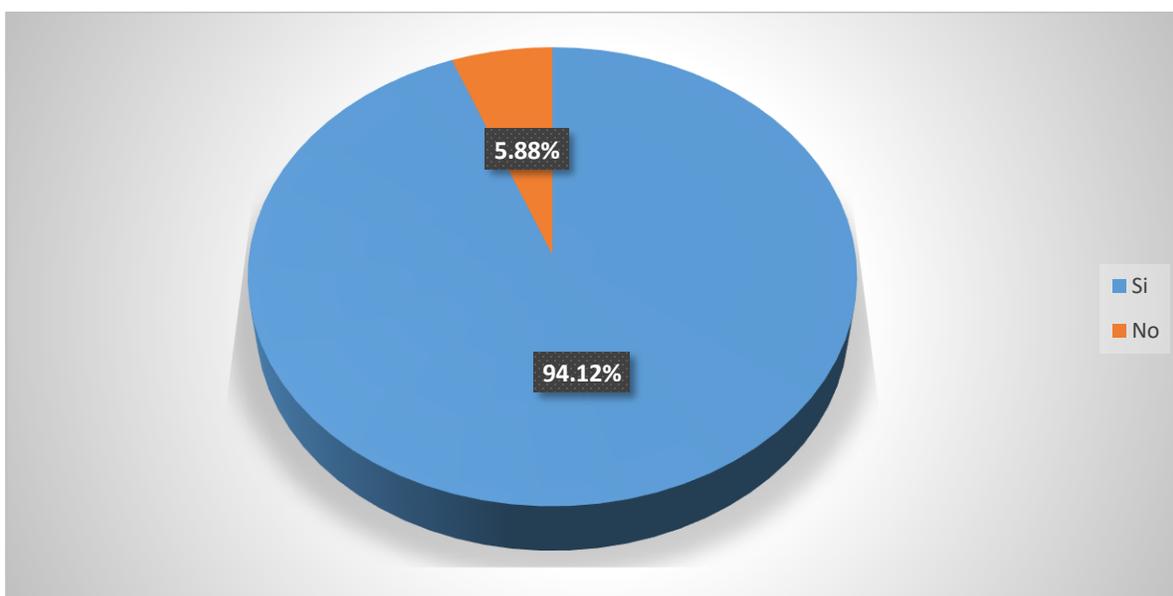
6.2.8 Mantenimiento inadecuado

Tabla 25. Mantenimiento inadecuado

Mantenimiento inadecuado	Respuestas	Porcentaje
Si	16	94,12
No	1	5,88
Total	17	100,00

Fuente: los autores

Figura 33. Mantenimiento inadecuado



Fuente: los autores

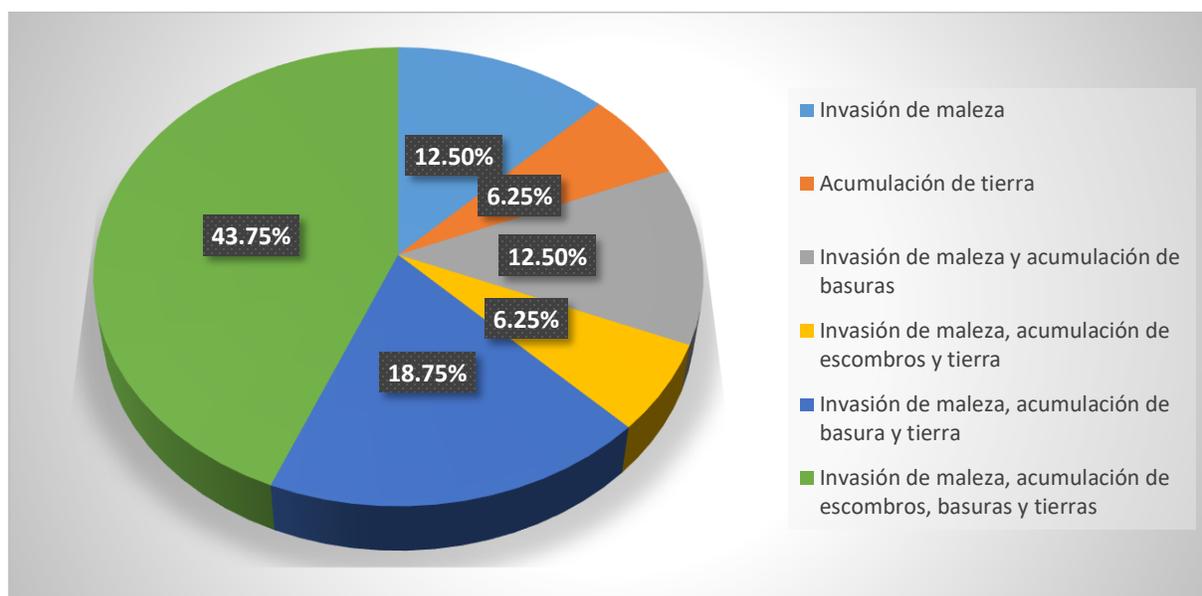
En el 94,12% de los pasos de agua ubicados en la red vial secundaria del tramo motel As de Amor vía Armenia y el acceso al edificio de bellas artes (UTP), tienen un mantenimiento inadecuado, solo en el 5,88% (1 paso de agua) se observa un buen mantenimiento; en algunos pasos de agua se aprecia que son varios los inconvenientes presentados, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 26. Clase de afectación por mantenimiento inadecuado

Clase de afectación por mantenimiento inadecuado	Respuesta	Porcentaje
Invasión de maleza	2	12,50
Acumulación de tierra	1	6,25
Invasión de maleza y acumulación de basuras	2	12,50
Invasión de maleza, acumulación de escombros y tierra	1	6,25
Invasión de maleza, acumulación de basura y tierra	3	18,75
Invasión de maleza, acumulación de escombros, basuras y tierras	7	43,75
Total	16	100,00

Fuente: los autores

Figura 34. Clase de afectación por mantenimiento inadecuado



Fuente: los autores

En el 43,75% de los pasos de agua se observa invasión de maleza, acumulación de escombros, de basuras y de tierras, por ende, se infiere un mantenimiento inadecuado, seguido del 18,75% donde se nota invasión de maleza, acumulación de basura y tierra, el 12,50% tiene invasión de maleza y acumulación de basuras, otro 12,50% invasión de maleza y el 6,25% acumulación de tierra.

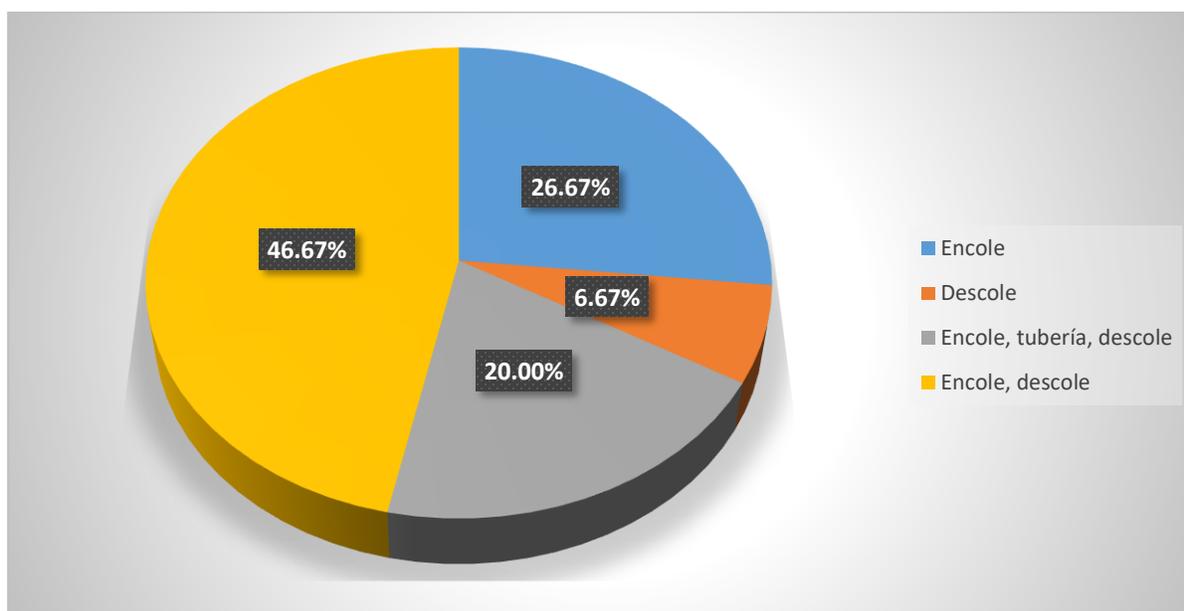
Se detalló si la causa observada por el mantenimiento inadecuado, se presenta en el encole, tubería y/o en el descole, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 27. Elemento afectado por invasión de maleza

Invasión de maleza	Respuesta	Porcentaje
Encole	4	26,67
Descole	1	6,67
Encole, tubería, descole	3	20,00
Encole, descole	7	46,67
Total	15	100,00

Fuente: los autores

Figura 35. Elemento afectado por invasión de maleza



Fuente: los autores

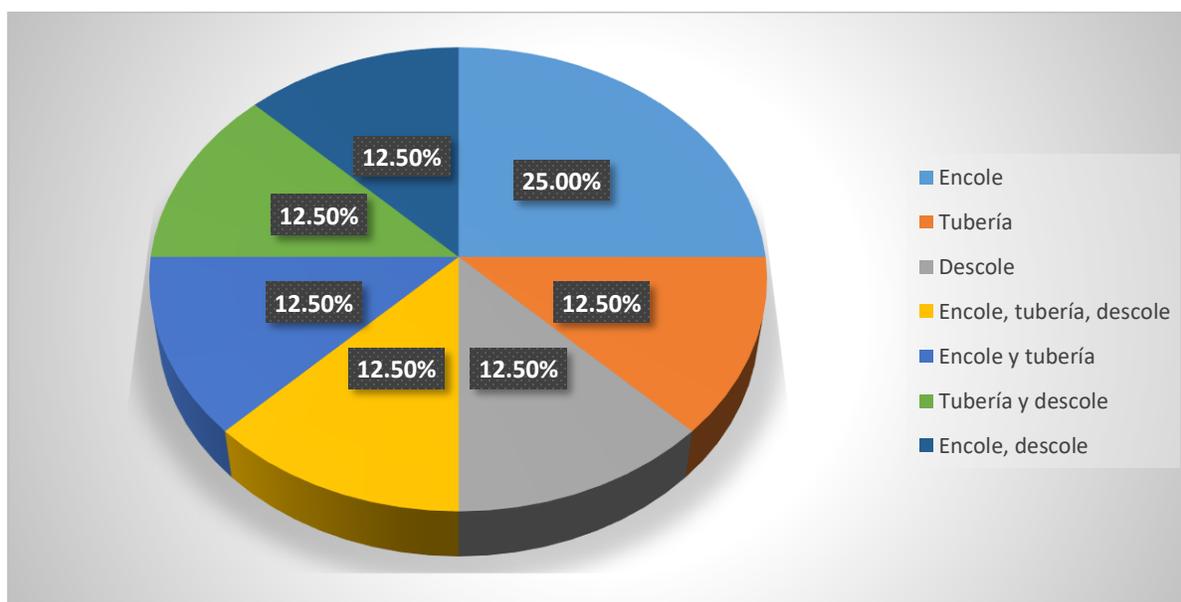
En total son 15 pasos de agua que presentan invasión de maleza, de los cuales el 46,67% tienen afectación en encole y descole, el 26,67% en el encole, el 20,00% en el encole, tubería y descole y el 6,67% en el encole.

Tabla 28. Elemento afectado por acumulación de escombros

Acumulación de escombros	Respuesta	Porcentaje
Encole	2	25,00
Tubería	1	12,50
Descole	1	12,50
Encole, tubería, descole	1	12,50
Encole y tubería	1	12,50
Tubería y descole	1	12,50
Encole, descole	1	12,50
Total	8	100,00

Fuente: los autores

Figura 36. Elemento afectado por acumulación de escombros



Fuente: los autores

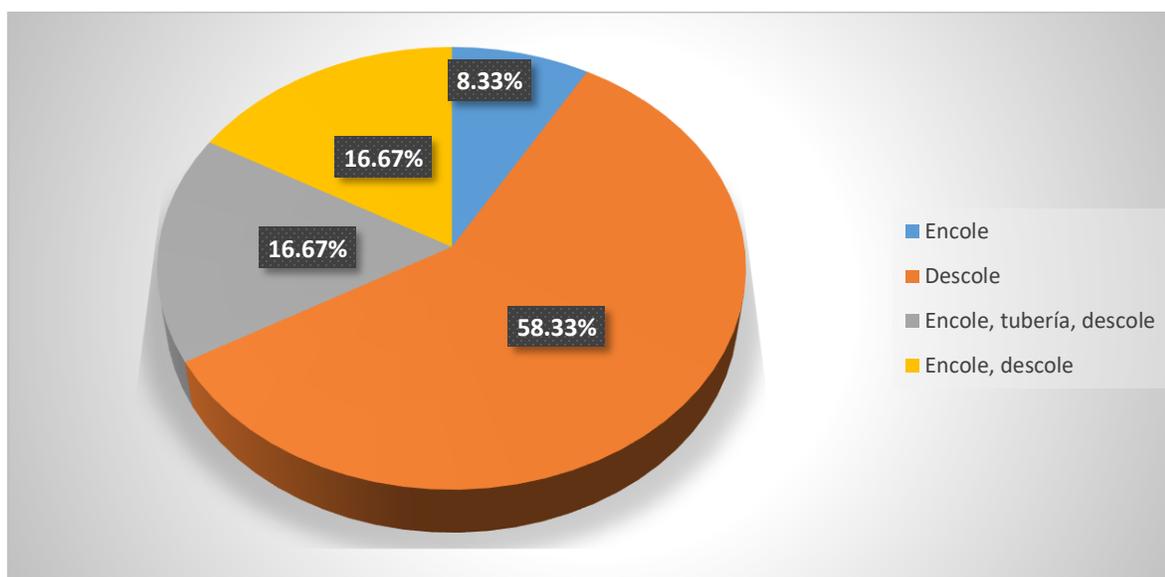
De los 8 pasos de agua que presentan acumulación de escombros, el 25,00% está afectado en el encole, el otro 75,00% corresponde a 6 grupos con el 12,50% de peso porcentual cada uno, entre los que se encuentran los pasos de agua que se nota afectación en el descole, otro grupo en encole y la tubería, el otro el encole y descole, en el último grupo es notable la afectación de los tres elementos: encole, tubería y descole.

Tabla 29. Elemento afectado por acumulación de basuras

Acumulación de basuras	Respuesta	Porcentaje
Encole	1	8,33
Descole	7	58,33
Encole, tubería, descole	2	16,67
Encole, descole	2	16,67
Total	12	100,00

Fuente: los autores

Figura 37. Elemento afectado por acumulación de basuras



Fuente: los autores

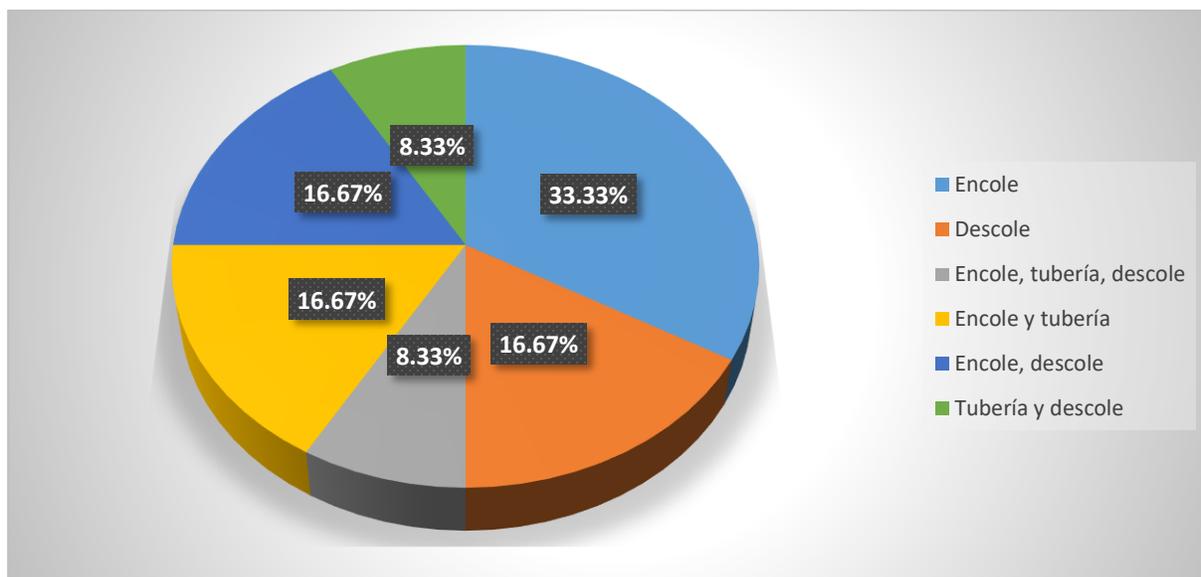
De los 12 pagos de agua afectados por acumulación de basura, el 58,33% tiene afectación en el descole, el 16,67% presenta afectación en los tres elementos encole, tubería y descole, otro 16,67% en dos elementos como son el encole y descole, el 8,33% en el encole.

Tabla 30. Elemento afectado por acumulación de tierra

Acumulación de tierra	Respuesta	Porcentaje
Encole	4	33,33
Descole	2	16,67
Encole, tubería, descole	1	8,33
Encole y tubería	2	16,67
Encole, descole	2	16,67
Tubería y descole	1	8,33
Total	12	100,00

Fuente: los autores

Figura 38. Elemento afectado por acumulación de basuras



Fuente: los autores

Un total de 12 pasos de agua presentan acumulación de tierra, en el 33,33% de éstos se aprecia en el encole, en el 16,67% en descole, en otro 16,67% en dos elementos encole y tubería, en el otro 16,67% en otros dos elementos encole y descole, en un 8,33% se da dicha afectación en los tres elementos encole, tubería y descole, en el otro 8,33% en la tubería y descole.

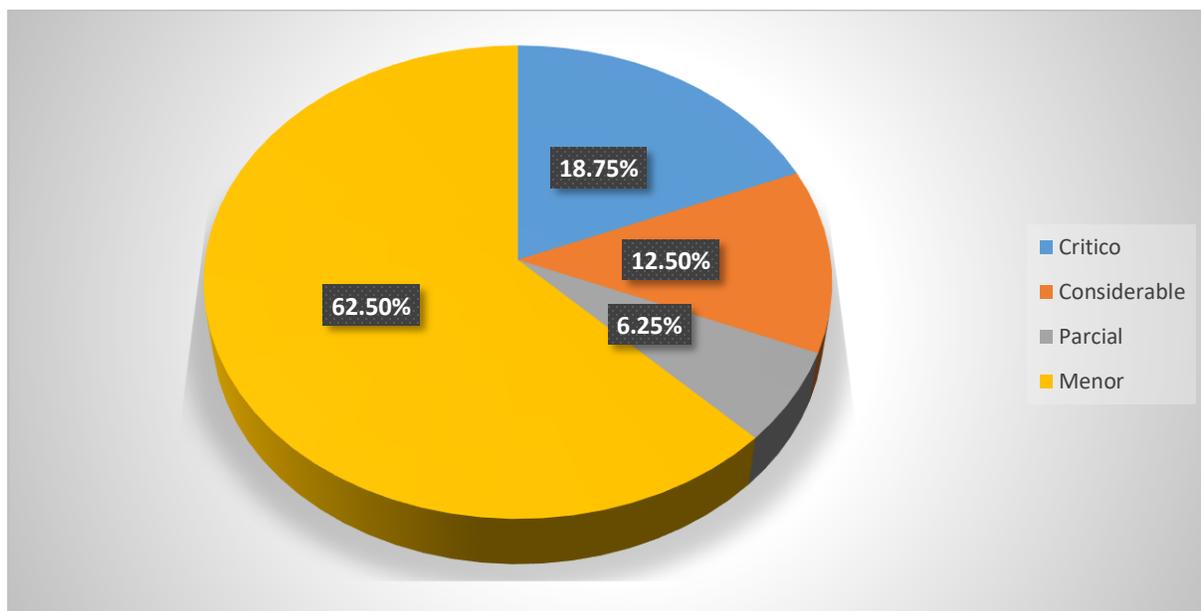
Se evaluó de acuerdo al mantenimiento inadecuado, el estado del encole, tubería y descole, clasificándolo en crítico, considerable, parcial y menor.

Tabla 31. Estado del encole por mantenimiento inadecuado

Estado encole	Respuesta	Porcentaje
Critico	3	18,75
Considerable	2	12,50
Parcial	1	6,25
Menor	10	62,50
Total	16	100,00

Fuente: los autores

Figura 39. Estado del encole por mantenimiento inadecuado



Fuente: los autores

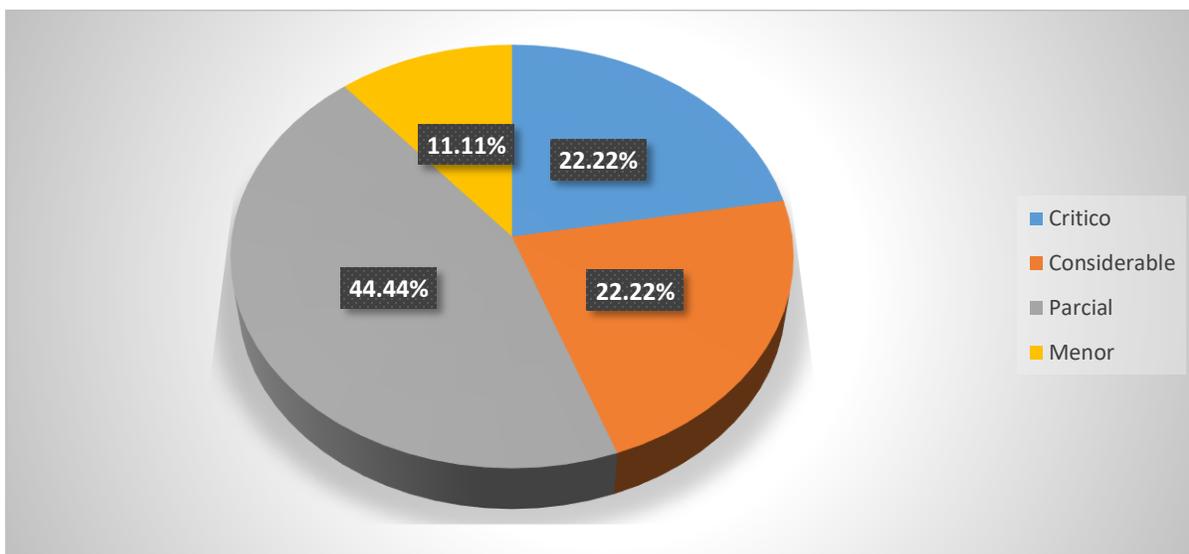
De los 16 pasos de agua que presentan algún tipo de mantenimiento inadecuado observado en el encole, el 65,50% se clasifica en estado menor, el 18,75% en estado crítico y el 12,50% considerable.

Tabla 32. Estado de la tubería por mantenimiento inadecuado

Estado de la tubería	Respuesta	Porcentaje
Crítico	2	22,22
Considerable	2	22,22
Parcial	4	44,44
Menor	1	11,11
Total	9	100,00

Fuente: los autores

Figura 40. Estado de la tubería por mantenimiento inadecuado



Fuente: los autores

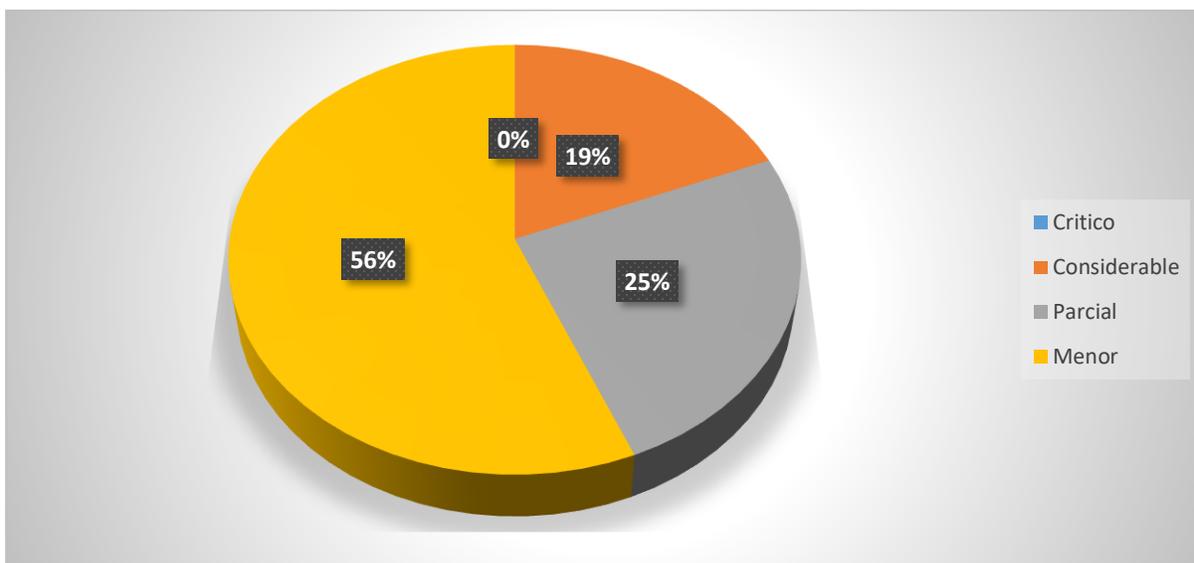
9 pasos de agua presentan mantenimiento inadecuado en la tubería, de esto el 44,44% es daño parcial, el 22,22% crítico, otro 22,22% considerable y el 11,11% menor.

Tabla 33. Estado del descole por mantenimiento inadecuado

Descole	Respuesta	Porcentaje
Crítico	0	0,00
Considerable	3	18,75
Parcial	4	25,00
Menor	9	56,25
Total	16	100,00

Fuente: los autores

Figura 41. Estado del descole por mantenimiento inadecuado



Fuente: los autores

De los 16 pasos de agua en los cuales se observa mantenimiento inadecuado en el descole, el 56,25% del año es menor, en el 25,00% parcial y en el 18,75% restante el estado es considerable.

6.3 Evaluación y caracterización del estado y condición de estabilidad de los taludes

Se realizó la evaluación y caracterización del estado y condiciones de los taludes ubicados en la vía objeto de estudio, obteniendo los siguientes resultados:

6.3.1 Perfil geológico de los taludes

En la siguiente tabla se detalla el perfil geológico de cada talud perteneciente a la vía objeto de estudio.

Tabla 34. Perfil geológico de los taludes

Talud	Estrato	Espesor	Color	Textura
Talud 1	1	0,5 m	Negro	Húmeda, con materia orgánica
	2	2.50 m	Marrón	Suelo fino, con presencia de rocas

Talud	Estrato	Espesor	Color	Textura
Talud 2	1	0,5 m		Materia vegetal
	2	2 m	Marrón	Suelo fino, con presencia de rocas
	3	1 m	Gris	Roca
Talud 3	1	1 m		Materia vegetal
	2	2 m	Marrón	Suelo fino
	3	0,5 m	Oscuro	Roca
Talud 4	1	1 m	Café claro	Fino
	2	3 m	Marrón	Suelo fino
	3	0.5 m	Gris	Roca
Talud 5	1	0.5 m	Café oscuro	Húmeda, con materia orgánica
	2	1.5 m	Marrón	Suelo fino con presencia de arena gruesa
	3	3 m	Gris	Roca

Fuente: los autores

El talud número 1, tiene dos tipos de materiales, el estrato 1 presenta una textura húmeda, con materia orgánica de color negro, el estrato 2 en un suelo fino, con presencia de rocas de color marrón, del estrato 1, se tomó una muestra alterada, del estrato 2, una inalterada y una alterada.

El talud número 2, tiene tres tipos de materiales, el estrato 1 presenta una textura de materia vegetal, en el estrato 2 se tiene una textura de suelo fino, con presencia de rocas, de color marrón, el estrato 3 es textura de roca de color gris, del estrato 2, se tomó una inalterada y una alterada.

El talud número 3, tiene tres tipos de materiales, el estrato 1 presenta una textura de materia vegetal, en el estrato 2 se tiene una textura de suelo fino, de color marrón, el estrato 3 es textura de roca de color oscuro, del estrato 2 se obtuvieron dos muestras, una alterada y una inalterada.

El talud número 4, tiene tres tipos de materiales, el estrato 1 presenta una textura fina, de color café claro, el estrato 2 tiene una textura de suelo fino, de color marrón, el estrato 3 es textura de roca de color gris. Del estrato 1 se tomó una muestra alterada y del estrato 2, una alterada y una inalterada.

El talud número 5, tiene tres tipos de materiales, el estrato 1 presenta una textura húmeda con materia orgánica, de color café claro, el estrato 2 tiene una textura de suelo fino con presencia de arena gruesa, color marrón, el estrato 3 es textura de roca de color gris. Del estrato 1 se tomó una muestra alterada y del estrato 2, una alterada y una inalterada.

6.3.2 Morfometría de los taludes

El talud número 1, tiene una pendiente de 90, con una altura de 3 metros, el área potencialmente afectable es de 360 m²; el talud número 2, tiene pendiente de 75, altura de 4 metros, área potencialmente afectable de 245 m²; el talud número 3, presenta pendiente de 80, altura de 3,5 metros, el área potencialmente afectable es de 180 m²; el talud número 4, tiene una pendiente de 83, con una altura de 2,8 metros, área potencialmente afectable de 180 m² y el talud número 5, tiene una pendiente de 83, altura de 2,9 metros, área potencialmente afectable de 280 m².

Tabla 35. Morfometría de los taludes

Talud	Pendiente (Angulo)	Altura (m)	Longitud total L (m)	Longitud cara libre (m)	Área potencialmente afectable en m ²
Talud 1	90	3	120	120	360
Talud 2	75	4	80	70	245
Talud 3	80	3.5	75	55	180
Talud 4	83	2.8	120	55	180
Talud 5	83	2.9	100	85	280

Fuente: trabajo de campo

6.3.3 Signos de inestabilidad

Cuatro de los taludes presentan signos de inestabilidad, consistentes en presencia de negativos (concavidades), en uno de ellos (Talud número 3), además hay presencia de surcos o carcavamientos y socavación de base, generadas por las aguas lluvias, que causan escurrimiento concentrado, formando erosiones debido al encauzamiento de las mismas, el volumen potencialmente deslizable varía entre los 192,5 y los 1.440 m³, encontrando un área de afectación de los 180 a los 420 m², siendo menor en el talud número 4 y con mayor representatividad para el talud número 1.

Tabla 36. Signos de inestabilidad

Aspecto	Talud 1	Talud 2	Talud 3	Talud 4	Talud 5
Signos de inestabilidad	Presencia de negativos (concavidades)	Presencia de negativos (concavidades)	Presencia de negativos (concavidades), de surcos o	Ninguno	Presencia de negativos (concavidades)

Aspecto	Talud 1	Talud 2	Talud 3	Talud 4	Talud 5
			carcavamientos, Socavación de base		
Volumen potencialmente deslizable m ³	1.440	420	420	192.5	1.235
Área de afectación en m ²	420	245	245	180	280

Fuente: trabajo de campo

En los taludes números 2, 3 y 4 se presenta deslizamientos de masa, con movimientos de materiales blandos, donde la masa deslizada puede proseguir por la ladera, tal como se detalla en la siguiente tabla

Tabla 37. Clasificación del F.R.M.

No. Talud	Clasificación
Talud 1	Ninguna
Talud 2	Deslizamiento traslacional
Talud 3	Deslizamiento traslacional
Talud 4	Deslizamiento traslacional
Talud 5	Ninguna

Fuente: trabajo de campo

6.3.4 Elementos de vulnerabilidad

Frente a los elementos de vulnerabilidad, se tiene en el talud número 1 y 5, la vía secundaria y el alcantarillado con un daño moderado, en el talud número 2, la vía secundaria y las áreas ambientales con daño moderado, en el talud número 3 la vía secundaria representa un daño grave y las áreas ambientales un daño moderado, el talud número 4 es el que tiene mayor número de elementos vulnerables, siendo éstos la vía secundaria, alcantarillado, el puente – viaducto y área ambientales con un daño moderado, además los cultivos con un daño grave.

Tabla 38. Elementos vulnerables y daños posibles

No. Talud	Elemento vulnerable	Daños posibles
Talud 1	Vía secundaria	Moderado
	Alcantarillado	Moderado

No. Talud	Elemento vulnerable	Daños posibles
Talud 2	Vía secundaria	Moderado
	Áreas ambientales	Moderado
Talud 3	Vía secundaria	Grave
	Áreas ambientales	Moderado
Talud 4	Vía secundaria	Grave
	Alcantarillado	Moderado
	Puente-Viaducto	Moderado
	Cultivos	Grave
	Áreas ambientales	Moderado
Talud 5	Vía secundaria	Moderado
	Alcantarillado	Moderado

Fuente: trabajo de campo

Las potenciales causas de inestabilidad que se observan en los taludes, son del orden natural, en el caso de los taludes 1, 2 y 5 la sobrecarga vegetal, en los taludes 3 y 4 además de ésta causa, se suman las precipitaciones.

Tabla 39. Potenciales causas de inestabilidad

No. Talud	Causas naturales	Causas antrópicas
Talud 1	Sobrecarga vegetal	Ninguna
Talud 2	Sobrecarga vegetal	Ninguna
Talud 3	Precipitaciones Sobrecarga vegetal	Ninguna
Talud 4	Precipitaciones Sobrecarga vegetal	Ninguna
Talud 5	Sobrecarga vegetal	Ninguna

Fuente: trabajo de campo

6.3.5 Ensayos de laboratorio

Las muestras obtenidas en los cinco taludes, fueron sometidas a pruebas de contenido de humedad, gravedad específica, corte directo y granulometría.

6.3.5.1 Contenido de humedad

La prueba tiene como finalidad determinar el contenido de agua de los diferentes taludes que se hayan en la vía objeto de estudio.

Tabla 40. Contenido de humedad de los taludes

Talud	Ww=	w(%)	Ws
Talud 1	743,8	95,5427103	778,5
Talud 2	386	71,5477294	539,5
Talud 3	430,6	90,2157972	477,3
Talud 4	394,1	61,006192	646
Talud 5	368,7	57,8806907	637

Fuente: los autores

El peso de agua existente (Ww) en el talud 1 es de 743,8, con un contenido de agua del 95,54% y el peso de las partículas sólidas (Ws) es del 778,5, como se evidencia el contenido de humedad del suelo es muy alto, lo que puede ser un detonante para posibles deslizamientos o fallas; en el caso del talud número 2, el peso de agua existente (Ww) es de 386, con un contenido de agua del 71,54%, el peso de las partículas sólidas (Ws) es del 539,5, evidenciando que el contenido de humedad del suelo es elevado, lo que hace el talud más susceptible a fallas; el talud número 3, tiene un peso de agua existente (Ww) es de 430,6, con un contenido de agua del 90,21%, el peso de las partículas sólidas (Ws) es del 477,3; el talud número 4, tiene un peso de agua existente (Ww) de 394,1 con un contenido de agua del 61,00% y un peso de las partículas sólidas (Ws) del 646, concluyendo que el contenido de agua es alto, el talud posiblemente sea susceptible a deslizamientos; el talud número 5, tiene peso de agua existente (Ww) de 368,7, contenido de agua del 57,88% y con peso de las partículas sólidas (Ws) del 637, como se observa el contenido de humedad del suelo es muy alto, lo que puede ser un detonante para posibles deslizamientos o fallas.

6.3.5.2 Gravedad específica

Tabla 41. Gravedad específica

W picnómetro seco	96.325					
Calibración del picnómetro						
Temperatura	25,3 °C	30,3 °C	33 °C	33,9 °C	35,1 °C	
W. pic lleno	332,3	332	331,4	331,3	331,3	
Talud	Peso pic lleno	Temperatura	Peso pic + suelo lleno (gr)	Peso suelo seco (gr)	K (coeficiente de temperatura)	GS
1	344.4	25,3 °C	374.4	51.54	0.99705	2.385699025
2	344.9	30,3 °C	374.3	51.65	0.99585	2.311714719
3	344.7	33 °C	373.4	51.86	0.99556	2.229263454
4	344.9	33,9 °C	374.6	51.45	0.99553	2.354943379
5	344.4	25,3 °C	374.3	51.38	0.99705	2.384936173

Gravedad específica
2.385699025
2.311714719
2.229263454
2.354943379
2.384936173

Fuente: los autores

Con el ensayo de gravedad específica se puede resaltar que los suelos analizados son bastante densos, haciéndolos más estables ante deslizamientos o fallas.

6.3.5.3 Corte directo

Para la prueba de corte directo, se promedian los resultados de las diferentes muestras de los taludes.

Tabla 42. Corte directo de los taludes

Talud	Fricción	Cohesión
Talud 1	38.62	0.25554957
Talud 2	10.39	-0.0383577
Talud 3	27.94666667	0.31125194
Talud 4	27.89666667	0.35644125
Talud 5	50.02	0.18824418

Fuente: los autores

De acuerdo a los resultados, se determina que el talud número 1, 3, 4 y 5 son bastante estables, en el caso del talud 1 se tiene un ángulo de fricción mayor a 38° aproximadamente, y una cohesión de 0.25 KN/m², el talud 3 presenta un ángulo de fricción aproximadamente 28° y una cohesión de 0.31 KN/m², el talud 4 tiene un ángulo de fricción aproximadamente 28° y una cohesión de 0.35 KN/m², haciéndolos bastante estables frente a fallas o deslizamientos. El talud 5 presenta el ángulo de fricción más alto de todos los analizados y una cohesión de 0.18KN/m² garantizando una mayor estabilidad.

La muestra del talud 2 sufrió algunos daños, motivo por el cual solo se lograron realizar 2 ensayos que arrojaron como resultado un ángulo de fricción demasiado bajo y una cohesión negativa. Debido a la dificultad para tomar nuevas muestras se decide mantener este resultado teniendo en cuenta la falta de precisión para el análisis de resultados.

6.3.5.4 Granulometría

Las muestras se pasaron por 9 tamices diferentes, iniciando en 2" hasta llegar al tamiz más fino correspondiente a 200", el cual establece el límite entre suelos más finos y gruesos, a continuación, se describe la prueba del talud número 1, paso seguido se observan los resultados de todos los taludes.

Tabla 43. Prueba de granulometría talud 1

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
2"	50	0	0	100
1 1/2"	37.5	0	0	100
1"	25	0	0	100
3/4"	19.05	0	0	100
3/8"	9.5	0	0	100
#4	4.75	10.7	1.37851069	98.62148931
#10	2	90.7	11.6851327	86.93635661
#40	0.425	239.7	30.8812162	56.05514043
#200	0.075	345.5	44.5117238	11.54341665
Fondo		89.6	11.5434166	0
Σ		776.2	100	

Fuente: los autores

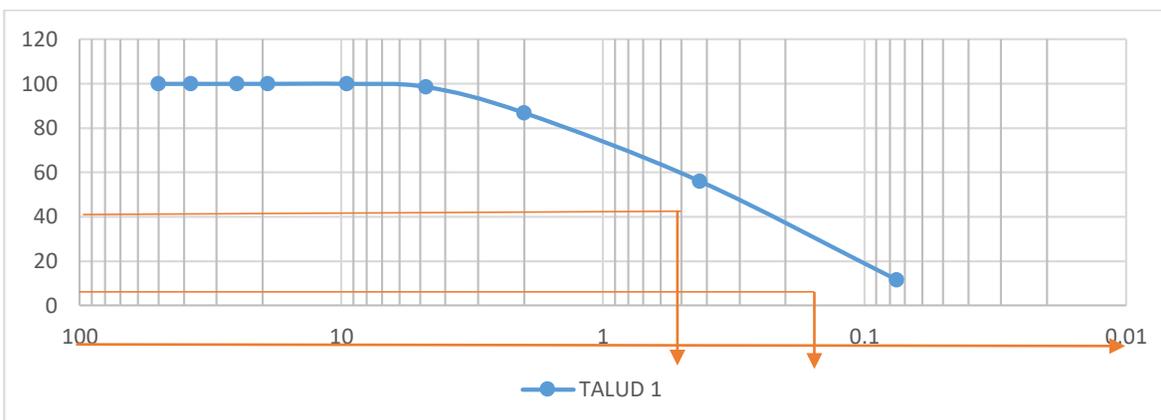
En la siguiente figura se observan las muestras analizadas.

Figura 42. Registro fotográfico pruebas de granulometría talud



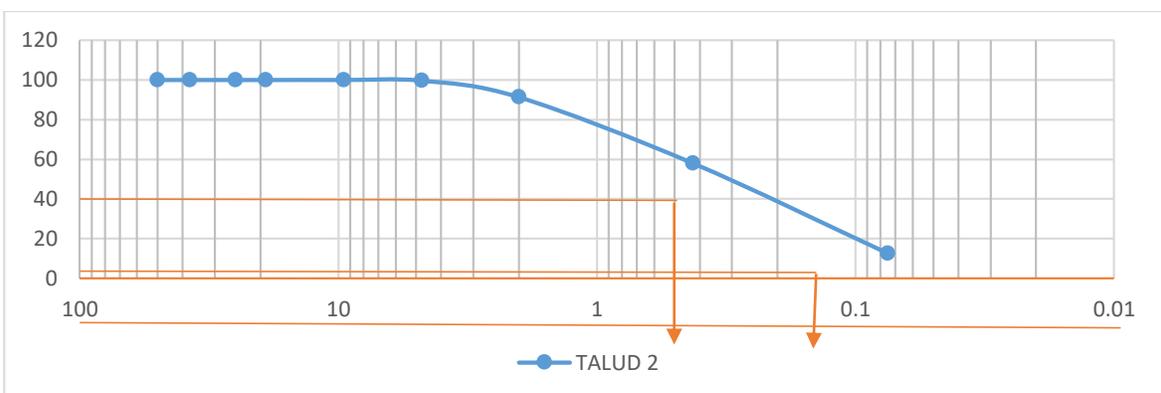
Fuente: los autores

Figura 43. Curva de granulometría talud 1



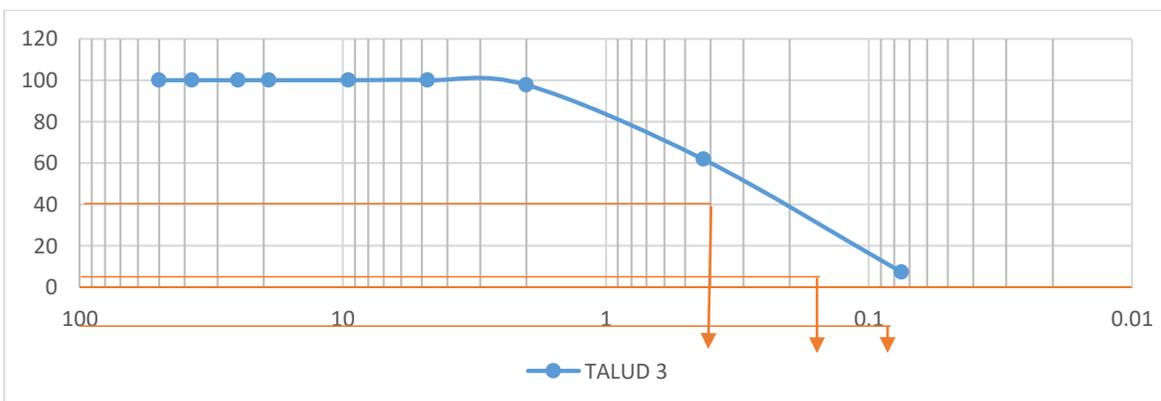
Fuente: los autores

Figura 44. Curva de granulometría talud 2



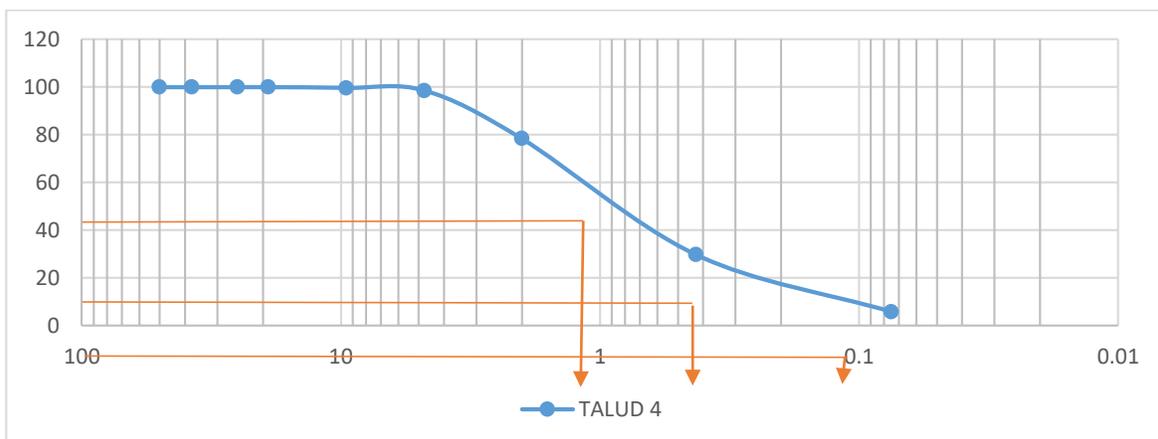
Fuente: los autores

Figura 45. Curva de granulometría talud 3



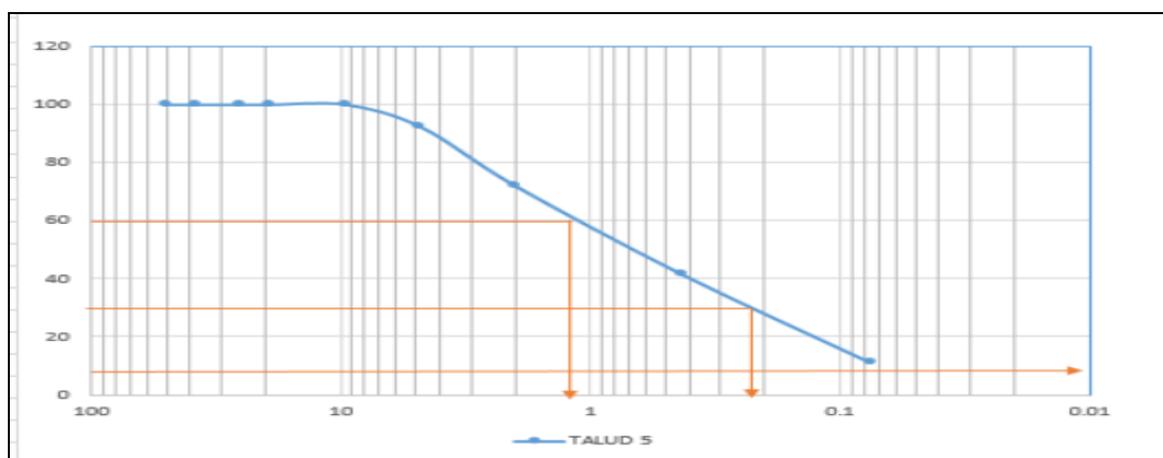
Fuente: los autores

Figura 46. Curva de granulometría talud 4



Fuente: los autores

Figura 47. Curva de granulometría talud 5



Fuente: los autores

En la siguiente tabla se detallan los resultados de granulometría.

Tabla 44. Resultados prueba de granulometría de los taludes

Talud	D60	D30	D10	CU	CC
Talud 1	0.5	0.17	0		
Talud 2	0.5	0.15	0		
Talud 3	0.4	0.16	0.085	4.70588235	0.75294118
Talud 4	1.2	0.43	0.12	10	1.28402778
Talud 5	1.1	0.23	0		

Fuente: los autores

En el talud 1, se determina que no existen gravas, dado que no se tienen partículas retenidas hasta el tamiz número 4, el suelo se clasifica como arena, toda vez que algunas de las partículas pasan el tamiz número 4 y otras son retenidas en el mismo, el porcentaje de finos que se obtiene es del 11,54%, concluyendo que el suelo es arena, en mayor parte fina con un 11% de finos. El coeficiente de cobertura indica (Cc) las condiciones granulométricas del suelo, clasificando si el material es bien o mal gradado. Para una arena bien grabada se requiere que el Cu sea mayor a 6, y el Cc mayor a 1 y menor a 3. Dado que no se pueden tomar lecturas de D10 los coeficientes de uniformidad y curvatura no se pueden calcular, concluyendo que el material es mal gradado.

Según los resultados obtenidos en el talud 2, se determina que no existen gravas, dado que no se tienen partículas retenidas hasta el tamiz número 4, el suelo se clasifica como arena, toda vez que algunas de las partículas pasan el tamiz número 4 y otras son retenidas en el mismo, el porcentaje de finos que se obtiene es del 12,63%, concluyendo que el suelo es arena, con 12% de finos. El coeficiente de cobertura indica (Cc) las condiciones granulométricas del suelo, clasificando si el material es bien o mal gradado. Para una arena bien grabada se requiere que el Cu sea mayor a 6, y el Cc mayor a 1 y menor a 3, como no se pueden tomar lecturas de D10, los coeficientes de uniformidad y curvatura no se pueden calcular, infiriendo que el material es mal gradado.

Para el caso del talud 3, se determina que no existen gravas, dado que no se tienen partículas retenidas hasta el tamiz número 4, el suelo se clasifica como arena, toda vez que algunas de las partículas pasan el tamiz número 10 y otras son retenidas en el mismo, el porcentaje de finos que se obtiene es del 7,28%, concluyendo que el suelo es arena. Se determina que el material está mal gradado, toda vez que el Cu es menor a 6, y el Cc mayor a 4.

El talud 4, según los resultados obtenidos, se determina que existen gravas, dado que se retienen partículas en el tamiz número 3/8", el suelo se clasifica como arena, toda vez que algunas de las partículas pasan el tamiz número 4 y otras son retenidas en el mismo, el porcentaje de finos que se obtiene es del 5,85%, concluyendo que el suelo es arena. Con el coeficiente de cobertura y el de uniformidad, se determina que el material del talud número 4, está bien gradado, dado que el Cu es mayor a 6 y el Cc está entre 1 y 3, este material es el más estable de los 5 analizados.

En el talud 5, se determina que no existen gravas, dado que no se tienen partículas retenidas hasta el tamiz número 4, el suelo se clasifica como arena, toda vez que algunas de las partículas pasan el tamiz número 4 y otras son retenidas en el mismo, el porcentaje de finos que se obtiene es del 11,18%, concluyendo que el suelo es arena. El coeficiente de curvatura indica (Cc) las condiciones granulométricas del suelo, clasificando si el material es bien o mal gradado. Para una arena bien gradada se requiere que el C_u sea mayor a 6, y el C_c mayor a 1 y menor a 3. No se pueden tomar lecturas de D_{10} , por tanto, los coeficientes de uniformidad y curvatura no se pueden calcular, deduciendo que el material es mal gradado.

De acuerdo a la caracterización y evaluación de los taludes, se determina la estabilidad de los mismos, teniendo en cuenta la siguiente escala de estabilidad:

Tabla 45. Escala de estabilidad de los taludes

Muy confiable	
Confiable	
Poco confiable	
En riesgo	
Peligro	

Fuente: los autores

En la siguiente tabla se presentan los resultados de las pruebas de contenido de humedad, granulometría, gravedad específica de agregados finos y corte directo, relacionando una observación y clasificando a cada talud de acuerdo a la escala de estabilidad.

Tabla 46. Evaluación de estabilidad de los taludes

No.	Laboratorios				Observaciones	Estabilidad
	Contenido de humedad	Granulometría	Gravedad específica de agregados finos	Corte directo		
Talud 1	95,54%	El suelo es una arena en mayor parte fina, con más del 10% de agregado fino. Deficientemente gradada, ideal para revoque.	2,3856	$\phi=38,62^\circ$ $C=0,255$ KN/m ²	Arena limosa con un ángulo de fricción alto y una buena cohesión. Este tipo de suelos es bastante firme, tanto así que no necesita preparación a la hora de ser excavado por maquinaria.	Confiable
Talud 2	71,54%	Material muy similar al talud 1, arena media y fina, con 12% de agregado fino. Mal gradada.	2,311	$\phi=10,39^\circ$ $C=-$ 0,038 KN/m ²	Arena limosa, los resultados del ensayo de corte directo para este espécimen se descartaron debido a la gran diferencia en los resultados con los demás valores y los típicos. La norma indica que el ensayo puede fallar por presencia de pequeñas rocas, compensando con la similitud de los especímenes se considera poco estable el talud.	Poco confiable

No.	Laboratorios				Observaciones	Estabilidad
	Contenido de humedad	Granulometría	Gravedad específica de agregados finos	Corte directo		
Talud 3	90,22%	Arena fina y de media, con menos del 8% de agregado fino. Debido al CU y CC se considera mal gradado.	2,229	$\phi=27.95^\circ$ C=0,311 KN/m ²	Arena limosa, con un ángulo de fricción no muy alto, el cual compensa con la cohesión proporcionándole gran estabilidad al talud.	Confiable
Talud 4	61,01%	Arena de media y fina con presencia mínima de grava fina, mal gradado debido al CC. Material bastante uniforme.	2,354	$\phi=27,89^\circ$ C=0,356 KN/m ⁵	Arena bastante uniforme, a pesar de su bajo contenido de finos presenta una alta cohesión, la cual aumenta su estabilidad.	Confiable
Talud 5	57,88%	Arena gruesa de media y fina con un 11% de agregado fino. Material uniforme, deficientemente gradado.	2,3849	$\phi=50.02^\circ$ C=0,188 KN/m ⁶	Arena limosa, de todos los especímenes es el que tiene el mayor ángulo de fricción y una buena cohesión. Se considera el terreno más estable de los 5 analizados.	Muy confiable

Fuente: los autores

6.4 Medidas de mitigación necesarias de implementarse en los diferentes pasos de agua y taludes evaluados

Se describen las medidas de mitigación necesarias de implementarse en los diferentes pasos de agua y taludes ubicados en la red vial secundaria del tramo Motel As de Amor vía Armenia y el acceso al edificio de Bellas Artes (UTP), municipio de Pereira, como un instrumento de la gestión del riesgo de desastres y la planificación del desarrollo local.

6.4.1 Plan de mantenimiento preventivo y correctivo

Dado que el estudio arroja que el 94,12% de los pasos de agua ubicados en la red vial secundaria del tramo Motel As de Amor vía Armenia y el acceso al edificio de Bellas Artes (UTP), tienen un mantenimiento inadecuado, tal como se aprecia en la siguiente figura, se debe implementar un plan de mantenimiento con acciones preventivas y correctivas que permitan que éstas estructuras cumplan con su función:

Figura 48. Obstrucción generada por falta de mantenimiento



Fuente: los autores

Acciones preventivas

Mantenimiento manual: personal operativo de la Administración Municipal, realizará de forma trimestral limpieza en los taludes y pasos de agua, procediendo a:

- Retirar la maleza, se remueve la cobertura vegetal, haciendo uso de una pala excavadora, buscando que el talud quede limpio de vegetación.
- Retirar la tierra que se acumula alrededor de talud y paso de agua.
- Retirar la basura y escombros, para lo cual el operario realiza barrido.

Mantenimiento con equipo de lavado y succión: a fin de recuperar la capacidad de la tubería, dada la colmatación por sedimentos, personal operativo de la Administración Municipal procederá a:

- Realizar un lavado con un chorro de agua a alta presión

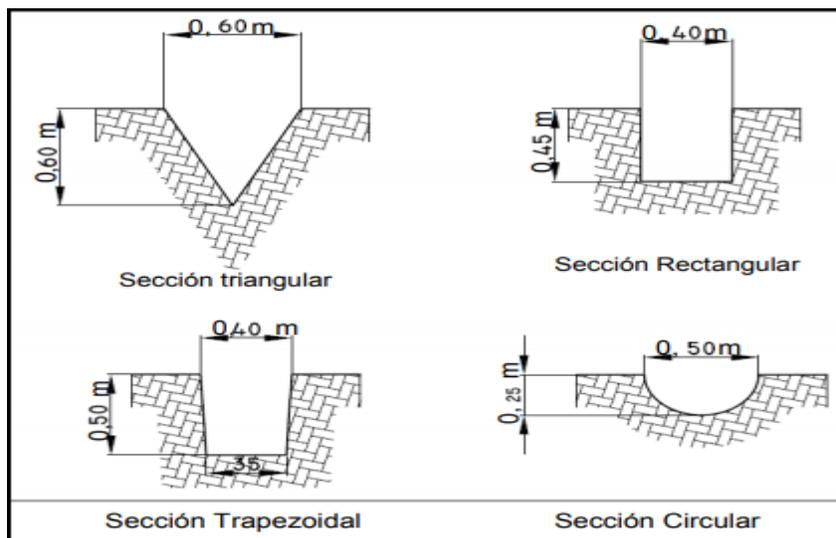
Acciones correctivas

Debido a que ninguno de los taludes ni pasos de agua analizados está en peligro de falla o riesgo de deslizamiento, se establecen las siguientes medidas, en procura que la continua socavación del agua en el pie de los mismos no los desestabilice:

Construcción de obras de manejo de aguas lluvias: construir sobre la vía secundaria del tramo Motel As de Amor vía Armenia y el acceso al edificio de Bellas Artes (UTP), municipio de Pereira, las siguientes obras para el manejo de agua lluvias:

Cunetas: elaborar zanjas o canales a lado y lado de la vía, con el fin de recibir y dirigir el agua lluvia, éstas deben estar a menor nivel que el resto de la calzada, de esta forma el agua lluvia se acumulará en las mismas, en el diseño se evaluará hacia donde se direccionará el agua y la sección transversal, siendo más común la triangular, dada su fácil limpieza por medios mecánicos, también puede ser trapezoidal, cuadrada o circular (INVIAS, 2009) como se detalla en la siguiente figura:

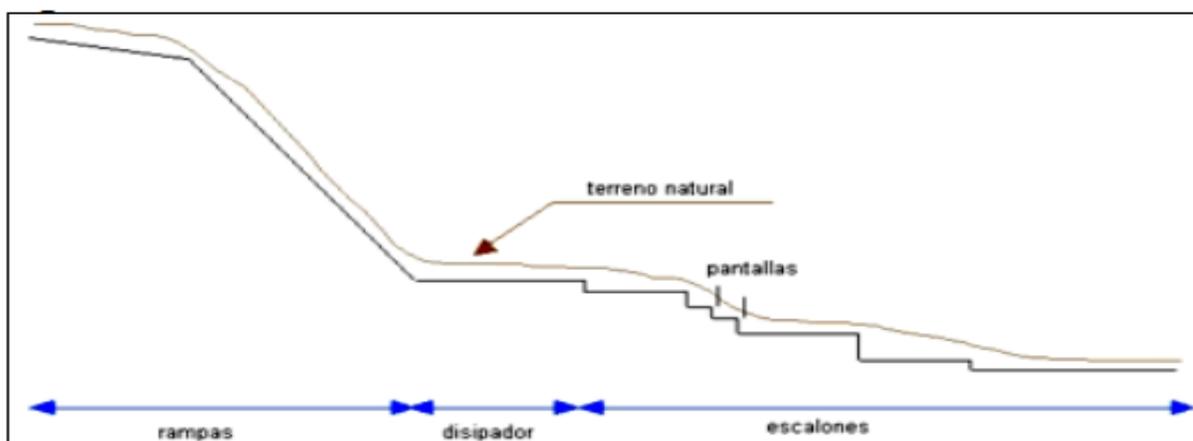
Figura 49. Secciones típicas de la cuneta



Fuente: Ministerio de Transporte – Instituto Nacional de Vías

Disipadores de energía: esta estructura conduce el agua desde un nivel superior a otro inferior, con una energía cinética constante, disipando la energía del flujo por impacto con los escalones, usados en el descole de las alcantarillas o en otros lugares de evaluación de aguas lluvias (INVIAS, 2009).

Figura 50. Disipadores de energía



Fuente: Ministerio de Transporte – Instituto Nacional de Vías

7. Conclusiones

La red vial secundaria del tramo motel As de Amor vía Armenia y el acceso al edificio de bellas artes (UTP), municipio de Pereira, tiene un total de cinco taludes y 17 pasos de agua, observándose falta de obras de captación de aguas lluvia, las canales que hay a cada lado de la vía son naturales y cada día más grandes por la socavación del agua.

En los pasos de agua estudiados, se evidenció obstrucción por diversas vegetaciones, guadua, escombros, basura, presencia de material orgánico, láminas de zinc, los cuales evitan el flujo de las aguas esorrentías, en algunos casos el agua abrió su propio camino para tener fluidez.

De acuerdo al trabajo de campo realizado, se concluye poco o nulo mantenimiento en las obras de la vía, generando acumulación de basuras y material, los cuales impiden un buen funcionamiento, además se presenta socavación debido al estancamiento de agua por obstaculización.

Cuatro de los taludes analizados, presentan signos de inestabilidad, consistentes en presencia de negativos (concavidades), de surcos o carcavamientos y socavación de base, generadas por las aguas lluvias, que causan escurrimiento concentrado, formando erosiones debido al encauzamiento de las mismas.

Se encuentra un volumen de área potencialmente deslizable que varía entre los 192,5 y los 1.440 m³, con un área de afectación de los 180 a los 420 m², siendo menor en el talud número 4 y con mayor representatividad para el talud número 1.

Se encuentran diferentes elementos de vulnerabilidad, como la vía secundaria, las áreas ambientales y el alcantarillado, con un daño moderado, el talud número 4 es el que tiene mayor número de elementos vulnerables, siendo éstos la vía secundaria, alcantarillado, el puente – viaducto y área ambientales con un daño moderado, además los cultivos con un daño grave.

8. Recomendaciones

Implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo en las estructuras con los que cuenta la red vial secundaria del tramo motel As de Amor vía Armenia y el acceso al edificio de bellas artes (UTP), como un instrumento de la gestión del riesgo de desastres y la planificación del desarrollo local.

Realizar diagnósticos periódicos, en los cuales se hagan inspecciones visuales, evaluación de las condiciones y alteraciones, con el propósito de implementar acciones preventivas y correctivas en las estructuras de la vía.

En caso de realizar algún tipo de construcción en la corona o sobre alguno de los taludes se deben realizar estudios sobre la estabilidad de los mismos.

Bibliografía

- Agua.org.mx. (2015). *Infraestructura hidráulica*. Recuperado el 20 de enero de 2018, de <https://agua.org.mx/categoria/infraestructura-hidraulica/>
- CARDER. (2000). *Base ambiental con énfasis en riesgos municipio de Pereira*. Recuperado el 26 de septiembre de 2017, de www.carder.gov.co/intradocuments/webDownload/base-ambiental-de-riesgo-pereira-
- CARDER. (Sf.). *Diagnostico de riesgos ambientales municipio de Pereira Risaralda*. Pereira. Recuperado el 20 de abril de 2017, de [file:///C:/Users/USER/Downloads/Diagnostico.de.Riesgos.Pereira%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Diagnostico.de.Riesgos.Pereira%20(1).pdf)
- DNP . (2016). *Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella*. Recuperado el 18 de enero de 2018, de <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/placahuella/ptplacahuella.pdf>
- Hernández A., Y. (2016). *Evalauación del riesgo asocaido a al vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué Tolima, Colombia*. Recuperado el 15 de febrero de 2018, de <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v26n2/v26n2a07.pdf>
- INVIAS. (2006). *Manual de inspección visual de obras de estabilización*. Recuperado el 25 de junio de 2018, 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>
- INVIAS. (2009). *Manual de drenaje para carreteras*. Recuperado el 10 de febrero de 2018, de [hhttps://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras](https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/984-manual-de-drenaje-para-carreteras)
- Mendoza L., J. (2017). *Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay*. Recuperado el 26 de enero de 2018, de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7614?show=full>
- Oliva, A. (mayo de 2015). *Estabilidad de taludes y laderas. Análisis cuantitativo y cualitativo*. Recuperado el 28 de enero de 2018, de https://www.academia.edu/12465089/ESTABILIDAD_DE_TALUDES_Y_LADERAS._AN%C3%81LISIS_CUANTITATIVO_Y_CUALITATIVO

- Pulecio, J. (2015). *UNIDAD 1. Tipología obras de drenaje y subdrenaje en vías*. Recuperado el 18 de enero de 2018, de <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/dodo/article/download/1198/1278>
- Sánchez, M. (2009). *Modelo de aplicaciones tecnológicas para la protección de taludes desestabilizados por exceso de humedad en el distrito metropolitano de Quito a fin de disminuir la accidentabilidad y congestión vehicular*. Recuperado el 10 de enero de 2018, de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2745/1/Maestr%C3%ADa%20V.%20T.%2039%20-%20S%C3%A1nchez%20Villafuerte%20Marco%20Antonio.pdf>
- Sandoval, G., & Sierra, E. (2016). *Evaluación y diseño de la obra hidrúlica en el tramo (K3+250) sobre el cause de la quebrada Malachi, de la vía agua de Dios -Nilo*. Recuperado el 15 de enero de 2018, de <http://repository.uniminuto.edu:8080/xmlui/bitstream/handle/10656/4868/T.IC%20SANDOVAL%20PADILLA%20GUSTAVO.pdf?sequence=1>
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. (I. d. Ltda., Ed.) Bucaramanga: Publicaciones UIS. Recuperado el 25 de enero de 2018, de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>
- Velazquez, J. (2014). *CUNETAS Localización en secciones de corte, terraplén y en separador centra*. Recuperado el 28 de enero de 2018, de <https://es.scribd.com/document/241197331/CUNETAS>