



**ANÁLISIS TÉCNICO DE MEJORAMIENTO DE VÍAS CON ADOQUINES DE
CONCRETO EN URBANIZACIÓN VILLAREAL**

Jesús Esteban Cabrera Ruano

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Civil

Tutor
Álvaro José Mattos Olivella, Magíster (MSc)

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Medellín, Antioquia, Colombia
2022

Cita	(Cabrera Ruano, 2022)
Referencia	Cabrera Ruano, J. E. (2022). <i>ANÁLISIS TÉCNICO DE MEJORAMIENTO DE VÍAS CON ADOQUINES DE CONCRETO EN URBANIZACIÓN VILLAREAL</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de Contenido

Indice de figuras y tablas.....	5
1 Resumen.....	7
2 Introducción	8
3 Objetivos	10
3.1 Objetivo general.	10
3.2 Objetivos específicos.....	10
4 Marco Teórico	10
4.1 Vía	10
4.2 Adoquín de concreto:	11
4.3 Pavimento de adoquines:.....	12
4.4 Estudio de suelos:	12
4.5 Ensayo CBR (In situ) INV.E 169 – 13:.....	13
4.6 Ensayo de PDC INV.E 172 – 13:	13
4.7 Metodología Ivanov:	14
4.8 Base granular:	14
4.9 Estabilización de suelos:.....	15
4.10 Costo de la pavimentación con adoquines	15
4.11 Maquinaria utilizada para la ejecución de la obra vial de adoquinamiento.....	20
5 Metodología	21
5.1 Revisión bibliográfica correspondiente a la pavimentación con adoquines.....	21
5.2 Ensayos de campo para la caracterización de los suelos a intervenir.....	21
5.2.1 Ubicación de los ensayos.	22
5.3 Visitas de campo para caracterización de limitaciones y potencialidades	25
5.4 Organización y ejecución de la obra de adoquinamiento	26
6 Resultados	29
6.1 Proyecto de adoquinamiento Urbanización Villareal.....	29
6.1.1 Estudio de suelos y diseño geométrico	32
6.1.2 Grosores de capa para estructura de adoquinamiento	33
6.1.3 Diseño geométrico.	34
6.2 Cantidades de obra y análisis de precios unitarios (APUS)	35
6.3 Apoyo a labores de residencia en el adoquinamiento.	37
6.3.1 Replanteo del proyecto.....	37

6.4	Excavaciones.....	38
6.4.1	Escarificación.....	38
6.4.2	Excavación a profundidad de diseño.....	40
6.4.3	Capa de afirmado.....	41
6.4.4	Conformación de capa base y cereo.....	43
6.5	Construcción de bordillos.....	44
6.6	Manejo y disposición del adoquín.....	45
6.7	Colocación de adoquines de concreto.....	47
7	Discusiones.....	49
8	Conclusiones.....	52
9	Referencias bibliográficas.....	55

Índice de figuras y tablas

Tablas

1. Presupuesto pavimento flexible	17
2. Presupuesto pavimento rígido	18
3. Presupuesto adoquinamiento	19
4. Maquinarias utilizadas	20
5. Identificación de problemáticas	25
6. Cantidades de obra para adoquinamiento	27
7. Etapas constructivas de adoquinamiento	28
8. Resumen de los ensayos de laboratorio	32
9. Presupuesto de obra	36
10. Volúmenes de cortes y rellenos	40

Figuras

1. Pavimento de adoquines de concreto	11
2. Estructura con adoquines de concreto	12
3. Tramos proyectados para adoquinar	22
4. Ubicación de los ensayos	22
5. Apiques para estudio de suelos	23
6. Ensayo C.B.R curvas de penetración	23
7. Análisis de laboratorio de suelos	24
8. Curvas PDC	24
9. Deterioro vial	30
10. Vías sin conexiones	31
11. Viviendas en distintos niveles	31
12. Ensayos de laboratorio	32
13. Estructura de adoquín	33
14. Capa de mejoramiento en afirmado	34
15. Perfil frontal	35
16. Diseño geométrico Urbanización Villareal	35
17. Toma de niveles y topografía	38
18. Escarificación	39
19. Acarreo de material de escarificación	39
20. Excavación a mano	39
21. Planos diseño estructural Adoquinamiento	40
22. Excavación	41
23. Recolección de material	41

24. Mina de material de afirmado _____	42
25. Riego de material _____	42
26. Compactación de vía _____	43
27. Conformación de capa base _____	44
28. Diseño de bordillo _____	45
29. Formaletas para bordillo _____	45
30. Adoquines en concreto _____	46
31. Transporte de adoquines _____	46
32. Arrume y Protección del material _____	47
33. Colocación de adoquín _____	48
34. Diseño de vigueta de confinamiento _____	48

ANÁLISIS TÉCNICO DE MEJORAMIENTO DE VÍAS CON ADOQUINES DE CONCRETO EN URBANIZACIÓN VILLAREAL

1 Resumen

El municipio de Pupiales se destaca en la región nariñense por su gran importancia en el sector de la agricultura, el comercio y la ganadería; esto ha generado un crecimiento acelerado y constante en su población y así mismo en las dinámicas de producción y tráfico vehicular para el desarrollo de las actividades referidas. Ante este crecimiento y la necesidad de movilidad en el casco urbano y rural, la administración municipal ha buscado alternativas para el mejoramiento de las vías existentes, estableciendo la pavimentación con adoquines de concreto como una solución adecuada y eficaz para vías en mal estado dentro del sector urbano, esto debido a las ventajas del método constructivo en la operación de maquinaria, la no necesidad de personal altamente capacitado, bajos costos en materiales y fácil ejecución de mantenimiento.

El presente informe contiene los lineamientos para la construcción de las vías seleccionadas para su intervención con adoquines de concreto, el análisis de los diseños para la obra vial; además, se presenta los resultados del adoquinamiento realizado en la urbanización Villareal, donde se identificaron problemáticas y beneficios asociados al proyecto.

Se describe también la ejecución por etapas del proceso y se mencionan los ítems requeridos para el desarrollo del proyecto, se detallan los contratiempos sucedidos y los beneficios obtenidos al final de las actividades constructivas.

Palabras Clave: Adoquín, vía, construcción, movilidad, mejoramiento, tránsito.

2 Introducción

El municipio de Pupiales se ubica en el sur del departamento de Nariño, con una población de 19.675 habitantes de los cuales 6.632 están ubicados en el sector urbano y 13.443 en el sector rural (DANE, 2018), movilizándose constantemente a través de las vías terciarias y urbanas para el desarrollo de las diferentes actividades económicas, comerciales e industriales. Con base a lo anterior la Secretaría de Obras e Infraestructura del municipio de Pupiales ha identificado varias problemáticas que pueden entorpecer el desarrollo de estas dinámicas económicas y que se han relacionado con una malla vial en un estado insuficiente para el tráfico vehicular y peatonal, generando esto una inconformidad generalizada entre los habitantes de la región e impactado directamente sobre la economía.

Es por ello que, dada la necesidad de mejorar las vías existentes para mantener una adecuada conectividad entre lugares y de acuerdo a los requerimientos del sector, se ha optado por el método de pavimentación con adoquines de concreto, actualmente vigente por sus ventajas constructivas y variedad estética.

A nivel nacional, este proceso constructivo ha sido poco estudiado a excepción de contados trabajos de grado de diferentes universidades en el país, variando desde diseños de pavimentos articulados para tráfico medio y alto hasta metodologías para la reducción de desperdicios de adoquines, como es caso de Luis Arboleda quien desarrolla un trabajo de grado enfocado a la optimización en el desperdicio de adoquines (Arboleda, 2019), también se encuentra a Muñoz Trochez, quien realiza un análisis de la resistencia a la compresión exigida por la especificación INV ART 510-13 y de la resistencia a la flexotracción exigida NTC 2017 (Muñoz, 2018); de igual modo otros autores se han enfocado en adoquines fabricados a partir de materiales arcillosos y el desarrollo de los esfuerzos en

estos, como en el caso de Victor Manuel Aristizábal (Aristizabal Gil, 2005). Se presentan también investigaciones donde se busca evaluar el adoquín como una alternativa a la construcción de obras viales como el en trabajo desarrollado por Yomaira Beatriz Hernández Cepeda (Hernández, 2018).

A nivel internacional se han desarrollado análisis sobre el comportamiento mecánico de los elementos, propiedades físicas del material y evaluaciones de diseño, como el caso del trabajo desarrollado por Santiago Fernando Cantos Cortez, con “Evaluación del diseño de pavimentos con adoquines de concreto en las parroquias pertenecientes a la administración zonal Quitumbe en el sur de Quito” (Alemán & Cantos, 2016), trabajos que sirvieron como guía a este, además de los antecedentes constructivos del municipio sobre obras viales realizadas en pavimentos flexibles y rígidos. Para el desarrollo de este trabajo se tuvo en cuenta los lineamientos establecidos por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), así como las normas descritas en el instituto Nacional de vías – INVIAS.

Teniendo en cuenta lo anterior, el pavimento con adoquines de concreto puede establecerse como una solución efectiva a las necesidades de movilidad del municipio; por lo tanto, en el presente trabajo se detalla la planeación y ejecución de una obra de adoquinamiento donde se identificarán las ventajas, limitaciones técnicas y procesos constructivos del método, una comparativa frente a otros métodos y razones de elección de este, además de analizar los resultados del mejoramiento con este método y su funcionalidad.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general.

Establecer criterios técnicos y financieros para el análisis del proceso de mejoramiento de vías terciarias por pavimentación con adoquines de concreto de la Urbanización Villarreal, Pupiales, Nariño.

3.2 Objetivos específicos.

-Identificar los lineamientos establecidos actualmente para el diseño y ejecución de obras viales con adoquines de concreto, como la resistencia de los adoquines, espesores de capas base y sub-base y los métodos constructivos.

- Realizar un diagnóstico de la estabilidad de los suelos y la exploración de campo en las zonas a intervenir.

- Caracterizar limitaciones y potencialidades del proceso constructivo de pavimentación con adoquines de concreto con relación a otros sistemas de pavimentación.

- Identificar problemáticas técnicas y económicas asociadas a la ejecución de la obra con adoquines de concreto en el municipio.

4 Marco Teórico

4.1 Vía

Es un espacio que puede ser de carácter público o privado cuya función es el tránsito de vehículos, personas o animales (Ministerio de Transporte, 2002). Se puede definir a las vías como un “sistema estructural de transporte que permite la circulación de vehículos en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo y que requiere de cierto nivel de seguridad, rapidez y comodidad” (Ospina, J.J.A.2002).

Estas estructuras permiten el flujo de vehicular y/o peatonal, se pueden encontrar en diferentes materiales como, tierra o afirmado, pavimento rígido, pavimento flexible, o combinaciones de materiales de acuerdo a las necesidades de cada población y la existencia de recursos humanos y económicos para la ejecución de dichas estructuras.

4.2 Adoquín de concreto:

Es un elemento estructural prismático recto, macizo, prefabricado en concreto, que dispuestos en forma articulada entre elementos forman superficies de rodadura o de tránsito peatonal.

Las partes de este elemento se pueden identificar como:

- Cara de desgaste del adoquín: Parte superior expuesta del elemento donde se soportarán los pasos peatonales o vehiculares.

- Cara de apoyo: Es la parte interna del elemento que estará en contacto con la capa de arena de soporte

- Caras laterales: Son las caras verticales del elemento que estarán en contacto con otros adoquines a través de las juntas (ICONTEC, 2013)

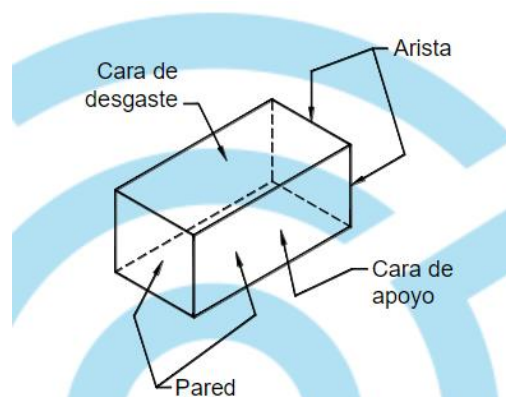


Figura1. pavimento de adoquines de concreto
Fuente: NTC 6008, ICONTEC, 2013

4.3 Pavimento de adoquines:

Superficie de rodadura conformada por adoquines de concreto sobre una capa de arena gruesa, así mismo las juntas entre adoquines van selladas con arena fina, estos pueden ir articulados en distintas formas (ICONTEC, 2013).

Los pavimentos de adoquines de concreto son superficies generalmente compuestas por unidades modulares prefabricadas de concreto, que cuentan con una amplia variedad de formas, colores y texturas. Estas son colocadas sobre bases granulares y de arena gradada. Arena de sello en las juntas genera el sellado que permite la transferencia de cargas en el sistema. Este conjunto puede ser construido sobre una gran variedad de sub-bases. Debido a que los adoquines trabajan como pavimento flexible, pueden flexionarse con los movimientos menores de la base sin partirse, haciéndolos un pavimento ideal para las condiciones climáticas de Norte América. Esta característica única les da una ventaja clara sobre los pavimentos de asfalto y de concreto (Unilock, 2018).

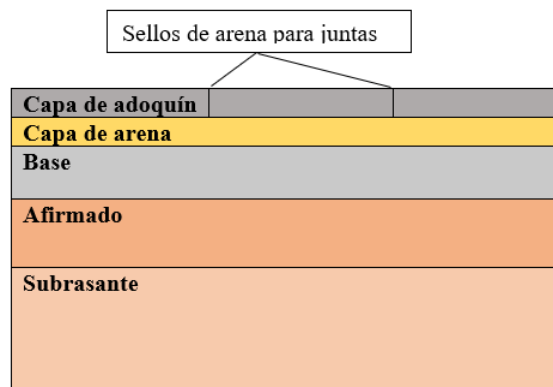


Figura 2. Estructura con adoquines de concreto
Fuente: Elaboración propia

4.4 Estudio de suelos:

Para el proyecto de adoquinamiento de vías en el municipio de Pupiales, se realizó una evaluación geotécnica de la sub-rasante con el fin de obtener una caracterización del suelo y evaluar la capacidad de soporte presente en el tramo vial a intervenir. Los ensayos

de CBR se realizaron in situ de acuerdo con las especificaciones INV E-169-13, además del ensayo PDC (Penetrómetro Dinámico de Cono) con la especificación INV E-172-13. Se efectuó un total de (4) apiques ubicados en el área de la urbanización, a una profundidad de 1.50 m para ensayo de PDC y una profundidad máxima de 0.50 m para Muestras de CBR in situ (TEC INGENIERIA, 2021). Para lograr el objetivo, se realizó una investigación con apiques y ensayos, que permitió identificar, la estratigrafía, consistencia y las propiedades del suelo, parámetros con los que se calculó el soporte del suelo y se definieron las recomendaciones constructivas. De acuerdo con el objeto del proyecto a construir, la profundidad de desplante, la magnitud de las cargas que transmitirán al subsuelo y cumpliendo con las especificaciones de la DOCUMENTACIÓN TÉCNICO NORMATIVA ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION DE CARRETERAS (INVIAS, 2013), se planificó y ejecutó el trabajo de campo.

4.5 Ensayo CBR (In situ) INV.E 169 – 13:

Establece la determinación de un índice de resistencia del suelo de sub-rasante, en este, un pistón circular penetra una muestra de suelo a velocidad constante. El CBR se expresa como la relación porcentual entre el esfuerzo requerido para que el pistón de 2.54 o 5.08 mm (0.1 o 0.2”) penetre en el suelo, con el esfuerzo que se requirió para penetrar las mismas profundidades en una muestra patrón bien gradada (INVIAS, 2013).

4.6 Ensayo de PDC INV.E 172 – 13:

Cubre la medida de la tasa de penetración del penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kilogramos, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La tasa de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR (California Bearing Ratio) (INVIAS, 2013).

4.7 Metodología Ivanov:

Cuando el análisis de la sub rasante muestra un CBR < 5%, indica que se debe realizar una mejora del suelo ya que el material de soporte es inadecuado, se efectúa para esto un mejoramiento mediante el reemplazo del material deficiente por una capa de material granular con las características requeridas, para esto, la ecuación de Ivanov permite calcular el espesor de la capa de mejoramiento a través de un módulo equivalente por medio de la siguiente ecuación (Salamanca & Zuluaga, 2014):

$$E_{eq} = \frac{E_0}{1 - \frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right) \tan^{-1} \left(n \frac{h_g}{2a}\right)} \quad \text{ecuación (1)}$$

$$n = \sqrt[2.5]{\frac{E_1}{E_0}} \quad \text{ecuación (2)}$$

Los módulos elásticos establecen la relación entre los esfuerzos y las deformaciones unitarias, la ecuación de Ivanov relaciona el módulo existente de la subrasante con un módulo equivalente esperado a través de un espesor de material mejorado.

E_{eq} = Módulo de elasticidad equivalente de la subrasante mejorada (kg/cm²).

E_0 = Módulo de elasticidad de la subrasante (kg/cm²).

E_1 = Módulo de elasticidad material de mejoramiento (kg/cm²).

n = Parámetro adimensional que relaciona los módulos E_1 y E_0 .

h_g = Espesor del material de mejoramiento (cm).

a = Radio del área de carga en cm, con un valor constante igual 1.5.

4.8 Base granular:

Capa granular de espesor no mayor a 0.20m, (sin compactar) los materiales que componen esta capa deben cumplir con las normas establecidas por el INVIAS, estas pueden provenir de un procesamiento de residuos de construcción y demolición (RCD),

cantera o triturados, siempre libres de materia orgánica o de sustancias que puedan contaminar la base (EPM, 2017)

Base: Es la capa que se encuentre entre la subrasante y la capa de arena; dependiendo del tipo de suelo y especificaciones de diseño será necesario la aplicación de una capa de subbase precediendo a la base. Su objetivo es aumentar la capacidad de soporte de la estructura del pavimento, por lo cual, esta capa está conformada por materiales granulares, suelo estabilizado o con poca cantidad de concreto (Hernández, 2018).

4.9 Estabilización de suelos:

La estabilización de suelos puede darse de forma mecánica, química o combinada, con la ayuda de maquinaria compactadora en forma dinámica o estática; el fin de la estabilización es llegar a aumentos considerables de densidad, aminorar la permeabilidad y porosidad y de igual tener mejor resistencia. En muchos casos la combinación de materiales de diferentes gradaciones en conjunto con la compactación (con o sin ayuda de agentes químicos) ayuda a tener menores asentamientos en el suelo, mayor capacidad portante y por ende ser un suelo más competente para responder a las solicitudes requeridas por las obras viales (Das, 2013).

4.10 Costo de la pavimentación con adoquines

La creciente demanda de vías debido al flujo vehicular en determinadas vías del casco urbano del municipio de Pupiales ha deteriorado las mismas ya que han sufrido sobrecargas o simplemente superado el número de repeticiones admisibles de diseño. De igual manera, considerando que el municipio ha presentado un crecimiento acelerado a nivel comercial y poblacional, su centro urbano se ha visto en la necesidad de habilitar e interconectar estratégicamente la red vial, de tal manera que se brinde la posibilidad de un

crecimiento controlado, aprovechando adecuadamente los terrenos disponibles y ejecutando proyectos de mejoras viales.

La decisión de optar por estructuras de pavimento con adoquines de concreto, se debe principalmente a las ventajas que presenta con respecto a su bajo costo de mantenimiento en comparación con las de concreto asfáltico, sus altos índices de servicio, mejor distribución de esfuerzos bajo las losas, menor tecnología para su construcción y mano de obra no calificada, por las cuales la administración municipal, encargada de la construcción y mantenimiento de vías, advierte más conveniente su aplicabilidad. Así mismo, es de importancia mencionar que la inversión más importante en infraestructura que el municipio requiere son las vías de la red urbana, por tanto, el diseño de las mismas no tiene solo incidencia en la parte económica y social sino también un valor agregado en el patrimonio y el desarrollo de la ciudad.

INVERSIÓN INICIAL.

El valor total de la inversión en la infraestructura vial urbana asciende a lo estipulado en el presupuesto anexo a cargo de la Secretaría de Obras, correspondiente a la construcción de Pavimento Articulado en la Urbanización Villarreal, con un aproximado de \$357.454.540 millones de Pesos.

INGRESOS DEL PROYECTO.

Se obtienen ingresos anuales reflejados en beneficios para los usuarios, ingresos que se calculan como costos evitados. Costos que estarían presentes de no realizarse el proyecto.

PRESUPUESTO DE GASTOS DE ADMINISTRACIÓN.

Los gastos operacionales de administración, como personal, servicios y diversos se asumirán por la alcaldía municipal, para esto se contará con el personal de planta de la administración Municipal.

ALTERNATIVAS A LA PAVIMENTACIÓN CON ADOQUINES Y PRESUPUESTOS PRELIMINARES

Se evaluaron tres opciones de pavimentación preliminares para elegir entre, pavimento flexible, rígido y adoquinamiento como se muestran en las tablas 1, 2 y # respectivamente:

Tabla 1.
Presupuesto pavimento flexible

PRESUPUESTO PRELIMINAR DE OBRA – PAVIMENTO FLEXIBLE					
PROYECTO: PAVIMENTO ARTICULADO DE VIAS, URBANIZACIÓN VILLAREAL DE PUPIALES					MUNICIPIO
ITEM	DETALLE	UN	CANT.	Valor unitario	Valor total
I	PRELIMINARES				
1	Localización y Replanteo Topográfico en vía urbana	M	498,14	\$ 400	\$ 199.256
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2,1	Excavación mecánica, material común	M ³	291	\$ 14.755	\$ 4.288.393
2,2	Rellenos	M ³	356	\$ 14.000	\$ 4.988.200
2,3	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para Subbase Granular (40cm)	M ³	1.096	\$ 32.980	\$ 36.143.375
2,4	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para base Granular (e=15cm)	M ³	411	\$ 43.974	\$ 18.071.686
2,5	Suministro, extendida y compactación de arena de nivelación (e=4cm)	M ³	110	\$ 54.967	\$ 6.023.895
3,2,3	Recebo para mejoramiento de suelo para andenes	M ³	145	\$ 32.980	\$ 4.776.768
3,2,4	Arena de sellado	M ³	27	\$ 43.974	\$ 1.204.779
3	ASFALTO				
	Asfalto 60-70	Ton	274	\$ 1.649.010	\$ 451.790.813
3,2	BORDILLOS DE CONFINAMIENTO				

3,2,3	Bordillo concreto vaciado in-situ 14 MPa, incluida preparación de superficie de apoyo y refuerzo	ML	996	\$ 32.918	\$ 32.795.423
--------------	--	----	-----	-----------	---------------

COSTO TOTAL MEDIDA DE PREVENCIÓN SANITARIA PARA LA OBRA

COSTO TOTAL DEL PROYECTO

\$ 560.282.588

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.

Presupuesto pavimento rígido

PRESUPUESTO PRELIMINAR DE OBRA - PAVIMENTO RIGIDO					
PROYECTO: PAVIMENTO ARTICULADO DE VIAS, URBANIZACIÓN VILLAREAL DE PUPIALES					MUNICIPIO
ITEM	DETALLE	UN	CANT.	Valor unitario	Valor total
I	PRELIMINARES				
1	Localización y Replanteo Topográfico en vía urbana	M	498,14	\$ 400	\$ 199.256
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2,1	Excavación mecánica, material común	M ³	291	\$ 14.755	\$ 4.288.393
2,2	Rellenos	M ³	356	\$ 14.000	\$ 4.988.200
2,3	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para Subbase Granular (40cm)	M ³	1.096	\$ 32.980	\$ 36.143.375
2,4	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para base Granular (e=15cm)	M ³	411	\$ 43.974	\$ 18.071.686
2,5	Suministro, extendida y compactación de arena de nivelación (e=4cm)	M ³	110	\$ 54.967	\$ 6.023.895
3,2,3	Recebo para mejoramiento de suelo para andenes	M ³	145	\$ 32.980	\$ 4.776.768
3,2,4	Arena de sellado	M ³	27	\$ 43.974	\$ 1.204.779
3	Pavimento				
	Concreto hidráulico MR-43	M ³	411	\$ 457.243	\$ 187.911.098
	Curador de membrana	Kg	1438,4	\$ 10.382	\$ 14.933.253,4
3,2	BORDILLOS DE CONFINAMIENTO				
3,2,3	Bordillo concreto vaciado in-situ 14 MPa, incluida preparación de superficie de apoyo y refuerzo	ML	996	\$ 32.918	\$ 32.795.423
COSTO TOTAL DEL PROYECTO					\$ 311.336.127

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.
Presupuesto adoquinamiento

PRESUPUESTO DE OBRA - ADOQUINAMIENTO					
PROYECTO: PAVIMENTO ARTICULADO DE VIAS, URBANIZACIÓN VILLAREAL DE PUIPALES					MUNICIPIO
ITEM	DETALLE	UN	CANT.	Valor unitario	Valor total
I	PRELIMINARES				
1	Localización y Replanteo Topográfico en vía urbana	M	498,14	\$ 400	\$ 199.256
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2,1	Excavación mecánica, material común	M^3	291	\$ 14.755	\$ 4.288.393
2,2	Rellenos	M^3	356	\$ 14.000	\$ 4.988.200
2,3	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para Subbase Granular (40cm)	M^3	1.096	\$ 32.980	\$ 36.143.375
2,4	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para base Granular (e=15cm)	M^3	411	\$ 43.974	\$ 18.071.686
2,5	Suministro, extendida y compactación de arena de nivelación (e=4cm)	M^3	110	\$ 54.967	\$ 6.023.895
3,2,3	Recebo para mejoramiento de suelo para andenes	M^3	145	\$ 32.980	\$ 4.776.768
3,2,4	Arena de sellado	M^3	27	\$ 43.974	\$ 1.204.779
3	ESTRUCTURA PAVIMENTO ARTICULADO				
3,1	suministro de adoquín de concreto vehicular e=8cm	M^2	2.740	\$ 48.000	\$ 131.508.960
3,3	Instalación de adoquines	M^2	2.740	\$ 15.000	\$ 41.096.550
3,2	BORDILLOS DE CONFINAMIENTO				
3,2,3	Bordillo concreto vaciado in-situ 14 MPa, incluida preparación de superficie de apoyo y refuerzo	ML	996	\$ 32.918	\$ 32.795.423
3,3	Confinamiento transversal				
3,3,1	viguetas de confinamiento incluida instalación	ML	99	\$ 142.333	\$ 14.090.969
COSTO TOTAL MEDIDA DE PREVENCION SANITARIA PARA LA OBRA					
COSTO TOTAL DEL PROYECTO					\$ 295.188.254

Fuente: Elaboración propia

4.11 Maquinaria utilizada para la ejecución de la obra vial de adoquinamiento

En la tabla 4 se presentan las maquinas utilizadas y sus respectivas funciones para las diferentes actividades de obra en el adoquinamiento de la urbanización Villareal.

Tabla 4.

Maquinarias utilizadas

Descripción	Maquinaria
<p>Motoniveladora Caterpillar 120G Esta máquina tiene gran versatilidad y cumple la función de realizar cortes, escarificación, movimiento de suelos, conformación de material y perfilación de la calzada. Una posible dificultad puede ser la imposibilidad de la operación de la maquina en entornos muy reducidos.</p>	
<p>Retroexcavadora pajarita 420F Una maquina con cuchara delantera para realizar cortes profundos y precisos, en su parte trasera cuenta con un balde cargador para realizar movimiento de suelos o material. Se puede ver limitada a realizar cortes en áreas específicas y no en tramos largos.</p>	
<p>Vibro compactador CS533E: Con un peso de más de 10 toneladas esta máquina cumple la función de compactar los suelos con un sistema vibratorio o mediante rodadura del cilindro. Una desventaja puede ser su dificultad para trasladarse grandes distancias debido a su gran peso y lentitud.</p>	
<p>Volqueta Hino doble troque: Es un vehículo apto para cargar 14 metros cúbicos de material granular, su capacidad de levantar el volcó facilita la disposición del material en los sitios requeridos. Una dificultad puede deberse a que por la gran carga que lleva puede volverse inestable si no se opera con precaución.</p>	

Fuente: Elaboración propia

5 Metodología

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados en el presente informe, se realizaron las siguientes actividades:

5.1 Revisión bibliográfica correspondiente a la pavimentación con adoquines

Para la realización de este documento se inició con la revisión de distintas fuentes bibliográficas relacionadas a la construcción con adoquines de concreto a nivel nacional y así mismo en el exterior, siendo el repositorio institucional de la universidad de Antioquía una de las fuentes consultadas y encontrándose con un único documento referente al tema relacionado a este trabajo de grado. Los documentos encontrados se analizaron de manera detallada encontrándose distintos enfoques para los adoquines de concreto y así mismo resultados variables a cada problemática estudiada por los autores. Con el objetivo de contextualizar los conocimientos técnicos a nivel nacional y abordar el tema desde un punto más objetivo y claro se consultaron las normas técnicas colombianas, siendo el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) quien da la norma que estandariza los métodos y formas del adoquín, sin llegar a dar un enfoque constructivo o referencial de metodologías constructivas. Así mismo las normas y especificaciones técnicas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) se tuvieron en cuenta para determinar los lineamientos para la construcción de vías con adoquines de concreto, presentes en este documento y desarrolladas durante la construcción de la obra.

5.2 Ensayos de campo para la caracterización de los suelos a intervenir

Para la ejecución del proyecto en la urbanización Villareal, municipio de Pupiales, Departamento de Nariño, se seleccionaron las vías a intervenir que se señalan a continuación en la figura 3:

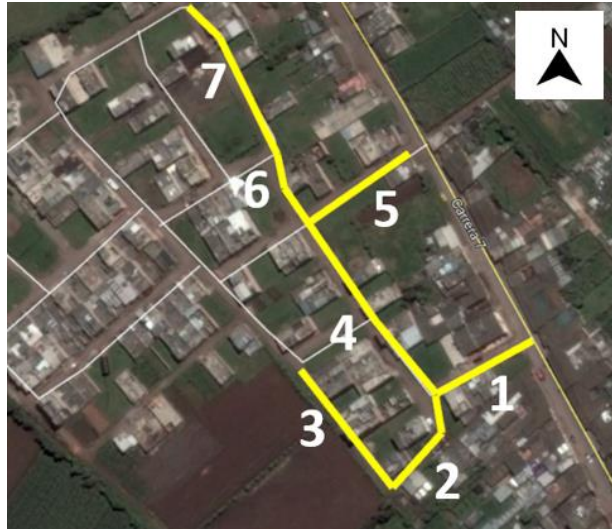


Figura 3. Tramos proyectados para adoquinar
Fuente: Google Earth

5.2.1 Ubicación de los ensayos.

Los ensayos se repartieron en el área de la urbanización Villa Real, ubicándose en los tramos 1, 3, 4 y 5, identificados en la figura 4; en total se realizaron 4 apiques mostrados en la figura 5, a una profundidad de 1.5 m para los ensayos con penetrómetro y muestras de CBR tomadas a una profundidad de 0.5 m bajo la rasante existente.



Figura 4. Ubicación de los ensayos
Fuente: Google Earth

Convenciones de los ensayos:



Ensayo CBR



Ensayo con Penetrómetro de cono liviano



Figura 5. Apiques para estudio de suelos

Fuente: Estudio técnico Tec Ingeniería

En la figura 6 se presenta un ejemplo del ensayo de CBR de la curva de penetración para el apique 1.

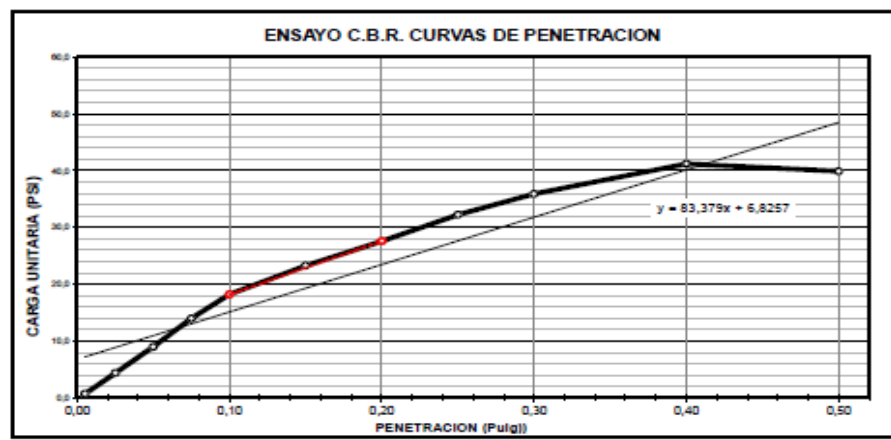


Figura 6. Ensayo C.B.R curvas de penetración

Fuente: Estudio técnico Tec Ingeniería

En la figura 7 se puede observar los análisis de laboratorio y las curvas PDC en la figura 8 para la muestra del apique 1.

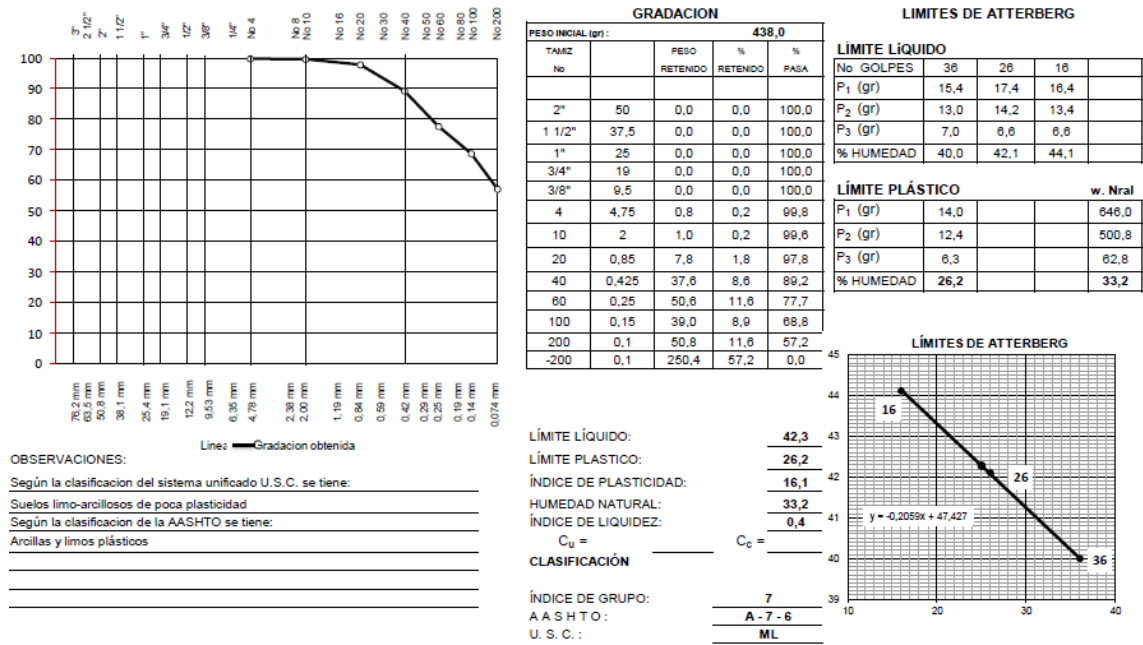


Figura 7. Análisis de laboratorio de suelos
Fuente: Estudio técnico Tec Ingeniería

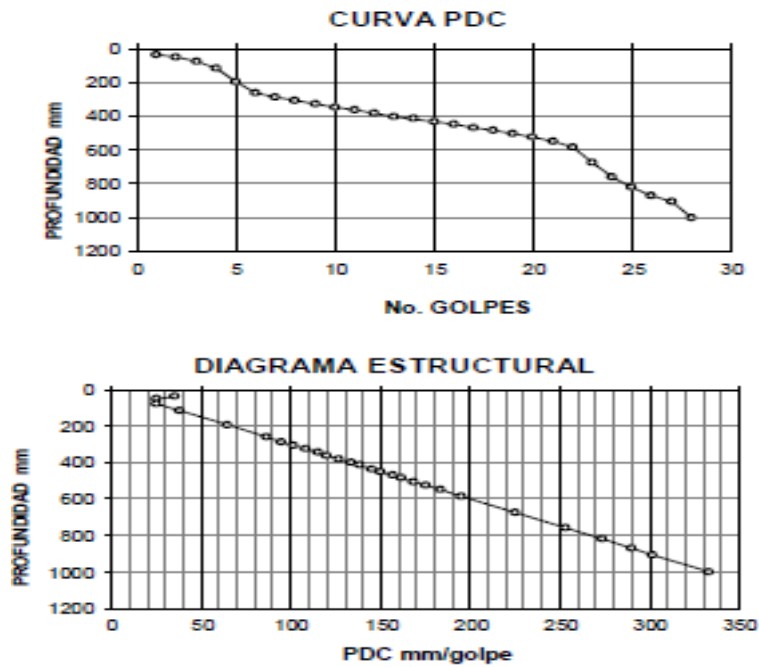





Figura 8. Curvas PDC
Fuente: Estudio técnico Tec Ingeniería

5.3 Visitas de campo para caracterización de limitaciones y potencialidades

Se realizaron visitas de campo a las vías seleccionadas para la pavimentación con adoquines de concreto, identificando zonas con posibles problemáticas por espacio, obras de drenaje y viviendas beneficiadas con el proyecto, la información recopilada se muestra en la tabla 5:

Tabla 5.
Identificación de problemáticas

VISITAS DE CAMPO			
FECHA	UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN	REGISTRO FOTOGRÁFICO
8/09/2021	CALLE E 0°52'32.27"N, 77°38'31.40"O	Se evidencia formación de un cráter producto de fuga de agua por tubería de distribución de agua potable, se debe realizar la respectiva notificación a la empresa de servicios públicos del municipio.	
15/09/2021	CALLE D 0°52'33.43"N, 77°38'29.39"O	Se encuentra que las cámaras hidrosanitarias de las dos primeras viviendas de la calle D, se encuentran a una altura muy superficial de la calle, además de encontrarse construidas muy alejadas de los andenes.	
15/09/2021	CALLE E 0°52'32.91"N, 77°38'30.48"O	Se evidencian postes de luz ubicados en el espacio de la calzada, se debe realizar informe a la empresa de energía para reubicación de estos.	

15/09/2021 CARRERA 7A 0°52'34.50"N, 77°38'31.30"O Se encuentran alcantarillas que quedaría por debajo del nivel de la nueva rasante de diseño, se debe implementar subir su altura al realizar la ejecución del adoquinamiento.



18/09/2021 CALLE E, D Y CARRERA 7A 0°52'33.43"N, 77°38'29.47"O Se evidencian que las casas se encuentran construidas a distintos niveles, por lo tanto, las alturas de los andenes varían con respecto a la nueva calzada de diseño



18/09/2021 CALLE E, D Y CARRERA 7A 0°52'33.67"N, 77°38'30.85"O La instalación de gas domiciliario se encuentra en algunos tramos a una altura superficial, además de no seguir una trayectoria recta.



20/09/2021 CALLE D 0°52'31.86"N, 77°38'30.88"O La calle D presenta inconvenientes debido al poco espacio para maniobrar la maquinaria pesada de forma adecuada.



Fuente: Elaboración propia

5.4 Organización y ejecución de la obra de adoquinamiento

Para la ejecución del proyecto de mejoramiento de las vías urbanas con adoquín se estableció realizar 3 etapas, en donde la etapa 1 corresponde a la ejecución del mejoramiento de la calle D, calle B, y un tramo de la carrera 7ª, la etapa 2 al adoquinamiento

de las calles C, A y tramo de la carrera 7ª y la etapa 3 destinada a la ejecución del último tramo de la carrera 7 y construcción y adecuación de zonas verdes.

Se elaboró un plan de ejecución considerando vías alternas para el tráfico vehicular dentro de la urbanización y así mismo para evitar la mayor cantidad de riesgos producto de la operación de las maquinarias.

Se revisaron los planos constructivos del proyecto de pavimentos articulados y se efectuaron correcciones de acuerdo a las disposiciones de la Secretaría de Obras e Infraestructura; así mismo se analizaron los diseños y las recomendaciones por parte del contratista.

Se calcularon cantidades de obra para el proyecto de pavimento articulado, e igualmente se proyectaron los análisis de precios unitarios (APUS) requeridos y el presupuesto de obra, esta información se muestra en la tabla 6:

Tabla 6.
Cantidades de obra para adoquinamiento

CANTIDADES DE OBRA PROYECTO: PAVIMENTO ARTICULADO DE VIAS, URBANIZACIÓN VILLAREAL MUNICIPIO DE PUPIALES			
ITEM	DETALLE	UN	CANT.
I	PRELIMINARES		
1	Localización y Replanteo Topográfico en vía urbana	M	498
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS		
2,1	Excavación mecánica, material común	M ³	291
2,2	Rellenos	M ³	356
2,3	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para Sub-base Granular (Afirmado 40cm)	M ³	1.096
2,4	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para base Granular (e=15cm)	M ³	411
2,5	Suministro, extendida y compactación de arena de nivelación (e=4cm)	M ³	110
3,2,3	Afirmado para mejoramiento de suelo para andenes	M ³	145
3,2,4	Arena de sellado	M ³	27

3	ESTRUCTURA PAVIMENTO ARTICULADO		
3,1	Adoquín de concreto para vía y andén	M ²	3.947
3,1,2	Adoquín de concreto peatonal	M ²	1207,0
3,2	BORDILLOS DE CONFINAMIENTO		
3,2.1	Bordillos de confinamiento 14 MPa incluye preparación de superficie	ML	956

Fuente: Elaboración propia

Para el proceso constructivo se desarrollaron tres etapas ordenadas como se muestran en la tabla 7 a continuación:

Tabla 7.
Etapas constructivas de adoquinamiento

ETAPAS CONSTRUCTIVAS DE ADOQUINAMIENTO	
ETAPA 1:	EXCAVACIONES
	<ul style="list-style-type: none"> • Escarificación • Excavación a profundidad de diseño
	
ETAPA 2:	CAPAS DE AFIRMADO Y BASE
	<ul style="list-style-type: none"> • Conformación de capa de afirmado • Conformación de capa base y cereo
	
ETAPA 3:	CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de bordillos • Construcción de vigas de confinamiento • Colocación de adoquines de concreto
	

Fuente: Elaboración propia

Para la primera etapa se realizaron excavaciones siguiendo los diseños constructivos entregados por el contratista hasta llegar a las cotas necesarias para la realización del mejoramiento de suelo, en esta etapa se utilizaron fundamentalmente tres máquinas referidas en la tabla 4, como la motoniveladora, para escarificar y excavar el suelo de la vía existente, la retroexcavadora para cargar y movilizar el material excavado y las volquetas para la correcta disposición del material en los sitios definidos para escombros resultantes de la obra.

En la segunda etapa, se inicia con las labores de relleno de las capas de afirmado y base, necesarias para la estructura de adoquín, es necesario para esto la verificación de las cotas para cada capa y un adecuado manejo de los grosores para llegar a los niveles de diseño requeridos por el proyecto. Para este proceso es necesario el uso de la motoniveladora, retroexcavadora, volquetas y vibro-compactador, para la adecuada ejecución de la obra.

En la tercera etapa se construyen las obras complementarias para la estructura del adoquín, iniciándose con la construcción de los bordillos, que confinaran longitudinalmente los adoquines y las vigas que le brindaran un confinamiento transversal a la estructura, para finalmente agregar la base de arena y sentar el adoquín de forma manual.

6 Resultados

Para el presente trabajo de grado se obtuvieron los resultados descritos a continuación:

6.1 Proyecto de adoquinamiento Urbanización Villareal

En el casco urbano del Municipio de Pupiales se ha identificado una problemática principal relacionada con la red vial urbana, ya que esta se ha visto insuficiente ante el

crecimiento urbano de las últimas décadas. Se evidencian formación de hundimientos, fracturas y desgaste en las capas de rodaduras en las estructuras de pavimento de las vías de sectores residencial, de servicios y administrativos entre otros, como se indica en la figura 9:



Figura 9. Deterioro vial
Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el Plan de Desarrollo Territorial 2020-2023, el 70% de la red vial se encuentra construida en concreto hidráulico, de este porcentaje únicamente un 10% se encuentra en buen estado, el resto, es decir el 60% ha cumplido su periodo de diseño y presenta, por tanto, deterioros de tipo estructural y funcional. (Alcaldía Municipal de Pupiales, 2020)

Adicionalmente, se presenta dificultades en la interconexión de tramos, debido a calles sin pavimentar ni con las adecuaciones necesarias para el tráfico vehicular, como se muestra en la figura 10, lo cual genera la necesidad de la apertura de nuevas vías las cuales están proyectadas en el respectivo Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) del municipio. Teniendo en cuenta lo anterior, se estableció llevar a cabo el proyecto de adoquinamiento en la urbanización Villareal, como un proceso de inicio de restauración de la red vial urbana del municipio.



Figura 10. Vías sin conexiones
Fuente: elaboración propia

Durante el desarrollo de la obra de infraestructura vial urbana se identificaron distintas problemáticas asociadas con la ejecución, como el manejo de maquinaria pesada en espacios reducidos, viviendas construidas a distintos niveles de desplante como se muestra en la figura 11, poca claridad de propietarios de lotes con respecto al espacio público y vibraciones excesivas a las viviendas producto de la compactación de la vía. También se encontraron dificultades con las instalaciones de gas domiciliario, redes de distribución de agua potable y las estructuras hidrosanitarias de las viviendas, sumado a los retrasos causados por la ola invernal que causó saturaciones excesivas en los materiales dispuestos para la estructura del pavimento articulado, tal como se establece en la tabla 5 descrita en la metodología,



Figura 11. Viviendas en distintos niveles
Fuente: elaboración propia

6.1.1 Estudio de suelos y diseño geométrico

Para la evaluación geotécnica de la rasante donde se llevó a cabo el adoquinamiento se realizaron ensayos CBR (in-situ) y de penetrómetro de cono liviano, esto según las disposiciones técnicas y presupuestales de la secretaría de Obras e Infraestructura con el fin de establecer los parámetros geotécnicos del suelo midiendo el esfuerzo cortante y resistencia a la penetración y tener un punto de referencia en cuanto a la calidad del mismo. En la tabla 8 se resumen los resultados obtenidos para cada apique realizado y la figura 12 se muestran los ensayos realizados en laboratorio por la empresa consultora Tec Ingeniería S.A.S.



Figura 12. Ensayos de laboratorio
Fuente: Estudio técnico Tec Ingeniería

Tabla 8.

Resumen de los ensayos de laboratorio

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO										
APIQUE	LOCALIZACIÓN	PROFUNDIDAD		INDICE DE CONSISTENCIA				SUCS	ENSAYOS	
No	UBICACIÓN	INICIAL	FINAL	LL	LP	IP	W _n	SUELOS	CBR%	PDC/CBR
1	MZ-A-C-1	0.0 m	0,50 m	42,3	26,2	16,1	33,2	ML	2,1%	
			1,50 m							2,8%
2	MZ-E-C-1	0.0 m	0,50 m	NL	NP	0	21,3	SM	2,4%	
			1,50m							2,9%
3	MZ-H-C-3	0.0 m	0,50 m	NL	NP	0	21,6	SM	2,5%	
			1,50 m							2,7%
4	MZ-B-C-2	0.0 m	0,50 m	42,2	29	13,1	32,3	ML	2,2%	
			1,50 m							2,6%

Fuente: Estudio técnico Tec Ingeniería

La vía presenta en todo el sector objeto de estudio, un suelo caracterizado por la presencia de materiales limo arcillosos y arenas limosas (ML-SM), de acuerdo a la clasificación SUCS de consistencia baja. El análisis de la subrasante natural muestra que los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante en una profundidad no menor de 1.50 m tienen un CBR entre 2.7% y 2.9%, para el caso de proyectos viales, los suelos deberán ser adecuados y estables con un CBR ≥ 5 % y en el caso de suelos por debajo de estos valores, se considerarán inadecuados, para lo cual deberá procederse a estabilizar o remplazar, según un análisis a la naturaleza del suelo.

6.1.2 Grosos de capa para estructura de adoquinamiento

A partir del diseño de adoquinamiento que se realizó basado en el estudio de suelos se encontró que los parámetros geotécnicos de los suelos representan una capacidad portante baja e insuficiente para el apoyo de la estructura de adoquín o cualquier pavimento rígido o flexible y dado esas condiciones recomienda conformar una capa mejorada de 40cm de espesor, una capa de base granular de 15cm y la arena y el adoquín restantes, lo cual se representa en la figura 13 y se evidencia en la figura 14, respectivamente:

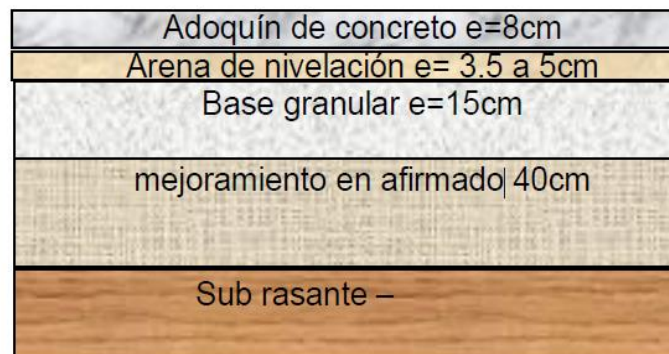


Figura 13. Estructura de adoquín
Fuente: Elaboración Propia



Figura 14. Capa de mejoramiento en afirmado
Fuente: Elaboración Propia

6.1.3 Diseño geométrico.

Una vez finalizado el proceso licitatorio para la contratación del diseño de adoquinamiento de la urbanización, el municipio escogió la mejor propuesta dentro de los oferentes, en este caso la contratación se efectuó con un diseñador especialista en vías, quien realizó un diseño geométrico del sector a intervenir; de igual forma y con base en los estudios de suelos se entregó los grosores de cada capa para la estructura de la vía adoquinada.

Posterior a la revisión del diseño para el adoquinamiento se procedió a calcular las cantidades de obra; este análisis se realizó de la forma más precisa posible, teniendo en cuenta los desperdicios y las irregularidades dentro de las mismas calles.

El perfil frontal y en planta de la vía se detalla en las figuras 15 y 16 respectivamente.

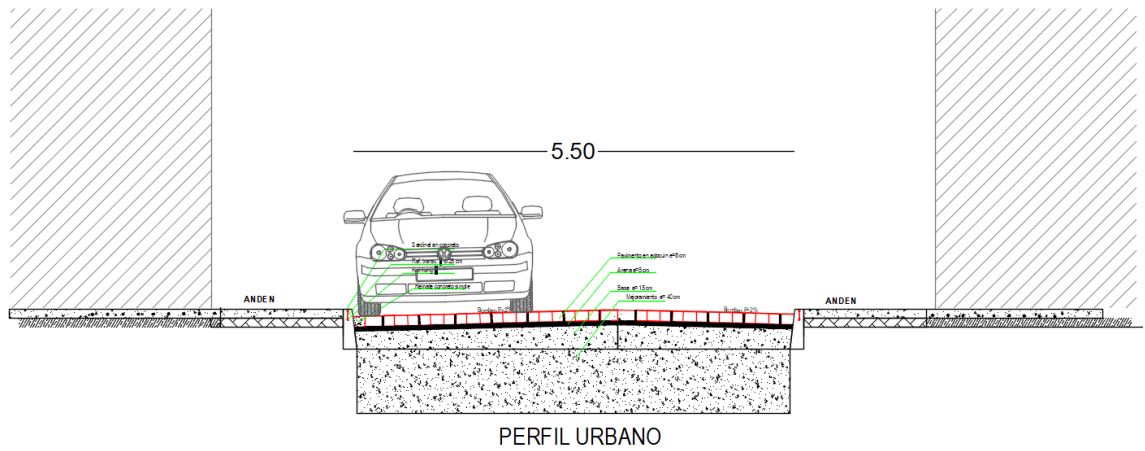


Figura 15. Perfil frontal
 Fuente: Planos diseño estructural adoquinamiento

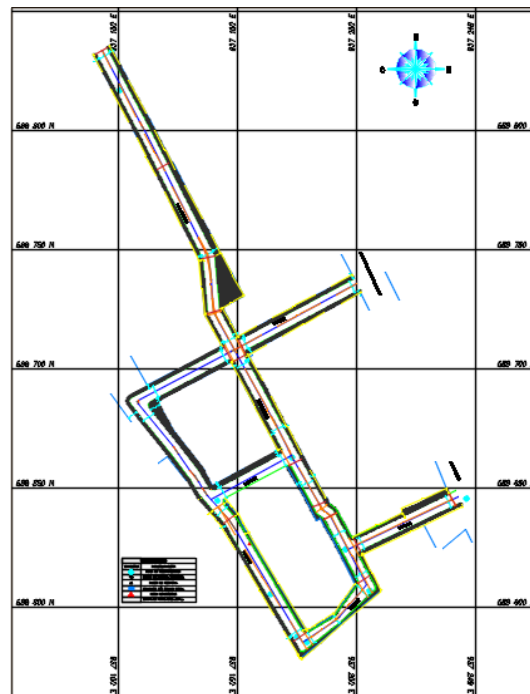


Figura 16. Diseño geométrico Urbanización Villareal
 Fuente: Planos diseño estructural Adoquinamiento

6.2 Cantidades de obra y análisis de precios unitarios (APUS)

Previo a la ejecución de la obra se realizaron distintos análisis con el fin de efectuar una correcta planeación, organización y realización de la obra, como es el estudio de los

planos, visitas de campo y cálculo de cantidades de obra; siendo esta última esencial para la estimación de los costos, la elaboración del presupuesto y el alcance mismo del proyecto.

Una vez obtenidos y revisados los planos constructivos, se realizó el cálculo de áreas y metros lineales requeridos para el adoquín, bordillos en concreto y viguetas de confinamiento, descritos en la tabla 6 denominada cantidades de obra para adoquinamiento, que se establece en la metodología.

Posteriormente al cálculo de las cantidades de obra necesarias, se procedió a realizar los análisis de los precios para cada ítem, y se añadieron las actividades indicadas para la ejecución de la obra.

En la tabla 9, se indican la unidad de cada ítem, la cantidad necesaria para el desarrollo de la obra, el valor unitario de cada actividad y el valor parcial para cada una.

Tabla 9.
Presupuesto de obra

PRESUPUESTO PRELIMINAR DE OBRA					
PROYECTO: PAVIMENTO ARTICULADO DE VIAS, URBANIZACIÓN VILLAREAL			MUNICIPIO DE PUPIALES		
ITEM	DETALLE	UN	CANT.	Valor unitario	Valor parcial
I	PRELIMINARES				
1	Localización y Replanteo Topográfico en vía urbana	M	498,14	\$ 400	\$ 199.256
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
2,1	Excavación mecánica, material común	M^3	291	\$ 14.755	\$ 4.288.393
2,2	Rellenos	M^3	356	\$ 14.000	\$ 4.988.200
2,3	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para Subbase Granular (40cm)	M^3	1.096	\$ 32.980	\$ 36.143.375
2,4	Suministro, extendida y compactación de material seleccionado para base Granular (e=15cm)	M^3	411	\$ 43.974	\$ 18.071.686
2,5	Suministro, extendida y compactación de arena de nivelación (e=4cm)	M^3	110	\$ 54.967	\$ 6.023.895
3,2,3	Recebo para mejoramiento de suelo para andenes	M^3	145	\$ 32.980	\$ 4.776.768
3,2,4	Arena de sellado	M^3	27	\$ 43.974	\$ 1.204.779
3	ESTRUCTURA PAVIMENTO ARTICULADO				
3,1	suministro de adoquín de concreto vehicular e=8cm	M^2	2.740	\$ 48.000	\$ 131.508.960
3,2	Suministro de adoquín de concreto peatonal	M^2	1207,0	\$ 36.000	\$ 43.451.496,0

3,3	Instalación de adoquines	M^2	3.947	\$ 15.000	\$ 59.201.340
3,2	BORDILLOS DE CONFINAMIENTO				
3,2,3	Bordillo concreto vaciado in-situ 14 MPa, incluida preparación de superficie de apoyo y refuerzo	ML	996	\$ 32.918	\$ 32.795.423
3,3	Confinamiento transversal				
3,3,1	viguetas de confinamiento incluida instalación	ML	99	\$ 142.333	\$ 14.090.969
PROTOCOLO PARA BIOSEGURIDAD DE TRABAJADORES					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT	Valor unitario	Valor parcial
1	DOCUMENTACIÓN Y PERSONAL PROFESIONAL				
1,1	Diseño de Plan del Protocolo Sanitario para la Obra (PAPSO)	UNIDAD	1	\$ 300.000	\$ 300.000
2	INSUMOS DE LIMPIEZA (ASEO Y DESINFECCIÓN)				
2,1	Jabón líquido antibacterial con dispensador	LITRO	4	\$ 12.000	\$ 48.000
2,2	Alcohol gliserinado por 1000 aplicaciones	UNIDAD	4	\$ 20.000	\$ 80.000
3	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL				
3,1	Gafas plásticas de protección - seguridad	UNIDAD	6	\$ 12.000	\$ 72.000
3,2	Tapabocas lavables	UNIDAD	12	\$ 10.000	\$ 120.000
3,3	Careta plástica	UNIDAD	6	\$ 15.000	\$ 90.000
COSTO TOTAL DEL PROYECTO					\$357.454.540

Fuente: Elaboración propia

El total estimado para la obra se calculó en \$357.454.540 millones de pesos, y se proyectó un tiempo estimado de 4 meses, considerando condiciones atmosféricas favorables.

6.3 Apoyo a labores de residencia en el adoquinamiento.

6.3.1 Replanteo del proyecto.

El replanteo del proyecto se realizó mediante un equipo topográfico, encontrando el eje de la calzada y proyectando los niveles de la rasante de diseño a estacas a cada lado de la vía. Además, se estableció el ancho real de la calzada y se informó a los propietarios de lotes que estaban invadiendo el espacio público destinado para la vía y los andenes.

Este proceso fue indispensable para tener las referencias necesarias de los anchos, las alturas, longitudes y desniveles que se establecieron en los planos constructivos, cada 10 m se realizó la toma de los niveles y la localización del eje.

Para cada tramo de 10 m se verificó los niveles y se demarcaron para la posterior excavación del material, como se indica en la figura 17 adjunta a continuación:



Figura 17. Toma de niveles y topografía
Fuente: Elaboración propia

6.4 Excavaciones.

6.4.1 Escarificación.

Una vez marcados los niveles para tramos de 10 m y teniendo la localización del eje se procedió a efectuar las excavaciones de acuerdo con los planos y diseño del adoquín, se empieza por el tramo 1 con una longitud de 50 m, calle D.

La primera actividad correspondiente a la escarificación de la vía existente, se realizó con la motoniveladora con el fin de remover el material de mejoramiento que se encontraba en la superficie y que fue instalado y conformado meses atrás, depositando este en un sitio predispuesto como lugar de acopio para el material acarreado producto de las excavaciones realizadas en la obra vial. La motoniveladora a través de los rippers o dientes

escarificadores, realizó la penetración y rompimiento del suelo. En la figura 18 se presenta el proceso de escarificación:



Figura 18. Escarificación
Fuente: Elaboración propia

La recolección del material producto de la escarificación se almacenó con la cuchara de la retroexcavadora y se dispuso en una volqueta tipo doble troque como se muestra en la figura 19, para finalmente transportar el material al depósito definido y autorizado con anterioridad. Igualmente se realizó excavaciones a mano con obreros en puntos más críticos como son las zonas con postes de energía o acometidas de agua, proceso indicado en la figura 20.



Figura 19. Acarreo de material de escarificación
Fuente: Elaboración propia



Figura 20. Excavación a mano
Fuente: Elaboración propia

6.4.2 Excavación a profundidad de diseño

Una vez realizada la escarificación y limpieza del tramo que se intervino se procedió a realizar las excavaciones a los niveles deseados en los planos constructivos, en el caso de la calle D se tiene los cortes que se observan en la tabla 10 y se busca llegar al perfil que se establece en la figura 21.

Tabla 10.
Volúmenes de cortes y relleno

TABLA DE VOLUMEN TOTAL							
PROGRESIVA	AREA RELLENO	AREA CORTE	VOLUMEN RELLENO	VOLUMEN CORTE	VOL ACUMULABLE RELLENO	VOL ACUMULABLE CORTE	VOLUMEN NETO
0+010,0	0,19	0,36	0	0	0	0	0
0+020,0	0,16	0,28	1,75	3,2	1,75	3,2	1,44
0+030,0	0,08	0,25	1,24	2,65	3	5,85	2,85
0+040,0	0,02	1,05	0,54	6,48	3,54	12,33	8,79
0+050,0	0,22	0,84	1,23	9,43	4,77	21,76	16,99

Fuente: Planos diseño estructural Adoquinamiento

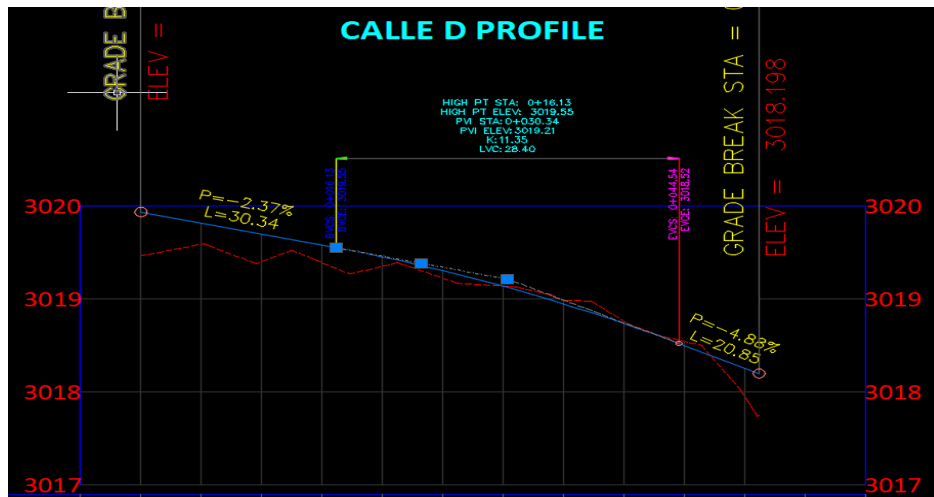


Figura 21. Perfil calle D

Fuente: Planos diseño estructural Adoquinamiento

Para el proceso de excavación en la calle D se establecieron 5 abscisas cada 10 metros, en la abscisa 0 + 010 km el diseño de adoquín estableció un volumen de relleno de

0 m³ y 0 m³ de corte y para el último tramo en la abscisa 0+050 se debe realizar un relleno de 1.23 m³ y un volumen de corte de 9.43 m³, en total para este tramo se requiere realizar el corte 21.76 m³ y un relleno de 4.77 m³. Se debe tener en cuenta que al nivel de la rasante de diseño se debe bajar entre 68 a 70 cm para la instalación de las capas de afirmado, base granular, arena de nivelación y el adoquín. Este proceso se llevó a cabo con la hoja de corte de la motoniveladora para retirar una gran cantidad de material en longitudes más largas y con ayuda de la retroexcavadora para la recolección del material en la volqueta, procesos que se indican en las figuras 22 y 23, mostradas a continuación:



Figura 22. Excavación
Fuente: Elaboración Propia



Figura 23. Recolección de material
Fuente: elaboración Propia

6.4.3 Capa de afirmado

El diseño del adoquinamiento establece una capa de material afirmado de 40 cm. Una vez realizadas las excavaciones a 70 cm de la rasante de diseño, se procede a controlar y dirigir el suministro, transporte y conformación de esta capa de apoyo estructural para el adoquín. Para esta tarea se dispone de una volqueta dobletroque y una sencilla que acarrear

el material desde la mina a 4 km de distancia y se riega en la obra en ejecución; estos procesos se muestran en las figuras 24 y 25 respectivamente:



Figura 24. Mina de material de afirmado
Fuente: Elaboración propia



Figura 25. Riego de material
Fuente: Elaboración propia

Para cada volqueta de material afirmado suministrado desde la mina se realizó una revisión visual adecuada verificando que se cumplió con las especificaciones adecuadas de calidad y tamaños de rocas según los requerimientos del proyecto. Una vez aceptado el material se observó que la subrasante donde se dispondrá y conformará el material se encontraba en buenas condiciones y con los niveles adecuados. El material se dispuso de la forma más homogénea posible, de manera que se hizo un hilo de material a lo largo del tramo, una vez regado todo el afirmado se verificó la humedad del mismo con el fin de determinar si es necesario la aplicación de agua o por el contrario se debía extenderlo para secarlo.

Una vez conformada la capa de material afirmado mediante la motoniveladora, se procedió a compactar el material de forma homogénea, utilizando el vibro compactador desde las franjas exteriores y acercándose al centro de forma longitudinal. Este proceso se efectuó hasta obtener una capa firme y sellada, que impidió la mayor filtración de agua posible, tal como se adjunta en la figura 26.



Figura 26. Compactación de vía
Fuente: Elaboración propia

6.4.4 Conformación de capa base y cereo.

Una vez realizadas las excavaciones preliminares y la etapa de la conformación de la capa de afirmado de 40 cm, se procedió a realizar la colocación de la capa de base granular de un grosor de 15 cm, para esto, se inició el proceso de cereo en el cual se terminan las excavaciones hasta llegar a las cotas de diseño indicadas en los planos o definidas por el equipo topográfico.

Se seleccionó con el proveedor el material adecuado para el estrato de acuerdo a los criterios de las normas establecidas por el instituto nacional de vías (INVIAS) en el artículo INV. 320-13, el transporte del material se realizó desde la misma mina que suministró el afirmado, para ello se utilizaron volquetas doble troque en viajes constantes que acopiaron el material en el sitio adecuado para su disposición. Además, se efectuó un análisis visual y de tacto del material para determinar de manera rápida los niveles de humedad y en caso de ser excesivos se procedió a realizar la aireación del mismo hasta que este obtuvo un nivel de agua adecuado para poder conformar la capa. La maquinaria seleccionada para este proceso fue la motoniveladora, cuya cuchilla y rango de giro logra extender el material y conformar el estrato siguiendo las medidas establecidas por las estacas de nivel previamente

dispuestas y medidas por el equipo topográfico, esto con el fin de llegar a las cotas, pendientes y bombeos requeridos por el proyecto.

Una vez conformada la capa de 40 cm de acuerdo a las cotas de diseño, se procedió a la compactación de la misma mediante el vibro-compactador de cilindro o rodillo, de manera longitudinal, pasando por una franja lateral de la vía y luego la siguiente franja, hasta obtener una superficie adecuada para el adoquín. Posteriormente se realizó una inspección visual de la vía para determinar que no existan fallos por humedad, baches, agrietamientos o contaminación del material y así mismo el resultado sea una superficie uniforme y con las dimensiones adecuadas, se verifico igualmente que el agregado grueso existente en el material estaba confinado firmemente en el suelo compactado, como se indica en la siguiente figura:



Figura 27. Conformación de capa base
Fuente: Elaboración propia

6.5 Construcción de bordillos

Una vez terminada la capa de base granular de acuerdo a los niveles de diseño y los bombeos requeridos, se inició con la construcción de los bordillos de confinamiento, estas estructuras son las encargadas de limitar el movimiento de los adoquines al confinarlos a lo largo de la vía. Estos se construyeron en forma trapezoidal con una cara recta, la parte

superior de 12 cm, la base de 18 cm y una altura de 40 cm, el refuerzo seleccionado fue de 2 varillas de 11 mm con flejes de 3/8 de pulgada cada 25 cm, como se indica en la figura 28.

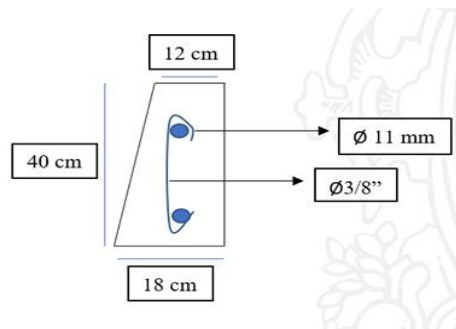


Figura 28. Diseño de bordillo
Fuente: Elaboración propia

Se inició con la instalación de las formaletas a cada lado de la vía, proceso que se inició con la previa fabricación de los tableros y la posterior colocación sobre la capa base de la vía, proceso que se muestra en la figura 29.



Figura 29. Formaletas para bordillo
Fuente: Elaboración propia

6.6 Manejo y disposición del adoquín.

El adoquín suministrado fue de dimensiones de 20x20x8 cm y su conformación es de concreto de resistencia de 55 Mpa para bajo nivel vehicular, tal como se indica en la figura 30, adjunta a continuación:

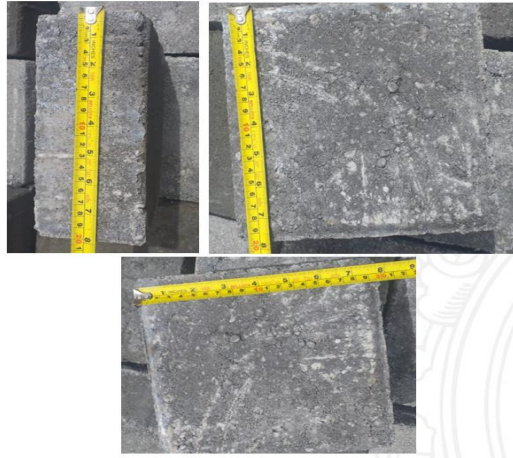


Figura 30. Adoquines en concreto
Fuente: Elaboración propia

El transporte del adoquín se realizó mediante una volqueta sencilla, se estableció un contrato por suministro de material; debido a que en el municipio donde se desarrolló el proyecto no existen fábricas ni manufacturas de materiales constructivos, se debió cubrir el transporte desde la ciudad aledaña de Ipiales, con una longitud de 4Km y el transporte de dos mil adoquines por volqueta, como se indica en la figura 31:



Figura 31. Transporte de adoquines
Fuente: Elaboración propia

La descarga se realizó entre cinco operadores con guantes de carnaza para evitar laceraciones en las manos, la disposición se efectuó sobre un suelo seco, se protegió el material con una manta plástica para evitar su deterioro al estar almacenado y finalmente

se cubrió en su totalidad para evitar al máximo el daño por las condiciones atmosféricas, el proceso se evidencia en la figura 32:



Figura 32. Arrume y Protección del material
Fuente Elaboración propia

6.7 Colocación de adoquines de concreto

Para la colocación de los adoquines en concreto con grosor de 8 cm, se tendió una capa de arena fina de 5 cm de alto que sirvió como sustento al pavimento articulado; seguido de esto, el personal de mano de obra no calificada dispuso manualmente los bloques de tal forma que estos quedaron unidos por juntas no mayores a 2 mm de ancho, se dispuso en forma de traba, es decir, que la junta que une dos adoquines corresponda con la mitad del adoquín inferior y superior. De esta manera y siguiendo el patrón dicho anteriormente se pavimentó sobre la capa de arena y dentro del confinamiento que brindan los bordillos a cada lado de la vía, proceso que se indica en la figura 33:



Figura 33. Colocación de adoquín
Fuente Elaboración propia

Una vez terminada la disposición del adoquín en un sector de 25 metros lineales de vía, se procedió a regar arena fina sobre los adoquines instalados, se compactó con mazos de mano suavemente y con golpes firmes a cada adoquín. A una distancia de 25 m de tramo de vía, se fundieron vigas de confinamiento con medidas rectangulares de 20x15 cm. El refuerzo seleccionado fue de 2 varillas de 11 mm con flejes de 3/8 de pulgada cada 25 cm, como se indica en la figura 34:

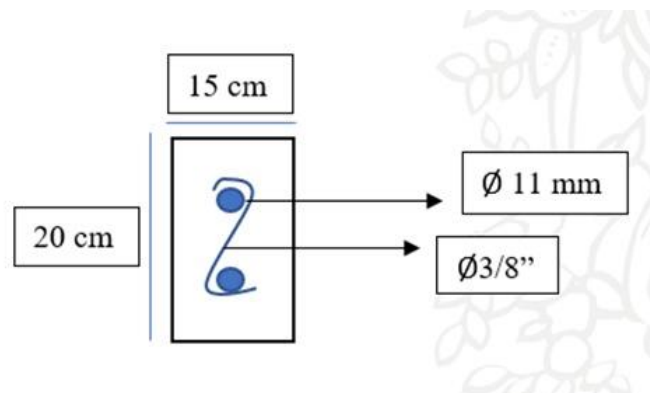


Figura 34. Diseño de vigueta de confinamiento
Fuente Elaboración propia

7 Discusiones

- Actualmente en Colombia las intervenciones de vías con adoquines son procesos que se hacen de manera cada vez más recurrente y de manera más tecnificada; se tienen algunos documentos técnicos específicos para el control de los materiales y algunas recomendaciones asociadas a dichos procesos, pese a ello la normativa no es muy detallada en cuanto a este tipo de obras viales, centrándose más en los sistemas de pavimento flexible y rígido.

Para el desarrollo de este informe se identificaron los lineamientos de acuerdo a las necesidades específicas del proyecto formulado en el municipio de Pupiales y que podrían aplicarse a procesos similares para adecuaciones de vías sin pavimentar o con capas de rodadura que ya hayan cumplido su periodo de uso. En el caso de la urbanización Villareal se optó por adoquines de concreto con resistencias de 55Mpa que fueron suficientes para un tráfico vehicular liviano, siendo la articulación entre bloques fundamental para evitar la rotura por las cargas de las huellas de los vehículos. En cuanto a la subestructura que da sustento al adoquín se encontró que siempre se debe establecer un número de capas que pueden ser dos o tres (de acuerdo a las necesidades del proyecto), con grosores diferentes establecidos por el diseñador estructural con base en los estudios de suelos.

El método constructivo no difirió de los métodos convencionales para pavimentos de flexibles o rígidos siguiendo el proceso que se mostró en los resultados y que se puede resumir de la siguiente manera:

- Movimiento de tierras y cortes
- Formación de la sub-rasante
- Adecuación de la sub-rasante y céreo

- Construcción de estructuras de confinamiento para el adoquín
- Colocación de la capa de rodadura en adoquín

Las ventajas de este tipo de pavimento se ven reflejadas en su economía, la facilidad del manejo de materiales, la no necesidad de mano de obra calificada y la facilidad para el mantenimiento y reparación a futuro.

-En el análisis de los diseños de pavimento con adoquines se encontró que los grosores de las capas de afirmado y sub-base se seleccionaron de acuerdo a los estudios de suelos realizados por una empresa especialista en geotecnia. Se encontró que la capacidad portante del suelo en los tramos a intervenir era baja, inadecuada y no recomendable como capa de apoyo de la estructura sin antes realizar un mejoramiento, para salvar este problema se optó por un mejoramiento con reemplazo de material, que de forma conservadora se estimó en 40cm de espesor y una base de 15 cm, ya que un espesor menor podría conllevar a trabajar en los límites de la mecánica de suelo del tramo homogéneo.

Este proceso fue fundamental para crear una estructura firme que dio sustento a la capa de adoquín, sin embargo se debió analizar a más detalle la influencia de realizar ese tipo de excavaciones en sectores urbanos con estructuras ya presentes, dado que la operación de la maquinaria y los daños a ciertas estructuras generaron retrasos y pérdidas dentro del proyecto; dificultades que se pudieron salvar con la contratación un número mayor de mano de obra no calificada, aumentando los costos del proyecto.

-La decisión de optar por la pavimentación con adoquines de concreto, se da principalmente por las ventajas que presenta con respecto a su bajo costo de mantenimiento en comparación con las estructuras viales de concreto asfáltico o estructuras de pavimento rígido, sus altos índices de servicio, una distribución de esfuerzos en los bloques adecuada,

menor tecnología para su construcción y mano de obra no calificada, por las cuales la administración municipal, encargada de la construcción y mantenimiento de vías, vio más conveniente su aplicabilidad.

-En las visitas de campo a los tramos de vías a intervenir de la urbanización Villareal en el municipio de Pupiales se encontraron distintas problemáticas asociadas al espacio y molestias generadas por la operación de la maquinaria pesada, en tabla 5 se detallan las ubicaciones, fechas y descripciones de cada problemática encontradas de manera previa, sin embargo en el desarrollo de la obra se pudieron entrever dificultades constantes asociadas a las conexiones de agua y gas que llevaron a la generación de retrasos y cambios en la ejecución de la obra, aunado a esto se evidenciaron falencias en la organización urbana del barrio debido a cambios en las alturas de desplante de las viviendas y espacios de ocupación poco claros de algunas casas con voladizos aparentemente excesivos que dificultó la operación de las volquetas al realizar el descargue del material.

-Aun con la identificación previa de algunas dificultades, se encontró durante el desarrollo de la obra que se debió tener en cuenta más variables que pudieran afectar el proyecto, como la lluvia, fechas festivas e imprevistos con la maquinaria, ya que estas llevaron al proyecto a tener un nivel de incertidumbre con respecto a los tiempos de ejecución y de entrega; las condiciones atmosféricas de la época que trajeron fuertes lluvias y el malestar generalizado de la comunidad por las actividades de obra que se debieron suspender, sumaron un cumulo de problemáticas a las que el proyecto se debió enfrentar.

Para este proceso constructivo se encontró de vital importancia la identificación temprana de problemáticas para la modificación adecuada del cronograma y las debidas actividades de obra, los problemas identificados y presentados en la tabla 5, como la

formación de cráteres, cámaras hidrosanitarias superficiales, postes de energía mal ubicados fueron de gran ayuda para una correcta organización y solución a tiempo de cada inconveniente.

8 Conclusiones

- Actualmente, a nivel regional y nacional no se cuenta con información detallada o guías para la pavimentación con adoquines de concreto, fuera de la norma NTC para la selección y clasificación de los mismos, el proceso constructivo no tiene una normativa clara donde se establezcan los pasos o lineamientos específicos para la ejecución de este tipo de proyectos.

-El adoquinamiento es un proceso que en su mayoría de veces se realiza de manera artesanal, con mano de obra no calificada con experiencia en la colocación de adoquines, en el desarrollo de esta práctica académica se encontró que los adoquines son hechos de manera rápida con concretos de resistencia por encima de los 55 MPa, que, en el caso de esta obra vial son suficientes para un nivel de tráfico vehicular liviano y ocasionalmente pesado que se presenta en la urbanización.

- Al realizar la pavimentación con adoquines de concreto en la urbanización Villareal se logró aumentar la seguridad vial al eliminar por completo los baches, irregularidades y desniveles que se presentaban en la vía sin pavimentar, se brindó comodidad a los usuarios al momento de transitar con sus vehículos, se dio un mejor flujo y control a la esorrentía, e igualmente se generaron mejores escenarios para el desarrollo económico y social del municipio.

- Se evidenció la existencia de sectores en expansión urbana con nuevas urbanizaciones que presenta vías sin pavimentar o en regular estado, y que por lo tanto se

podría replicar el mismo proyecto de mejoramiento mediante pavimento articulado para el beneficio de la comunidad, reflejada en una mejor imagen, generación de empleo, equipamiento urbano y seguridad.

- Se pudo establecer que la alternativa de solución fue consistente con el objetivo de incrementar la red vial, se ajustó a la realidad financiera del municipio y se proyecta en el futuro hacia una sostenibilidad comercial y económica.

- En el municipio se evidencia una creciente demanda de vías y si bien es cierto que el flujo vehicular es bajo en las vías sin pavimentar se debe entender como una necesidad la intervención de estas vías con estructuras de pavimento articulado para crear opciones de movilidad en el municipio.

- Con la materialización del proyecto de adoquinamiento, se beneficiaron de manera directa e indirecta las familias y habitantes del casco urbano, rural y la población flotante, puesto que la congestión vehicular se reduce considerablemente al crear vías alternas de tráfico liviano de visitantes y de residentes de la ciudad, mejorando la movilidad, comodidad, aspectos ambientales y principalmente la seguridad del peatón y del conductor.

- La inversión asignada para la ejecución de la obra de adoquinamiento es menor frente a otros métodos de pavimentación, siendo los servicios y comodidad de las vías equiparables e igualmente los beneficios fueron satisfactorios para la comunidad.

- Las capas de estructura del pavimento que se realizaron con un mejoramiento de 40 cm y la base granular de 15 cm resultaron en una estructura sólida, con alta resistencia y alta confortabilidad al momento de transitar, sin embargo en el proceso de ejecución de excavación y extendido se evidenciaron problemáticas asociadas a rompimiento de tuberías de agua existentes y de gas domiciliario que no se encontraban a una profundidad adecuada,

esto no fue previsto en el momento de la formulación del proyecto, hecho que generó sobrecostos y retrasos en la obra, se puede establecer la importancia de proveer la localización las subestructuras existentes para proyectos viales urbanos ya que una temprana planeación de estos procesos puede evitar problemas y sobrecostos.

- Se evidenció que, antes de la obra de adoquinamiento, el estado de la red vial sin pavimentar era deficiente y los conductores tenían que reducir drásticamente la velocidad de operación, siendo necesario realizar maniobras para evitar caer en baches, discontinuidades de la capa de rodadura o encharcamientos. Así, con menores velocidades a una marcha de revoluciones al motor más altas, resultaba en un incremento en el consumo de combustibles. El adoquinamiento resultó en un mejoramiento de consumo y desgaste de los vehículos, ya que estos no sufren sobreesfuerzos en sus partes mecánicas, principalmente en el sistema de amortiguación y suspensión que se producían por la capa de rodadura en mal estado.

9 Referencias bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Pupiales. (2020). *Plan de Desarrollo Territorial "Pupiales el compromiso es contigo 2020-2023"*. Pupiales.
- Alemán, F., & Cantos, S. (2016). "Evaluación del diseño de pavimentos con adoquines de concreto en las parroquias pertenecientes a la administración zonal Quitumbe en el sur de Quito. Casos de estudio: Calles pertenecientes a las parroquias Chillogallo y La Ecuatoriana. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Obtenido de: [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13454/Tesis%20Alem% c3 %a1n-Cantos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13454/Tesis%20Alem%c3%a1n-Cantos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arboleda, L. (2019). *Metodología para la reducción de desperdicio de adoquines, concreto y base granular en el proyecto de mejoramiento de las transversales inferior y superior*. Medellín: Universidad de Antioquia. Obtenido de [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15282/1/ArboledaLuis_2019 _DesperdicioAdoquinesConcreto.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15282/1/ArboledaLuis_2019_DesperdicioAdoquinesConcreto.pdf)
- Aristizabal Gil, V. (2005). *Adoquines de arcilla resisencia a compresión y flexión, otros aspectos relacionados con la durabilidad*. Medellín: Instituto de Desarrollo Urbano IDU.
- Das, B. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Cuarta ed.). México D.F: CENGAGE learning.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2018). *Censo Nacional de Población y Vivienda*. Bogotá.
- Eaton, R. A. (1992). *Unsurfaced Road Maintenance Management* (Vol. 92, No. 26). US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory.
- EPM. (2017). *NORMA DE CONSTRUCCIÓN SUB -BASE Y BASE PARA PAVIMENTO*. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de [https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/NC_MN_OC05_02_Subbase_y_base_para_pavimento_compressed.pdf?ver=mhw-jVbN30XcQeGpgCpfyA% 3D%3D](https://cu.epm.com.co/Portals/proveedores_y_contratistas/proveedores-y-contratistas/normas-tecnicas/NC_MN_OC05_02_Subbase_y_base_para_pavimento_compressed.pdf?ver=mhw-jVbN30XcQeGpgCpfyA%3D%3D)
- Grisales, J. C. (2015). *Diseño geométrico de carreteras*. Ecoe ediciones.
- Hernández, Y. (2018). *Pavimento de adoquines de concreto una solución ambiental en la construcción de la infraestructura vial colombiana*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

- ICONTEC. (2013). *NTC 6008 Terminología y clasificación para adoquines y losetas de concreto*. Bogotá: ICONTEC.
- INVIAS. (2013). *Normas de ensayo de materiales, INV E 169 RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL TERRENO(CBR "IN SITU")*. Bogotá: INVIAS.
- INVIAS. (2013). *Normas de ensayo de materiales, INV E 172 USO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO EN APLICACIONES DE PAVIMENTOS A POCA PROFUNDIDAD*. Bogotá: INVIAS.
- INVIAS. (2016). *Clasificación de las carreteras*. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://www.invias.gov.co/index.php/red-vial-nacional/2-uncategorised/2706-clasificacion-de-las-carreteras>
- Londoño, J. F. A. (2006). Adoquines de concreto: Propiedades físico-mecánicas y sus correlaciones. *TecnoLógicas*, (16), 121-137.
- Ministerio de Transporte. (13 de Septiembre de 2002). *Código Nacional de Tránsito Ley 769 DE 2002*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2021, de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0769_2002.html
- Ospina, J. J. A. (2002). *Diseño geométrico de vías. Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Vías y Transporte, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Medellín*.
- Salamanca, M., & Zuluaga, S. (2014). *Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos INVIAS, AASHTO 93 e Instituto del Asfalto para la vía La Ye-Santa Lucía Barranca Lebrija entre las abscisas K19+ 250 A K25+ 750 ubicada en el departamento del Cesar*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- TEC INGENIERIA. (2021). *Evaluación geotécnica de la subrasante- Adoquinamiento Vias Urbanización Villareal*. Pupiales.
- Unilock. (2018). *Guía técnica avanzada adoquines de concreto y muros de contención*. Hengestone Holdings, Inc.