

**PROYECTO DE APLICACIÓN A LA INGENIERÍA CIVIL
ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL
BARRIO VILLAS DEL ALCARAVÁN - VILLAVICENCIO**



Por:
Danna Maritza Gómez Mosquera
Edier López Mora



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

**PROYECTO DE APLICACIÓN A LA INGENIERÍA CIVIL
ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO DEL
BARRIO VILLAS DEL ALCARAVÁN - VILLAVICENCIO**



Por:
Danna Maritza Gómez Mosquera
Edier López Mora

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional
de ingeniero civil

Aprobado por:
I.C. Jessica Ramírez Cuello, MSc.
Director

I.I. Juan Pablo Zuluaga Huertas, Mg.
Codirector

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.
Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.
Vicerrector Académico General

Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.
Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.
Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón
Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón
Decano Facultad de Ingeniería Civil

Nota de aceptación

ING. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN
Decano Facultad Ingeniería Civil

Jessica Ramírez Cuello, MSc
Director Trabajo de Grado

Villavicencio, 07 de Enero de 2020

DEDICATORIA

A mis padres, Ivan y Marleny; a mis hermanas, Fay y Fer; al resto de mi familia y todos mis allegados, a Conchita y Henry, a ellos les dedico mi trabajo de grado por haber sido el apoyo sin condiciones y por haberme dado la fuerza necesaria para cumplir este sueño y culminar con éxito esta etapa de la vida que ha aportado mucho en mi formación personal y profesional. En igual forma debo rendir tributo a mi universidad y al grupo de docentes que me condujeron por ese sendero y finalmente a Dios quien ha estado detrás, guiando, a todos a quienes he mencionado.

Danna

Primero que todo agradezco a mi padre Diógenes y mi tía Luz Myrian por ser partícipes de esta etapa, a mi madre por darme ese apoyo incondicional a mi prima Milena mis hermanas Natalia y Yulie por siempre estar conmigo, a Marcos por estar desde el primer momento en este objetivo, agradezco también a mi familia López y Mora por cada enseñanza dada.

Agradezco enormemente a Dayana Cubillos por ser esa persona que estuvo dándome su apoyo y acompañando en cada objetivo logrado, a mis compañeros Felipe Hernández y Natalia Cruz por hacer que este camino sea más corto, a mi amigo de lucha Andrés Avirama por todas esas traspasadas.

Quiero rendir un agradecimiento enorme a mi directora Jessica María Ramírez y codirector Juan Pablo Zuluaga por la dedicación dada en toda esta etapa y creer en este proyecto.

*también a cada una de esas personas que fueron partícipes en esta etapa.
¡GRACIAS TOTALES!*

Edier López Mora

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos infinitamente, primero que todo a nuestra Universidad y también a su grupo de docentes, quienes transmitieron el conocimiento necesario desde cada una de sus áreas para la aplicación de la metodología a seguir en nuestro trabajo de grado, a nuestra directora Jessica María Ramírez y codirector Juan Pablo Zuluaga por cada momento que con el debido esmero y paciencia dedicaron al desarrollo y perfeccionamiento del documento final. Agradecemos también a Dios por guiar cada uno de nuestros pasos para encontrar el camino que han permitido concluir con nuestro objetivo.

RESUMEN

La calidad de vida de los habitantes del Barrio Villas del Alcaraván de Villavicencio se ve afectada por la falta de acondicionamiento y/o mejoramiento de las vías existentes.

Por lo anterior, nace la necesidad de realizar el diseño de los corredores viales y así satisfacer en gran medida las carencias y problemáticas presentes en la comunidad. Conduciendo a promover el goce y disfrute del espacio público, acrecentando la calidad de vida de los habitantes del sector.

En el documento se hace entrega de alternativas de diseño de la estructura del pavimento rígido mediante el empleo de la metodología *portland cement asociation* (PCA), definiendo espesores y materiales de las capas que los conforman.

Palabras Clave: Calidad de vida, diseño, estructura de pavimento, metodología PCA, pavimento rígido.

ABSTRACT

Nowadays, the community of Villas del Alcaraván neighborhood at Villavicencio-Meta has been affected by the lack of maintenance and/or upgrading of their current roads.

This highlights the need to carry out the design of a road network to improve the traffic in the neighborhood. This design will transform the urban environment for the benefit of the use of public space by the neighbors, leveraging the quality of life of the inhabitants.

Several alternative design proposals are presented in this document for the construction of a road network with rigid pavement, using the methodology established by the Portland Cement Association (PCA), defining the thicknesses and materials used in the different layers of the road.

Key Word: Pavement structure, quality of life, PCA methodology, rigid pavement.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	13
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
3.	JUSTIFICACIÓN	15
4.	OBJETIVOS	16
4.1.	OBJETIVO GENERAL	16
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
5.	ALCANCE	17
6.	MARCO DE REFERENCIA	18
6.1.	MARCO TEÓRICO	18
6.1.1.	Método de la portland cement association (PCA)	18
6.1.2.	Factores de diseño:	19
6.2.	MARCO CONCEPTUAL	25
6.2.1.	Pavimento	25
6.2.2.	Pavimento Rígido (PR)	25
6.2.3.	Tránsito	26
6.2.4.	Determinación del tránsito existente	26
6.2.5.	CBR de diseño	27
6.2.6.	Módulo resiliente	27
6.2.7.	Determinación contenida de humedad	27
6.2.8.	Análisis granulométrico	28
6.2.9.	Determinación del límite plástico	28
6.2.10.	Determinación del límite líquido de los suelos	28
6.2.11.	Ensayo de compactación	28
6.3.	ESTADO DEL ARTE	28
6.4.	MARCO NORMATIVO	30
6.5.	MARCO GEOGRÁFICO	31
7.	METODOLOGÍA	32
7.1.	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS	32
7.1.1.	Etapas 1 análisis previo	32
7.1.2.	Etapas 2 estudios y análisis del entorno	34
7.1.2.1.	Estudio de tránsito	34
7.1.2.2.	Análisis del clima	37

7.1.2.3. Estudio de suelos	38
7.1.2.4. Estudio socio - económico	43
7.1.3. Etapa 3 diseños de la estructura de pavimento rígido	52
7.1.3.1. Determinación de número de ejes	52
7.2. SECTORIZACIÓN	55
7.2.1. MÓDULO DE REACCIÓN COMPUESTO	55
7.3. DISEÑO DE ESPESORES DE LOSA – METODOLOGÍA PCA	56
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	60
9. RESULTADOS E IMPACTOS	61
10. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	64
10.1. CONCLUSIONES	64
10.2. TRABAJOS FUTUROS	65
11. BIBLIOGRAFÍA	66
12. ANEXO 1 AFORO VEHICULAR	67
13. ANEXO 2 ANÁLISIS DE CLIMA	68
14. ANEXO 3 ESTUDIO DE SUELOS	69
15. ANEXO 4 ESTUDIO SOCIO-ECONÓMICO	70

LISTA DE TABLAS

Tabla 6.1 Valores de K de una losa apoyada sobre capa granular	20
Tabla 6.2 Valores de K de una losa apoyada sobre capa estabilizada con cemento hidráulico	20
Tabla 6.3 Estimación del factor carril k_2	21
Tabla 6.4 Estimación de k_3 para la proyección de tráfico	21
Tabla 6.5 Esfuerzo equivalente en MPa (losas sin confinamiento lateral) – eje simple/eje tandem	22
Tabla 6.6 Esfuerzo equivalente en MPa (losas con confinamiento lateral) – eje simple/eje tandem	23
Tabla 7.1. Descripción general de las vías del Barrio Villas de Alcaraván	33
Tabla 7.2 Resumen aforo vehicular	34
Tabla 7.3 Estudio de suelos	41
Tabla 7.4 Cargas por Eje de acuerdo con los máximos autorizados por el Ministerio de Transporte (t)	52
Tabla 7.5 Espectros de carga	54
Tabla 7.6 Numero de ejes equivalentes de 8.2 ton	54
Tabla 7.7 Sectores de diseño	55
Tabla 7.8 Modulo de reacción y K combinado sector 1	55
Tabla 7.9 Modulo de reacción y K combinado sector 2	56
Tabla 7.10 Espesor calculado estructura convencional subbase granular – Alternativa 1	57
Tabla 7.11 Espesor calculado estructura convencional subbase tratada con cemento – Alternativa 2	57
Tabla 8.1 Especificaciones losa de pavimento alternativa 1	57
Tabla 8.2 Dimensión recomendada de los pasadores, dovelas o barras de transferencia	58
Tabla 8.3 Dimensión recomendada de la barra de anclaje. H, L y S son el espesor de la losa, la longitud de la barra y la separación entre barras respectivamente ..	58
Tabla 8.4 Dimensiones barras de transferencia	59
Tabla 8.5 Dimensiones Barras de amarre	59
Tabla 9.1. Sección de resultados	61
Tabla 9.2. Impactos	62

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 6.1 Cálculo del número de ejes admisibles para el análisis de fatiga por carga	24
Ilustración 6.2 Clasificación de los vehículos en Colombia	26
Ilustración 6.3 Ubicación geográfica Villavicencio	31
Ilustración 6.4 Ubicación geográfica Villas del Alcaraván.....	31
Ilustración 7.1. Metodología del Proyecto.....	32
Ilustración 7.2 Composición vehicular	35
Ilustración 7.3 Diligenciamiento formato de estudio de transito.....	35
Ilustración 7.4 Transporte publico registrado en el aforo vehicular.....	36
Ilustración 7.5 Precipitaciones máximas mensuales	37
Ilustración 7.6 Localización general de los Apiques	38
Ilustración 7.7 Estudio de suelos.....	39
Ilustración 7.8 Ensayo de laboratorio, granulometría y límites de atterberg	40
Ilustración 7.9 Apique #1	42
Ilustración 7.10 Apique #2	42
Ilustración 7.11 Apique #3.....	42
Ilustración 7.12 Género de las personas encuestadas.....	43
Ilustración 7.13 Edad de las personas encuestadas	44
Ilustración 7.14 Uso dado a los inmuebles	44
Ilustración 7.15 Tenencia de los inmuebles.....	45
Ilustración 7.16 Tiempo de habitabilidad de las viviendas.....	45
Ilustración 7.17 Precio estimado de las viviendas	46
Ilustración 7.18 Precio a cancelar por concepto de arrendamiento de las viviendas	46
Ilustración 7.19 Servicios públicos con los que cuentan las viviendas	47
Ilustración 7.20 Número de personas que habitan las viviendas.....	48
Ilustración 7.21 Estado de las vías del barrio Villas del Alcaraván	48
Ilustración 7.22 Incidencia de las condiciones climáticas sobre el estado actual de las vías del barrio Villas del Alcaraván	49
Ilustración 7.23 Impactos del estado de las vías del barrio Villas del Alcaraván sobre la comunidad.....	49
Ilustración 7.24 Beneficios de la construcción de las vías del barrio Villas del Alcaraván	50
Ilustración 7.25 Impacto en las condiciones económicas a partir de la construcción de las vías del barrio Villas del Alcaraván	50

1. INTRODUCCIÓN

Las vías vehiculares constituyen un factor importante para el desarrollo social y económico, por ello, es de vital importancia garantizar a través de las diferentes obras públicas, la adecuación y mejoramiento respectivo, para que los habitantes de los diferentes núcleos urbanos cuenten con mejor calidad de vida.

El barrio Villas de Alcaraván cuenta con 135 lotes que suman 10.210,68 m², distribuidos en 15 manzanas y 2 lotes remanentes, que, de acuerdo a sus medidas y localización, no cuentan con las disposiciones excepcionales del tratamiento de mejoramiento integral según el Decreto 157 de 2017. Las vías que tiene el barrio son las siguientes: carrera 2A, 3, 3A este, Calle 18A, 18B, 18E, 19 y 20, vías que, por consiguiente, se encuentran en muy mal estado, afectando directamente a toda la comunidad de este sector.

Por lo anterior, en el presente documento se desarrollará el proyecto de estudios y diseños para la construcción de un pavimento urbano, ajustando estos a las especificaciones y normativas en uso de vías urbanas y sus complementos dados en el plan de ordenamiento territorial (POT) de Villavicencio, realizándose con estudios en geotecnia, levantamiento topográfico e ingeniería en pavimentos. Este diseño se realizará con el fin de garantizar una función óptima de la estructura la cual tiene que ser segura, cómoda y económica.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El Barrio Villas del Alcaraván, cuenta con 135 predios, organizados en 15 manzanas, el cual presenta problemas de acceso vehicular y peatonal producto de la falta de acondicionamiento y/o mejoramiento de las vías existentes. Esta situación genera afectaciones derivadas de los cambios climáticos, disminuyendo la calidad de vida de las personas e incrementando la tasa de accidentalidad, tiempos de desplazamiento y riesgo de contraer infecciones o afectaciones por vía respiratoria y auditiva.

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La ejecución del proyecto proporciona a la comunidad del barrio Villas del Alcaraván del municipio de Villavicencio los estudios y diseños requeridos por parte de las entidades gubernamentales para realizar el proceso de construcción de las vías y andenes y, de esta forma, proporcionar aspectos sociales con el propósito de mejorar las condiciones de la comunidad, generando un impacto positivo en el desarrollo social y económico en los habitantes del sector.

Villavicencio, capital del departamento del Meta, actualmente cuenta con una población de 516.802 habitantes, de los cuales 492.709 residen en zona urbana, según los resultados y proyecciones realizados por el departamento administrativo nacional de estadística (DANE) en el 2005. [1] Con el paso del tiempo el porcentaje de población urbana del municipio presenta un incremento, así como, un impacto en la disminución de habitantes en la zona rural; esta tendencia continuará, dadas las condiciones de desarrollo poblacional que se han presentado. Sin embargo, la escasez de recursos obliga a los ciudadanos a realizar construcciones en espacios deshabitados, constituyendo asentamientos informales.

La resolución No. 1000-56-11/037, legaliza urbanísticamente el asentamiento humano Villas del Alcaraván en el municipio de Villavicencio, el cual cuenta con registro inicial de ocupación que data del año 2004, como producto de una propuesta urbanística inconclusa de centran nacional providencia (CENAPROV), dicha resolución fue expedida el 13 de marzo del 2018. [2]

La implicación que se da a causa de la mejora de las zonas de circulación peatonal y vehicular, así como, el impacto que brinda esto en la comunidad a causa de los diseños de estas zonas, promueve el siguiente interrogante:

¿Qué impacto genera la propuesta de diseño de una estructura de pavimento rígido en el barrio Villas del Alcaraván?

3. JUSTIFICACIÓN

La construcción de la red vial en el barrio Villas del Alcaraván puede satisfacer en gran medida las necesidades y problemáticas presentes en la comunidad. Conduciendo a promover el goce y disfrute del espacio público, acrecentando la calidad de vida de los habitantes del sector debido a la disminución de los tiempos de desplazamiento, deterioro de los vehículos, erradicación de los focos de vectores, acceso fácil a transporte de materiales e insumos, a zonas de producción y comercialización, mayor competitividad para la economía del barrio, el municipio y la región.

La construcción de senderos peatonales destinados al tránsito y permanencia de peatones otorga un espacio público que los protege del tráfico vehicular, permitiendo el desplazamiento libre, autónomo y seguro. Para la ejecución de este proyecto, y como parte de su primera etapa, se realizará una visita de campo para definir el estado actual de la vía, se hará consulta a diferentes fuentes de información, como: el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) e informes y trabajos realizados en la zona por Secretaria de Planeación Municipal. A partir de la información obtenida se caracterizarán los aspectos más representativos que afectan o intervienen la zona de estudio.

Las deficiencias detectadas en el trabajo de campo realizado, pone en evidencia el deterioro de las vías actuales, las cuales están conformadas por un pavimento en afirmado deteriorado, con presencia de ahuellamiento, degradación y baches que interrumpen el desplazamiento de los diferentes medios de transporte que a diario transitan por esta zona, además no cuentan con una prolongación en obras como andenes, alamedas y demás complementos urbanísticos por lo cual no cumple con la normativa del diseño geométrico de vías del instituto nacional de vías (INVIAS) de bajos volúmenes de tránsito.

4. OBJETIVOS

4.1.OBJETIVO GENERAL

Realizar los estudios y diseño del pavimento rígido por el método PCA del barrio Villas del Alcaraván de Villavicencio Meta.

4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los factores climáticos que afectan la estructura de pavimento.
- Determinar el tránsito de la zona de estudio a través de un conteo vehicular.
- Analizar las diferentes características del suelo existente una vez realizado diferentes apiques en la zona de estudio.
- Calcular el módulo resiliente de la subrasante, a través de una correlación con el *California Bearing Ratio* (CBR).
- Conocer las condiciones socioeconómicas de los habitantes a través de la aplicación de una encuesta.

5. ALCANCE

En el presente proyecto se hará entrega de la alternativa de diseño de la estructura del pavimento rígido mediante el empleo de la metodología *portland cement association* (PCA), definiendo espesores y materiales de las capas que lo conforman.

Para ello se realizarán ensayos de laboratorio a una serie de apiques, para determinar y caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante y el material granular existente, aforos vehiculares para establecer el número de ejes equivalentes que transitan por el carril de diseño y recolección de datos climatológicos y pluviométricos de la estación más cercana a la zona de estudio.

De esta manera se pretende dar una solución a los problemas asociados a la movilidad y ordenamiento del barrio, generando confort y seguridad a los conductores de cualquier tipo de vehículo, peatones y habitantes del barrio.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

Para la realización del proyecto es necesario consultar la literatura en la que se expone el método de diseño y construcción de pavimentos rígidos (PR) permitiendo definir cada una de las etapas y componentes de esta estructura de manera que sea lo más económica y funcional posible cumpliendo con la normativa colombiana para áreas urbanas de bajo tránsito.

6.1.1. Método de la portland cement association (PCA)

El propósito general del método *Portland Cement Association* (PCA) es generar diseños con espesores mínimos que se reflejen en menores costos anuales de construcción y mantenimiento [2]. Si el espesor es mayor de lo necesario, el pavimento prestará un buen servicio con bajos costos de mantenimiento, aunque el costo de inversión inicial será alto. Si el espesor no es el adecuado, los costos prematuros y elevados de mantenimiento e interrupciones en el tráfico sobrepasarán los bajos costos iniciales. Una correcta ingeniería requiere que los diseños de espesores, balanceen apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento [3].

El método PCA fue desarrollado por P. Fordyce y R. Packard para pavimentos de concreto simple, con juntas y sin dovelas.

En los criterios de diseño por medio del método PCA se basa en la experiencia ya adquiridas a través de diferentes ensayos de los cuales se obtuvieron diversos tipos de pavimentos rígidos:

- Pavimento simple: su forma de construcción es sin acero de refuerzo evitando la transferencia de cargas en las juntas. Esta transferencia se obtiene por medio de una trabazón entre los agregados de las caras agrietadas de las losas contiguas, formadas por el aserrado o ranurado de la junta. Se necesita disponer de espacios de corte longitudinal para que la transferencia de carga sea efectiva [2].
- Pavimento simple con varillas de transferencia: estas losas se construyen sin acero de refuerzo; pero sin embargo se disponen varillas lisas (pasadores) en las juntas de construcción, estas tienen la función de transferir las cargas, necesitando también que la separación entre las juntas tenga la menor distancia con esto se puede controlar el agrietamiento en las losas [2].
- Pavimento con refuerzo continuo: este tipo de pavimento utiliza para su construcción la separación superior de las juntas, de acuerdo a esto las juntas producen fisuras transversales las cuales se controlan con el acero de refuerzo las cuales no dejan que estas se abran, obteniendo con esto una transferencia de cargas excelente por medio de ellas [2].

- Pavimento con refuerzo continuo: estos pavimentos son construidos sin juntas de construcción debido al peso y su refuerzo continuo con dirección longitudinal, de acuerdo a este método se desarrollan fisuras transversales en el pavimento con intervalos muy cortos. Por medio de los refuerzos se obtiene un nivel alto de transferencia de cargas en las caras de las fisuras [4].

En las consideraciones básicas de diseño que brinda el método PCA:

1. El efecto de diseñar bermas de concreto contiguo al pavimento, estas sirven para reducir los esfuerzos de flexión y deflexiones producidas por el paso de los vehículos [4].
2. Al usar una base de concreto pobre, este mejorará el soporte de los esfuerzos disminuyendo las deflexiones, provee de resistencia a la subbase para evitar la erosión que se causa en esta por el paso repetitivo de cargas en el pavimento [4].

6.1.2. Factores de diseño:

Al elegir el tipo de pavimento para la construcción y base las variables necesarias para realizar el diseño son las siguientes:

6.1.2.1. Subrasante

Esta variable se caracteriza a través del módulo de reacción de la subrasante K (en MPa/m), Si la losa se apoya directamente sobre la subrasante, el K que se utiliza en el diseño es aquel que se obtenga de la subrasante. Sin embargo, cuando la losa se apoya sobre una capa granular de base granular, o sobre un material estabilizado con cementante hidráulico, el K de manera obvia incrementa. Para poder determinar este nuevo K (denominado por algunos autores como K combinado o mejorado) es necesario establecer el espesor de la capa de plataforma de la losa (base granular o estabilizada) [5].

$$K = 2.55 + 52.5 \log(CBR), CBR \leq 10\%$$

Ecuación 6-1 Modulo de reacción K correlacionado con $CBR < 10$

$$K = 46 + 9.08[\log(CBR10)]^{4.34}, CBR > 10\%$$

Ecuación 6-2 Modulo de reacción K correlacionado con $CBR > 10$

Tabla 6.1 Valores de K de una losa apoyada sobre capa granular

K subrasante	Valores de K									
	Capa granular no tratada									
	10 cm		15 cm		22.5 cm		30 cm			
	Mpa/m	Pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	Pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci
	20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
	40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
	60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
	80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: Pavimentos Materiales, construcción y diseño [6]

Tabla 6.2 Valores de K de una losa apoyada sobre capa estabilizada con cemento hidráulico

K subrasante	Valores de K									
	Capa estabilizada con cemento hidráulico									
	10 cm		15 cm		20		25			
	Mpa/m	Pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	Pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci
	20	73	60	220	80	300	105	400	135	500
	40	147	100	370	130	500	185	680	230	850
	60	220	140	520	190	700	245	900	-	-

Fuente: Pavimentos Materiales, construcción y diseño [6]

6.1.2.2. Tránsito

El método emplea para caracterizar esta variable, el número de ejes pesados de determinada carga y configuración, que circulan en el carril y en el periodo de diseño (N_{ejes} Ver Ecuación 6-3 Numero de ejes equivalentes 8.2 Ton) [5].

$$N_{\text{ejes}} = \# \frac{\text{ejes}}{\text{día}} * \frac{k_2}{100} * 365 * k_3 * n$$

Ecuación 6-3 Numero de ejes equivalentes 8.2 Ton

- $N_{\text{ejes/día}}$ es el número de ejes de vehículos pesados (buses y camiones) que circulan diariamente de determinada carga y configuración.
- k_2 es el factor carril (determinado empleando la Tabla 6.3 Estimación del factor carril k_2).
- k_3 es un parámetro que al ser multiplicado por el periodo de diseño n (en años) se convierte en el factor de proyección Tabla 6.4 Estimación de k_3 para la proyección de tráfico.

Tabla 6.3 Estimación del factor carril k_2

TPD [vehículo/día]	Dos carriles en una dirección	Tres carriles en una dirección
	Factor carril, k_2 [%]	
1000	100	-
2000	95	-
3000	91	78
4000	89	76
5000	87	74
6000	85	73
7000	84	72
8000	83	70
9000	82	69
10000	81	68
15000	78	65
20000	75	63
30000	72	59
40000	68	57
60000	-	54
80000	-	52

Fuente: Método Portland Cement Association (PCA, 1984) [6]

Nota: Factor utilizado para determinar por medio del TPD (vehículo/día) el porcentaje a utilizar de acuerdo al número de carriles en una dirección [5].

Tabla 6.4 Estimación de k_3 para la proyección de tráfico

Tasa de crecimiento anual de tránsito, r [%]	Periodo de diseño, $n =$ 20 años	Periodo de diseño, $n =$ 40 años
	k_3	
1.0	1.1	1.2
1.5	1.2	1.3
2.0	1.2	1.5
2.5	1.3	1.6
3.0	1.3	1.8
3.5	1.4	2.0
4.0	1.5	2.2
4.5	1.6	2.4
5.0	1.6	2.7
5.5	1.7	2.9
6.0	1.8	3.2

Fuente: Método Portland Cement Association (PCA, 1984) [5]

Nota: de acuerdo a el periodo de crecimiento r (%) se determina el k_3 teniendo en cuenta el periodo de diseño usado [6].

Para determinar la tasa de crecimiento r (%) se emplea la *Ecuación 6-4 Tasa de crecimiento r* .

$$\left[\sqrt{\frac{Poblacion\ Final}{Poblacion\ inicial}} - 1 \right] * 100$$

Ecuación 6-4 Tasa de crecimiento r

- Este método tiene en cuenta la resistencia, durabilidad y espesor de la losa, para determinar si se utiliza o no pasadores en las juntas transversales y elementos para su confinamiento. Factor de seguridad (FSC) Tiene en cuenta el grado de incertidumbre que se presenta durante la estimación de las variables de diseño anteriormente mencionadas. Para tal fin, el método recomienda incrementar la carga en 1.1 o 1.2 veces [5].

FSC tránsito pesado= 1.2

FSC tránsito medio= 1.1

FSC tránsito bajo= 1.1

- Determinar los esfuerzos equivalentes a tracción promedios (σ_t) a los cuales va estar expuesta la losa empleando.

Tabla 6.5 Esfuerzo equivalente en MPa (losas sin confinamiento lateral) – eje simple/eje tándem.

Espesor de losa [cm]	K combinado, mejorado o de la plataforma de la losa [MPa/m]					
	20	40	60	80	140	180
18	2.37/2.14	2.09/1.79	1.94/1.62	1.84/1.51	1.66/1.34	1.58/1.27
19	2.19/2.01	1.94/1.67	1.80/1.51	1.71/1.41	1.54/1.25	1.47/1.18
20	2.04/1.90	1.80/1.58	1.67/1.42	1.59/1.33	1.43/1.17	1.37/1.11
21	1.91/1.79	1.68/1.49	1.56/1.34	1.48/1.25	1.34/1.10	1.28/1.04
22	1.79/1.70	1.57/1.41	1.46/1.27	1.39/1.18	1.26/1.03	1.20/0.98
23	1.68/1.62	1.48/1.34	1.38/1.21	1.31/1.12	1.18/0.98	1.13/0.92
24	1.58/1.55	1.39/1.28	1.30/1.15	1.23/1.06	1.11/0.93	1.06/0.87
25	1.49/1.48	1.32/1.22	1.22/1.09	1.16/1.01	1.05/0.88	1.00/0.83
26	1.41/1.41	1.25/1.17	1.16/1.05	1.10/0.97	0.99/0.84	0.95/0.79
27	1.34/1.36	1.18/1.12	1.10/1.00	1.04/0.93	0.94/0.80	0.90/0.75
28	1.28/1.30	1.12/1.07	1.04/0.96	0.99/0.89	0.89/0.77	0.86/0.72
29	1.22/1.25	1.07/1.03	0.99/0.92	0.94/0.85	0.85/0.74	0.81/0.69
30	1.16/1.21	1.02/0.99	0.95/0.89	0.90/0.82	0.81/0.71	0.78/0.66
31	1.11/1.16	0.97/0.96	0.90/0.86	0.86/0.79	0.77/0.68	0.74/0.64
32	1.06/1.12	0.93/0.92	0.86/0.83	0.82/0.76	0.74/0.66	0.71/0.62
33	1.02/1.09	0.89/0.89	0.83/0.80	0.78/0.74	0.71/0.63	0.68/0.59

34	0.98/1.05	0.85/0.86	0.79/0.77	0.75/0.71	0.68/0.61	0.65/0.57
35	0.94/1.02	0.82/0.84	0.76/0.75	0.72/0.69	0.65/0.59	0.62/0.55

Fuente: Método *Portland Cement Association* (PCA, 1984) [5].

Tabla 6.6 Esfuerzo equivalente en MPa (losas con confinamiento lateral) – eje simple/eje tándem

Espesor de losa [cm]	K combinado, mejorado o de la plataforma de la losa [MPa/m]					
	20	40	60	80	140	180
18	1.91/1.67	1.69/1.43	1.57/1.32	1.50/1.25	1.37/1.15	1.32/1.11
19	1.77/1.57	1.57/1.34	1.46/1.23	1.40/1.17	1.28/1.07	1.23/1.03
20	1.65/1.48	1.46/1.26	1.37/1.16	1.30/1.10	1.19/1.00	1.15/0.96
21	1.55/1.40	1.37/1.19	1.28/1.09	1.22/1.03	1.12/0.93	1.08/0.90
22	1.45/1.32	1.29/1.12	1.20/1.03	1.15/0.97	1.05/0.88	1.01/0.85
23	1.37/1.26	1.21/1.07	1.13/0.98	1.08/0.92	0.99/0.83	0.96/0.80
24	1.29/1.20	1.15/1.01	1.07/0.93	1.02/0.87	0.94/0.79	0.90/0.76
25	1.22/1.14	1.08/0.97	1.01/0.88	0.97/0.83	0.89/0.75	0.86/0.72
26	1.16/1.09	1.03/0.92	0.96/0.84	0.92/0.79	0.84/0.71	0.81/0.68
27	1.10/1.04	0.98/0.88	0.91/0.81	0.87/0.76	0.80/0.68	0.77/0.65
28	1.05/1.00	0.93/0.85	0.87/0.77	0.83/0.73	0.76/0.65	0.74/0.62
29	1.00/0.96	0.89/0.81	0.83/0.74	0.79/0.70	0.73/0.62	0.70/0.60
30	0.95/0.93	0.85/0.78	0.79/0.71	0.76/0.67	0.70/0.60	0.67/0.57
31	0.91/0.89	0.81/0.75	0.76/0.69	0.72/0.64	0.67/0.58	0.64/0.55
32	0.87/0.86	0.78/0.73	0.73/0.66	0.69/0.62	0.64/0.55	0.62/0.53
33	0.84/0.83	0.74/0.70	0.70/0.64	0.67/0.60	0.61/0.53	0.59/0.51
34	0.80/0.80	0.71/0.68	0.67/0.62	0.64/0.58	0.59/0.52	0.57/0.49
35	0.77/0.78	0.69/0.66	0.64/0.60	0.61/0.56	0.57/0.50	0.55/0.47

Fuente: Método *Portland Cement Association* (PCA, 1984) [5].

- Una vez determinado el esfuerzo σ_t , éste se divide entre el módulo de rotura MR del concreto para obtener un parámetro denominado relación de esfuerzos, que es utilizado para el cálculo del número de ejes admisibles que se permite circular en la losa por determinado tipo de eje y carga [5]. Si la relación presenta magnitud elevada, el método asume que el esfuerzo actuante es alto en comparación con la resistencia de la losa, y en este caso de manera obvia, el número de ejes que podría admitir la losa disminuye. Caso contrario, si esta relación presenta una magnitud pequeña, el método asume que el esfuerzo actuante es pequeño en comparación con la resistencia de la losa, y en este caso, el número de ejes que podría admitir la losa incrementa. Incluso en algunos casos, cuando la relación de esfuerzos es muy pequeña, la losa puede permitir el paso indefinido de ejes [5].
- De acuerdo a la relación de esfuerzos que se establece se calcula empleando la Ilustración 6.1 Cálculo del número de ejes admisibles para el análisis de fatiga por carga., el número de ejes es capaz de soportar la losa sin desarrollar agrietamientos por fatiga [5].

- Al realizar análisis por fatiga debido a cargas, se calcula la relación entre la variable tránsito (N_{ejes} , Ecuación 6-3 Numero de ejes equivalentes 8.2 Ton) y el número de ejes que admite la losa. La sumatoria total de la magnitud de los diferentes ejes no puede ser superior a 1 (si se expresan todas las relaciones en porcentaje, entonces el valor máximo permitido es de 100%) [5].

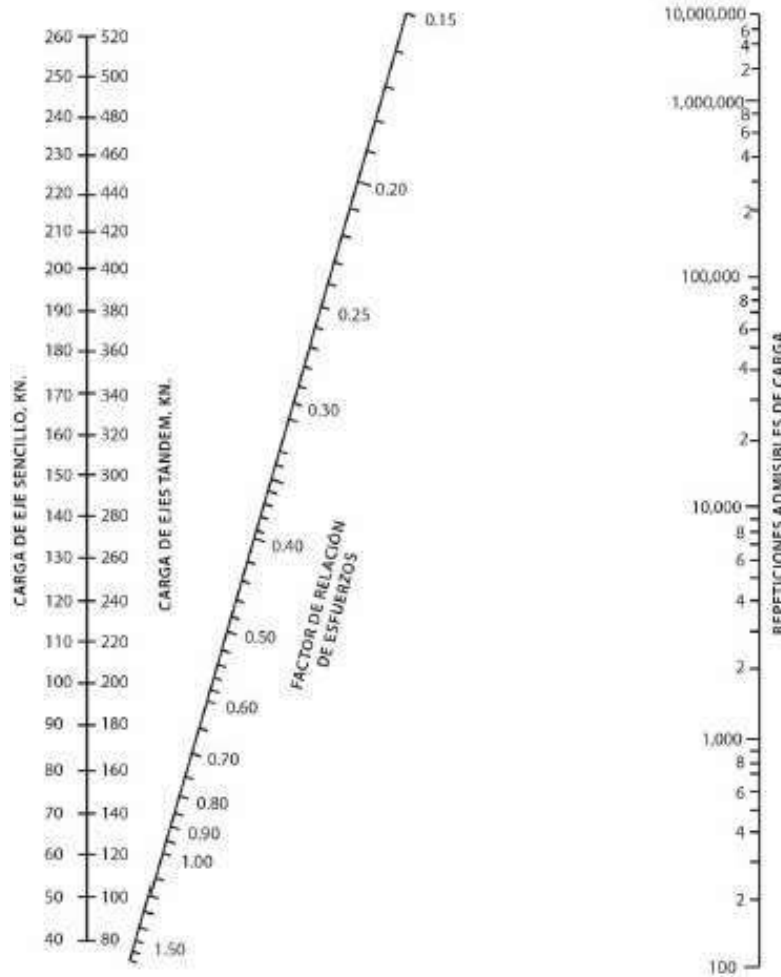


Ilustración 6.1 Cálculo del número de ejes admisibles para el análisis de fatiga por carga.

Fuente: Método *Portland Cement Association* (PCA, 1984) [5].

6.2. MARCO CONCEPTUAL

6.2.1. Pavimento

Los pavimentos para carreteras y vías urbanas son estructuras viales multicapa, es decir, están constituidos por un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales compuestas por materiales seleccionados. Estas estructuras son diseñadas para soportar las cargas impuestas por el tránsito y por las condiciones ambientales (función estructural).

De acuerdo a lo anterior los pavimentos deben diseñarse con el fin de ofrecer un paso cómodo y seguro al parque automotor que se imponga sobre su superficie en determinado periodo de tiempo (objetivo funcional). Las cargas dinámicas de los vehículos que transitan sobre estas estructuras producen en las interfaces de las capas esfuerzos cíclicos y deformaciones verticales, horizontales y de corte. El pavimento se soporta sobre una subrasante natural o sobre una plataforma, que puede ser la subrasante mejorada, estabilizada, o un terraplén, que se denomina capa de conformación.

De manera general, se pueden considerar las siguientes clasificaciones de pavimentos:

- Pavimentos flexibles.
- Pavimentos con capas asfálticas gruesas.
- Pavimentos con capas tratadas con ligantes hidráulicos.
- Pavimentos con estructuras mixtas.
- Pavimentos con estructuras inversas.
- Pavimentos rígidos.
- Pavimentos articulados o en adoquín.
- Pavimento semirrígido.

6.2.2. Pavimento Rígido (PR)

Son aquellos todos aquellos que están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyado sobre una capa, de subbase en material granular seleccionado. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento [4].

6.2.3. Tránsito

La demanda del tránsito es un aspecto significativo que todo diseñador debe tener en cuenta para diseñar con precisión los diferentes espesores en una estructura de pavimento; la confiabilidad de la información es importante para obtener diseños seguros que no dé posibilidad a un grado de sobre diseño o sub dimensionamiento de la misma.

Generalmente, los pavimentos se diseñan para periodos de uso de 10 a 20 años, sin tener en cuenta los refuerzos. Para esto, se utiliza información de series históricas del tránsito o mediante aforos y su correspondiente análisis de tendencias o mediante tasas de crecimiento del tránsito con el objeto de hacer la proyección del tránsito durante el periodo de diseño y posteriormente, teniendo en cuenta la composición del tránsito comercial, los factores de equivalencia por tipo de vehículo, el distribución por sentido, por carril y factor de proyección, se determina el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño por periodo de diseño [4].

6.2.4. Determinación del tránsito existente

La información necesaria para cuantificar el tránsito existente de una vía se debe recolectar con base en los procedimientos de la Ingeniería de Tránsito. La información que se requiere es la siguiente:

- A) El tránsito promedio diario semanal (TPDS).
 - B) Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados. Ver Ilustración 6.2
- Clasificación de los vehículos en Colombia

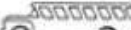
TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA	TIPO DE VEHICULO		ESQUEMA
AUTOS			C3 Y C4	CAMION C3	
				CAMION C4	
BUSES	BUSETA			TRACTO-CAMION C2-S1	
	BUS			TRACTO-CAMION C2-S2	
	BUS METROPOLITANO			TRACTO-CAMION C3-S1	
C2-P	CAMION DE DOS EJES PEQUEÑO		C5	TRACTO-CAMION C3-S2	
C2-G	CAMION DE DOS EJES GRANDE			TRACTO-CAMION C3-S3	

Ilustración 6.2 Clasificación de los vehículos en Colombia

Fuente: Curso básico de diseño de pavimentos – Ingeniero Fernando Sánchez Sabogal

6.2.5. CBR de diseño

El ensayo de *California Bearing Ratio* (CBR) o, principalmente es usado para diseño de pavimentos, y se realiza en suelos granulares y/o cohesivos con el fin de determinar la resistencia al esfuerzo de dicho suelo; cuando la muestra es sometida a una determinada carga por medio de un pistón estandarizado y a una velocidad constante, se puede establecer la relación de esfuerzo para que el pistón penetre dicha muestra en 0,1" y 0,2" y el esfuerzo que requirió para esta penetración en una muestra patrón bien gradada [5].

En el diseño de pavimentos, se recomienda apoyar las capas de las estructuras viales con CBR mínimo de 5%, con el fin de soportar de manera adecuada dichas capas durante el proceso constructivo del pavimento [2].

La capacidad portante CBR se determina en función de las condiciones de densidad y del contenido de agua, por lo que se recomienda tomar el CBR cuando las condiciones críticas del terreno (en época de lluvia) son iguales a las del laboratorio; esto se logra cuando la probeta se encuentra en estado de saturación, es decir, cuando se han curado las probetas durante tres días al aire y cuatro días inmersas en agua para obtener así un valor de CBR que corresponda al del 95% de la densidad del Óptimo Proctor Modificado (OPM) [7].

Este ensayo se puede desarrollar bajo los siguientes métodos:

- CBR in-situ o de campo
- CBR de laboratorio
- CBR con muestras inalteradas

6.2.6. Módulo resiliente

El módulo resiliente busca evaluar en el suelo la acción de las deformaciones causadas por la carga que emiten los vehículos en las diferentes capas del pavimento y este parámetro es de gran ayuda para determinar en los diseños de pavimento flexible. Se recomienda realizar el ensayo de módulo resiliente bajo la norma AASHTO T724, homologado por el INVIAS con la norma INV E-749-13, ya que este ensayo se debe realizar con un equipo especial en donde se toma una muestra del tramo que sea representativa y es sometida a cargas con una duración definida y con esfuerzos y humedades controladas, las deformaciones permanentes que el pavimento sufre debido a estas cargas se denominan plásticas y la deformación que tiene un porcentaje de recuperación es la deformación resiliente [3].

6.2.7. Determinación contenida de humedad

Se determina la cantidad de agua que se presenta en una muestra dada de suelo en términos de su peso seco, teniendo conocimiento del porcentaje de humedad natural del suelo se permite definir el tratamiento a darle, asimismo estimar un posible comportamiento del mismo [8].

6.2.8. Análisis granulométrico

Consiste determinar cuantitativamente la distribución de las diferentes dimensiones en las partículas del suelo, por medio de un procedimiento como el tamizaje clasificando las partículas del suelo desde el grano más grueso al más fino posible por medio de este método [9].

6.2.9. Determinación del límite plástico

Es la mínima cantidad de humedad con la que cuenta el suelo antes de pasar a la condición de plasticidad. Para los contenidos de límite plástico que son menores la humedad se presenta una caída profunda en la estabilidad del suelo [9].

6.2.10. Determinación del límite líquido de los suelos

Se determina en el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El estado líquido se define como la condición en que la resistencia al corte del suelo es tan mínima que un esfuerzo mínimo ocasiona su desplazamiento [9].

6.2.11. Ensayo de compactación

Es todo proceso que mayor el peso volumétrico del suelo, se requiere compactar un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable. Es necesario realizar pruebas que permita conocer la máxima densidad y el óptimo contenido de humedad de los diferentes tipos de suelos [9].

- Máxima densidad: Es el máximo peso seco, obtenido cuando el material se mezcla con diferentes porcentajes de agua y se compacta de una manera normal preestablecida.
- Óptimo contenido de humedad: Es el porcentaje de agua con el cual se obtiene la máxima densidad para el esfuerzo de compactación especificado.

6.3. ESTADO DEL ARTE

En el estudio “diseño y construcción de pavimento rígido para la urbanización Caballero y Gongora, municipio de Honda -Tolima” las ventajas que se tiene de un pavimento rígido es su alta rigidez y una disminución en la carga recibida por la subrasante, ofrecen una gran resistencia al desgaste, la falla por ahuellamiento no se presenta en ninguna dirección [10].

El instituto del cemento y del hormigón de Chile (ICH) indican que utilizar losas de dimensiones menores es posible reducir los espesores del pavimento sin tener afectaciones en su resistencia. Como se dice en modelación numérica de pavimentos rígidos mediante modulación convencional y de losas cortas,

Dimensionar las losas de una manera que solo exista un eje del vehículo sobre cada una, de esta manera se distribuye la carga en el pavimento evitando agrietamientos por flexión [11].

Acorde a la “propuesta para el diseño de la estructura del pavimento de la vía puente de piedra-colón-variante Madrid, Cundinamarca”, se recomienda que toda estructura quede con mínimo de 10 cm del afirmado con el fin de mejorar la capacidad de soporte de la estructura [12].

De acuerdo al estudio realizado en el proyecto “Diseño de la estructura de pavimentos, implementando geoceldas, para mejorar la capacidad portante del suelo de la vía ubicada entre k10+500 y k11+500 en San José del Guaviare–Guaviare” se determina que el espesor de la estructura de pavimento se puede disminuir realizando aplicación de sistemas de geoceldas para la estabilización de la subrasante con el fin de aumentar la resistencia en la aplicación de cargas [13].

6.4. MARCO NORMATIVO

- Artículo 400 – 96: “Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación y liga, tratamientos superficiales, sellos de arena asfalto, lechadas asfálticas, mezclas densas y abiertas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos”.
- Norma INVE-148-13: Describe el procedimiento de para hallar el *California Bearing Ratio* (CBR), índice de resistencia de los suelos de subrasante, subbase y base.
- Norma INVE-168-13: Hace referencia a la ejecución del ensayo de placa con carga estática no repetida, para suelos de subrasante y componentes de pavimentos en condición compactada o en estados natural y proporciona datos para ser utilizados en el diseño de los pavimentos rígido y flexible para carreteras y aeropistas.
- Norma INV E414-07: Esta norma tiene por objeto establecer el procedimiento que se debe seguir para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto.
- Resolución 1376 de 2014: Por la cual se actualizan las Especificaciones Generales de Construcción para Carreteras.
- Resolución 0744 de 2009: Por la cual se actualiza el Manual para Diseño Geométrico para Carreteras.
- Resolución 13791, año 1998: Por la cual se determinan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de carga para su operación normal en las carreteras del país.
- Ley 769, año 2002: Las normas del presente Código rigen en todo el territorio nacional y regulan la circulación de los peatones, usuarios, pasajeros, conductores, motociclistas, ciclistas, agentes de tránsito, y vehículos por las vías públicas o privadas que están abiertas al público, o en las vías privadas, que internamente circulen vehículos.

6.5. MARCO GEOGRÁFICO

Villavicencio se encuentra aproximadamente a 115 kilómetros de la capital del país, Bogotá D.C. La capital del Meta se alza a 467 m.s.n.m. y está ubicado en el piedemonte de la cordillera oriental y al noroccidente del departamento.

El municipio de Villavicencio limita al norte con el municipio del Calvario, al noreste con Restrepo, al este con Puerto López, al suroeste con San Carlos de Guaroa, al noroeste con el departamento de Cundinamarca y desde el sur hasta el oeste con Acacias.

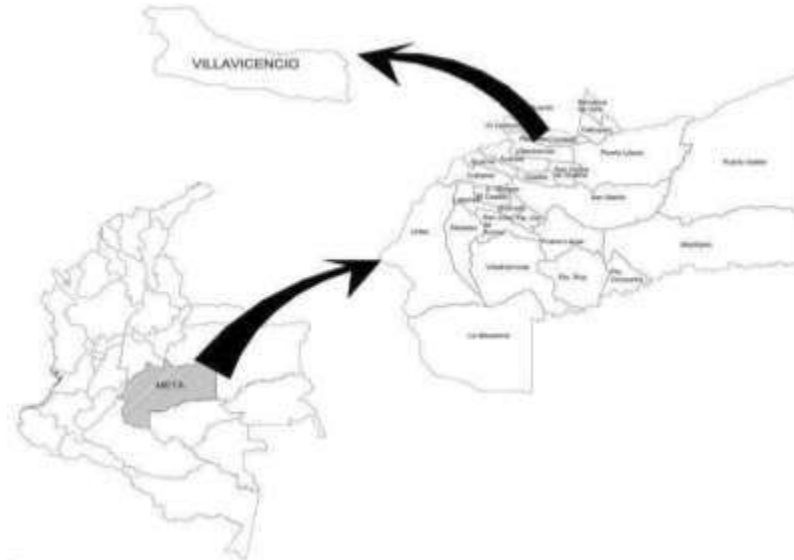


Ilustración 6.3 Ubicación geográfica Villavicencio
Fuente: Autores

El Barrio Villas del Alcaraván se encuentra localizado en la comuna Cinco (05) del municipio de Villavicencio, en las coordenadas 4°08'11.1"Norte 73°36'04.2" Oeste.



Ilustración 6.4 Ubicación geográfica Villas del Alcaraván
Fuente: Google Earth, Autores

7. METODOLOGÍA

La realización del proyecto está dividida en 3 fases, conceptualizadas y descritas posteriormente. Cada una de ellas contiene grupos de actividades que permiten guiar a los autores en la realización del conjunto de procedimientos implementado para alcanzar los objetivos. Se tendrá enfoque cuantitativo con un alcance explicativo, contando con un estudio estructurado con el fin de poder conocer realmente el problema y plantear una solución al mismo. Las fases a ejecutar se realizarán con un enfoque técnico adecuado con el fin de obtener unos resultados de calidad profesional.

7.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

Se describen cada una de las etapas por las que pasará el proyecto para lograr un producto final que será llegar a los diseños de la estructura del pavimento para el barrio Villas del Alcaraván.



ANÁLISIS PREVIO

- Identificación de la zona de estudio
- Revisión bibliográfica y bases de datos



ESTUDIOS Y ANÁLISIS DEL ENTORNO

- Análisis de condiciones climáticas: Precipitación, Temperatura.
- Estudio de tránsito: Aforos vehiculares
- Estudio de suelos: Apiques
- Estudio socioeconómico: Realización de encuestas a los habitantes



DISEÑOS

- Determinación de ejes equivalentes
- Determinación del módulo resiliente de la subrasante
- Elaboración de diseños de la estructura de pavimento
- Elaboración de cartillas

Ilustración 7.1. Metodología del Proyecto

Fuente: Autores

7.1.1. Etapa 1 análisis previo

Esta fase fue el inicio de la viabilidad del proyecto, comprendido por la recolección de información en bases de datos y proyectos afines elaborados previamente, se realizó una visita de campo al lugar de ejecución del proyecto, barrio Villas del

Alcaraván con el fin de diagnosticar el estado actual de sus vías, lo cual fue evidenciado mediante un registro fotográfico, igualmente se solicitó al presidente de la Junta de Acción Comunal (J.A.C) los documentos y/o información que obtuvieron en el proceso de legalización del barrio.

En las *Tabla 7.1. Descripción general de las vías del Barrio Villas de Alcaraván*, se puede apreciar el estado actual de las vías, las cuales presentan múltiples daños asociados al deterioro por el paso repetitivo de vehículos, condiciones climáticas y la falta de mantenimiento y/o mejoramiento. La amplitud de la mayor parte de las vías del barrio es de 11 metros, sin embargo, la calle 18 tiene una amplitud de 8.5 metros y la dimensión de la calle 3A ha sido reducida a 8 metros, como consecuencia de la invasión del espacio público al construir las viviendas sobrepasando sus linderos.

Por las vías del barrio circulan principalmente automóviles, motocicletas y vehículos de transporte de servicio público.

Tabla 7.1. Descripción general de las vías del Barrio Villas de Alcaraván

	
Entrada al barrio, vía en afirmado	Calle Principal, vía en afirmado, en estado regular
	
Salida del barrio, en estado regular	

Fuente: Autores

7.1.2. Etapa 2 estudios y análisis del entorno

En esta etapa se analizan los datos obtenidos en la fase de prefactibilidad, junto a diferentes estudios que se realizarán para conocer la carga que deberá soportar la estructura de pavimento y caracterizar los materiales presentes en las vías del barrio y así poder establecer diseños óptimos del pavimento. También se contará con información de características hidrológicas de Villas del Alcaraván, suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Los laboratorios y estudios a ejecutar son los siguientes:

7.1.2.1. Estudio de tránsito

Para el análisis del tránsito se realizaron 3 Aforos vehiculares Ver ANEXO 1 AFORO VEHICULAR con el fin de determinar el número de ejes equivalentes o tránsito de diseño. Estos conteos se realizaron los días sábado, lunes y martes durante 12 horas por día (9:00 am a 9:00 pm). El conteo se realizó en periodos de 15 minutos realizando una clasificación de tipos de vehículos tomando como referencia la clasificación de vehículos en Colombia establecida por el Instituto nacional de vías INVIAS.

Tabla 7.2 Resumen aforo vehicular

Día/Tipo de Vehículo	Automóvil	Microbús	Buseta	C2P	C2G
sábado, 10 de agosto de 2019	191	51	43	10	10
martes, 13 de agosto de 2019	172	0	12	3	0
lunes, 19 de agosto de 2019	451	0	27	6	0
Total general	814	51	82	19	10
TPDS	271	17	27	6	3
Composición Vehicular	84%	5%	8%	2%	1%

Fuente: Autores

De acuerdo a la *Tabla 7.2 Resumen aforo vehicular* del parque automotor que se moviliza por el barrio (sin contar motocicletas) los vehículos que más transitan por la zona son los automóviles con un 84%, al ser una zona de uso residencial el paso de vehículos C2G (camión de dos ejes grande) se limitan a usos de abastecimiento del comercio y los de recolección de residuos los días establecidos por la empresa Bioagropecuaria razón por la cual el flujo de este tipo de vehículos es de 1%.

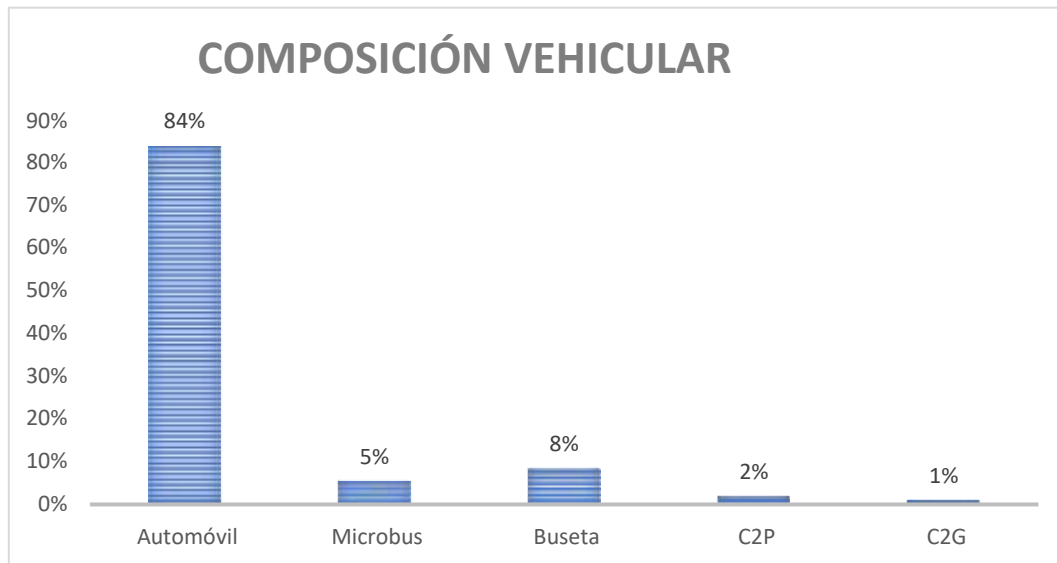


Ilustración 7.2 Composición vehicular
Fuente: Autores



Ilustración 7.3 Diligenciamiento formato de estudio de tránsito
Fuente: Autores



Ilustración 7.4 Transporte publico registrado en el aforo vehicular
Fuente: Autores

7.1.2.2. Análisis del clima

Recolectamos por medio del software “Clima” datos de precipitaciones y temperatura de estaciones hidrológicas del IDEAM. Esto con el fin de determinar los factores climatológicos en el diseño de la estructura de pavimento. Ver ANEXO 2 ANÁLISIS DE CLIMA.

Las precipitaciones anuales acumuladas recogidas en el periodo de tiempo 2009-2016 han sido representadas en la *Ilustración 7.5 Precipitaciones máximas mensuales*, en la cual se observa que las precipitaciones oscilan entre 400 y 600 mm. Las precipitaciones en el transcurso del tiempo siguen un patrón oscilante con máximas entre los 700 y 800 mm como se observa que se presentó para el año 2013.

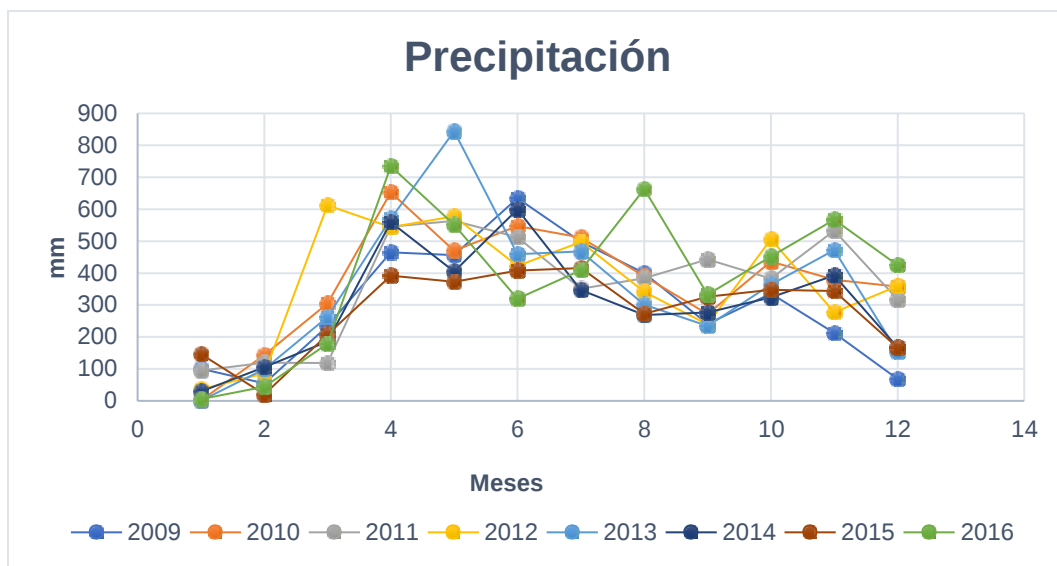


Ilustración 7.5 Precipitaciones máximas mensuales
Fuente: IDEAM, Autores

7.1.2.3. Estudio de suelos

Se realizaron 3 apiques, determinando en cada uno CBR y límites de Atterberg para determinar la capacidad portante y caracterizar los suelos presentes. Ver ANEXO 3 ESTUDIO DE SUELOS.



Ilustración 7.6 Localización general de los Apiques
Fuente: Google Earth, Autores



Apique 1 de estudio de suelos



Apique 2 estudio de suelos



Apique 2 estudio de suelos



Apique 3 estudio de suelos

Ilustración 7.7 Estudio de suelos
Fuente: Autores



Ilustración 7.8 Ensayo de laboratorio, granulometría y límites de atterberg
Fuente: Autores

Tabla 7.3 Estudio de suelos

APIQUE	MUESTRA	COORDENADAS						DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL SEGÚN ENSAYOS	LL %	LP %	IP %	CBR INALTERADO %
		LATITUD (N)			LONGITUD (O)							
		gg	mm	ss.ss	Gg	mm	ss.ss					
1	1	4	8	7,84	73	36	5,13	Material de relleno color gris- Grava redondeada			0,00	
1	2	4	8	7,84	73	36	5,13	Suelo Arcillo-Limoso color gris con betas negras	30,00	21,00	9,00	5,63
1	3	4	8	7,84	73	36	5,13	Suelo Arcillo-Arenoso color café claro	27,00	20,00	6,00	
2	1	4	8	11,09	73	36	4,1	Material de relleno color gris- Grava redondeada				
2	2	4	8	11,09	73	36	4,1	Suelo Arcillo-Limoso color gris con betas negras	38,00	25,00	13,00	5,26
2	3	4	8	11,09	73	36	4,1	Suelo Arcillo-Arenoso color café claro	19,00	10,00	9,00	
3	1	4	8	14,03	73	36	3,18	Material de relleno color gris- Grava redondeada				
3	2	4	8	14,03	73	36	3,18	Material de relleno tipo 2				16,40

Fuente: Autores

Ilustración 7.9 Apique #1

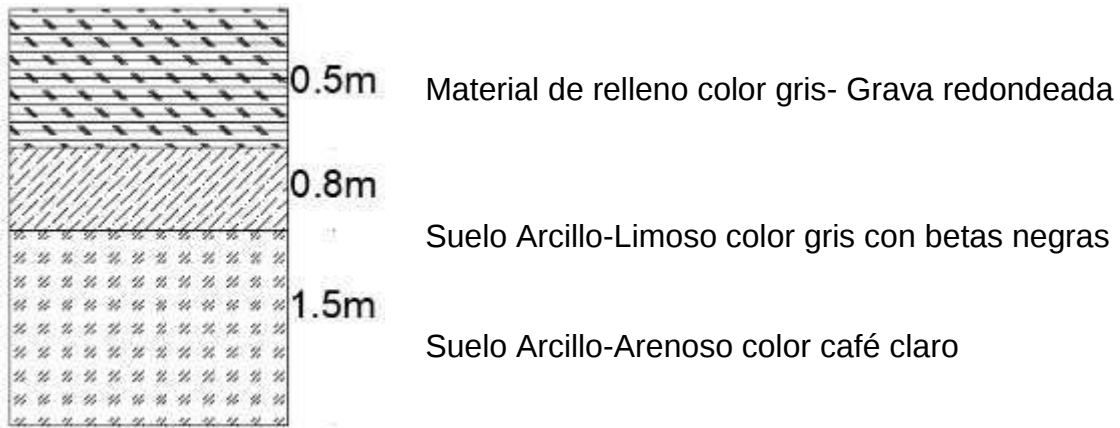


Ilustración 7.10 Apique #2

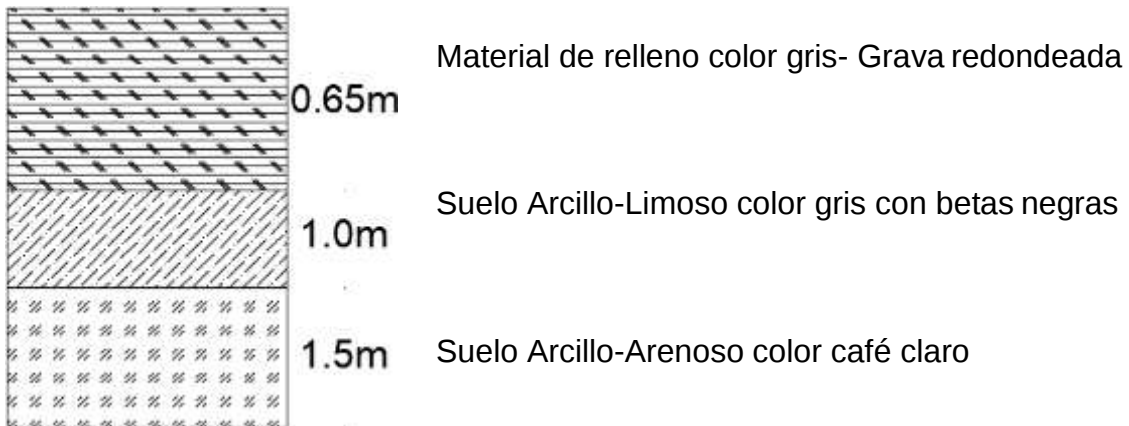
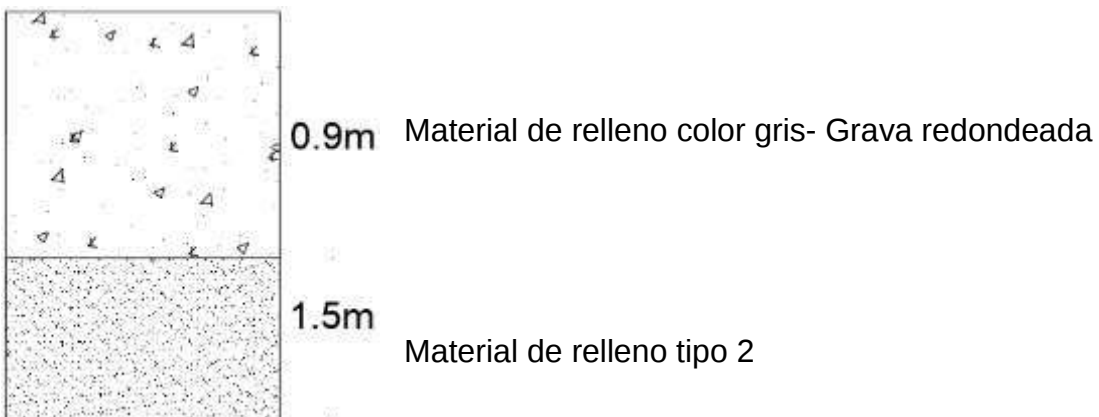


Ilustración 7.11 Apique #3



A partir de los ensayos de laboratorio practicados con las muestras de suelo obtenidas, se evidenció que en el apique 1, a una profundidad de 0.20m se presenta un suelo clasificado como grava en matriz limosa; a una profundidad de 0.60m se obtiene un límite líquido (LL) de 30% y un índice de plasticidad (IP) de un 9%, clasificando la muestra extraída de acuerdo a la USCS como una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad; a una profundidad de 1.0m se obtiene un LL de 27% y un IP del 6%, lo que clasifica la muestra como limo inorgánico y/o arena muy fina. En el apique 2, a una profundidad de 0.3m se clasifica la muestra como una grava en matriz limosa, a una profundidad de 0.80m se presenta un LL de 25% y un IP de 13%, clasificándola como una arcilla inorgánica de alta plasticidad, a una profundidad de 1.2m la muestra recolectada tiene un LL de 19% y un IP de 9% clasificándola como una arcilla inorgánica de baja a media plasticidad. Para el apique 3, a una profundidad de 0.15m, se presenta un suelo compuesto de grava en matriz limosa y a una profundidad de 0.90 m se clasifica la muestra como una grava pobremente gravada, presentando un nivel freático a 1.10m de profundidad.

7.1.2.4. Estudio socio - económico

El desarrollo social del barrio villas del alcaraván, se verá impactado a partir de la propuesta de diseño para los corredores viales ubicados en este, es por esto, que en el marco del análisis social se ha provisto una encuesta que establece los aspectos más relevantes de las personas que habitan allí:

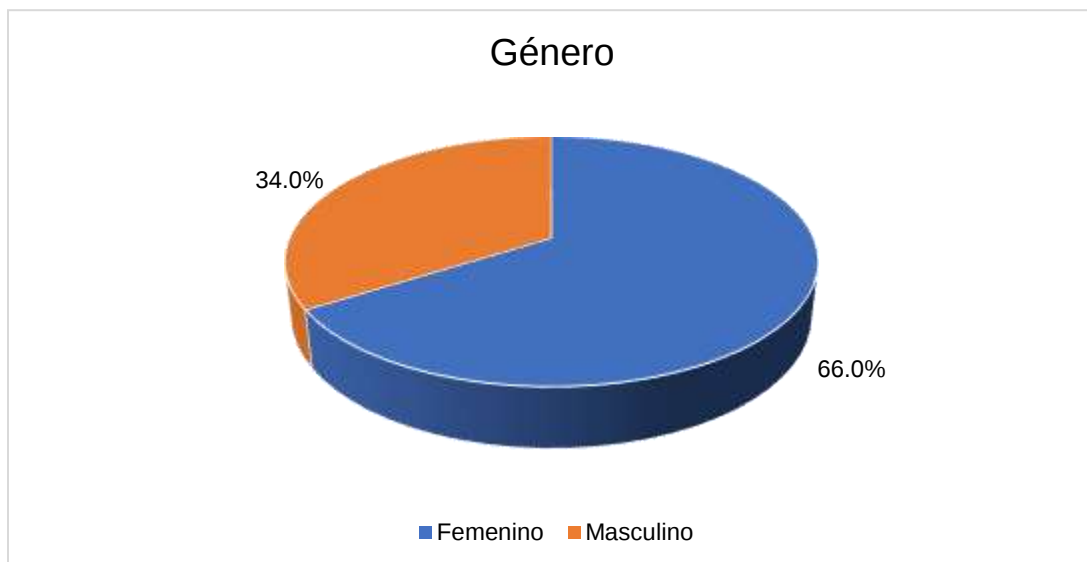


Ilustración 7.12 Género de las personas encuestadas
Fuente: Autores

En primera instancia se establece que cerca del 66% de las personas encuestadas fueron mujeres.

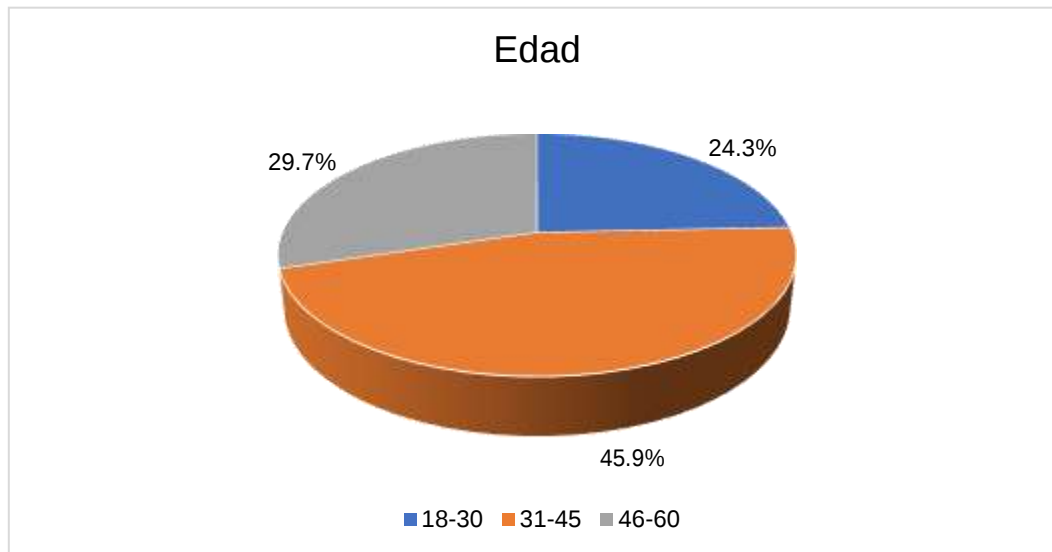


Ilustración 7.13 Edad de las personas encuestadas
Fuente: Autores

Mayoritariamente, los habitantes del barrio se encuentran en un rango de edad entre los 31 y los 45 años, por lo que, se evidencia que las familias que habitan el barrio son familias jóvenes (recientemente conformadas).

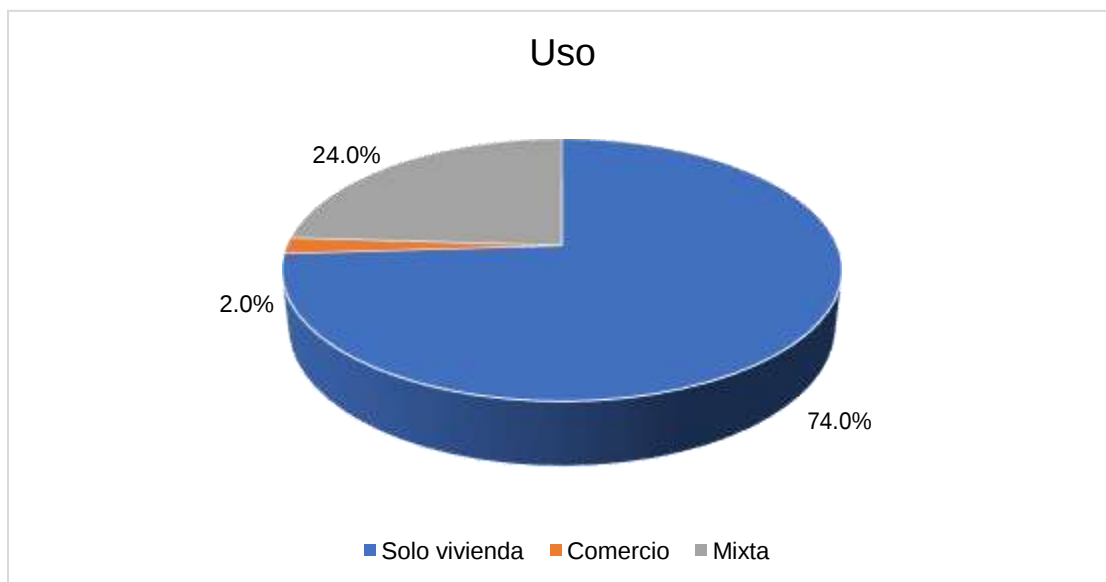


Ilustración 7.14 Uso dado a los inmuebles
Fuente: Autores

Asimismo, el 74% de los habitantes dan un uso al inmueble únicamente como vivienda, mientras que el 24% de estos lo emplean de manera comercial, así como de habitacional.

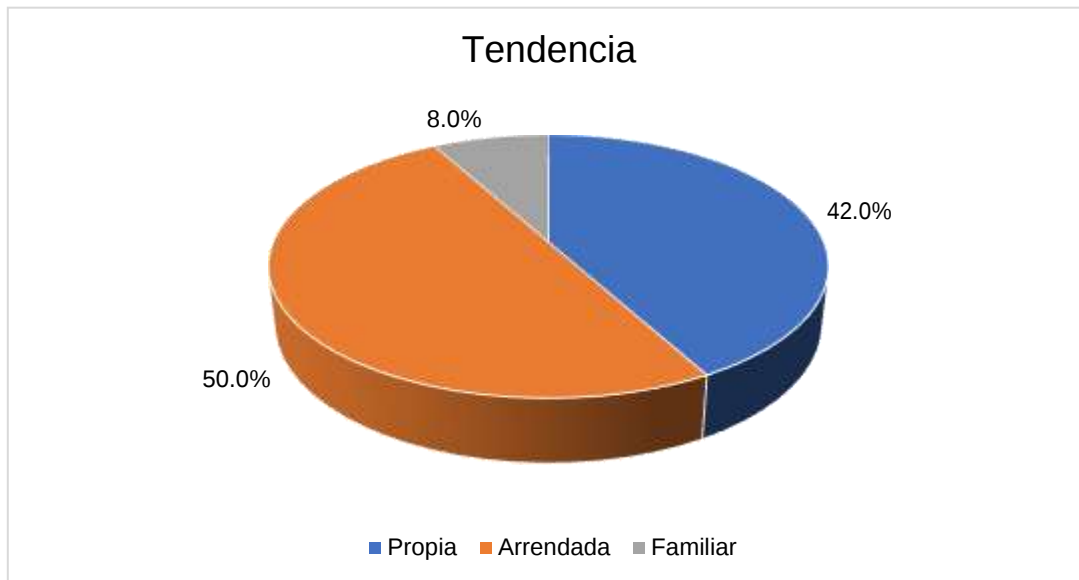


Ilustración 7.15 Tenencia de los inmuebles
Fuente: Autores

El 50% de los encuestados habitan en condición de arriendo, 42% son propietarios y un 8% habitan en una casa familiar. En la realización de las encuestas se evidenció, en promedio, que las personas que son propietarios de las casas son mayores, a aquellos que viven en arriendo o viven en una casa familiar.

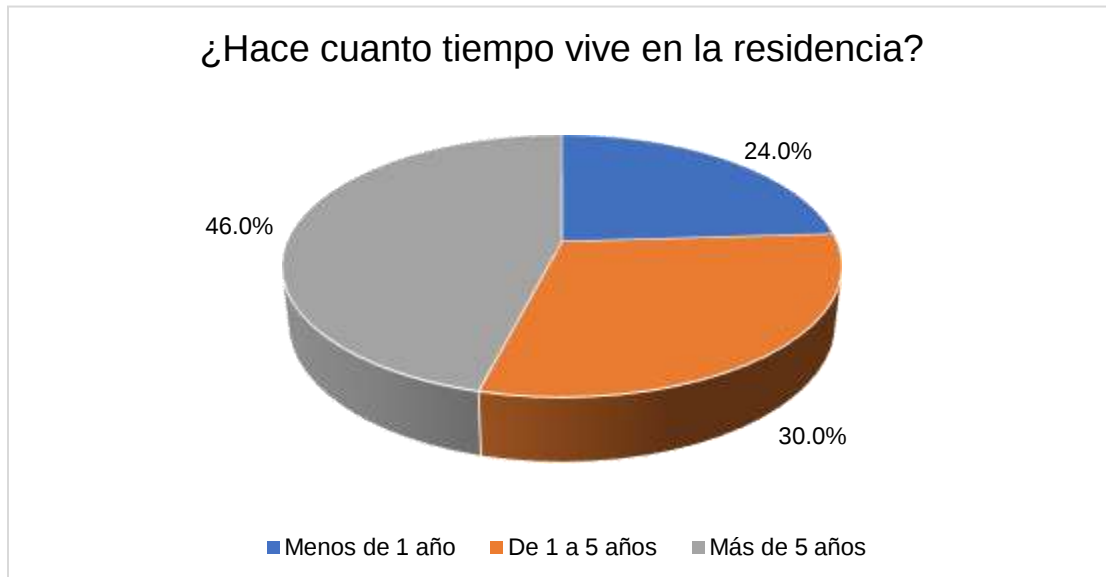


Ilustración 7.16 Tiempo de habitabilidad de las viviendas
Fuente: Autores

El 46% de los encuestados llevan habitando en las viviendas más de 5 años, el 30% llevan habitando las viviendas de 1 a 5 años y tan solo el 24% habitan las viviendas hace menos de 1 año.

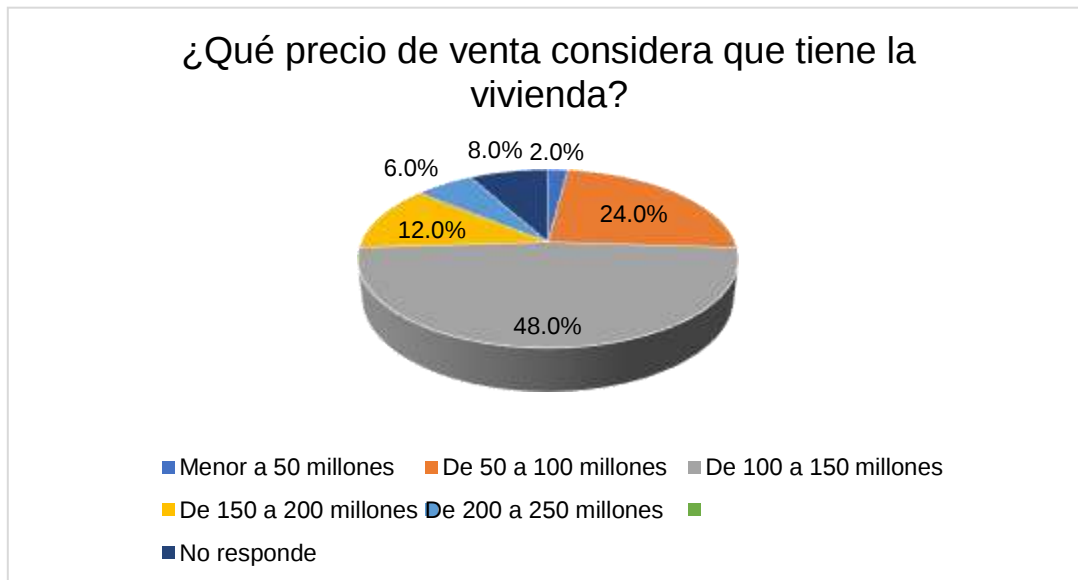


Ilustración 7.17 Precio estimado de las viviendas
Fuente: Autores

En relación con los precios comerciales que se manejan en el sector, el 48% de los encuestados consideran que la vivienda suscrita tiene un precio de venta comprendido entre los 100 y 150 Millones de pesos colombianos. Por otra parte, el 24% manifiestan que el precio de venta se encuentra entre 50 y 100 millones de pesos.

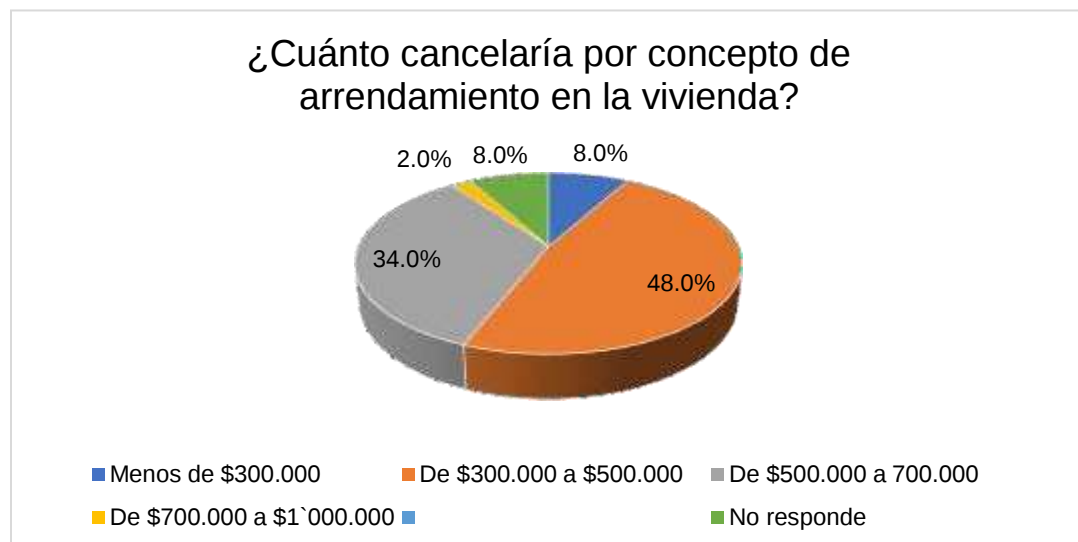


Ilustración 7.18 Precio a cancelar por concepto de arrendamiento de las viviendas
Fuente: Autores

El 48% de los encuestados considera que el precio promedio a cancelar por concepto de arrendamiento de una vivienda en el sector oscila entre \$300.000 a \$500.000

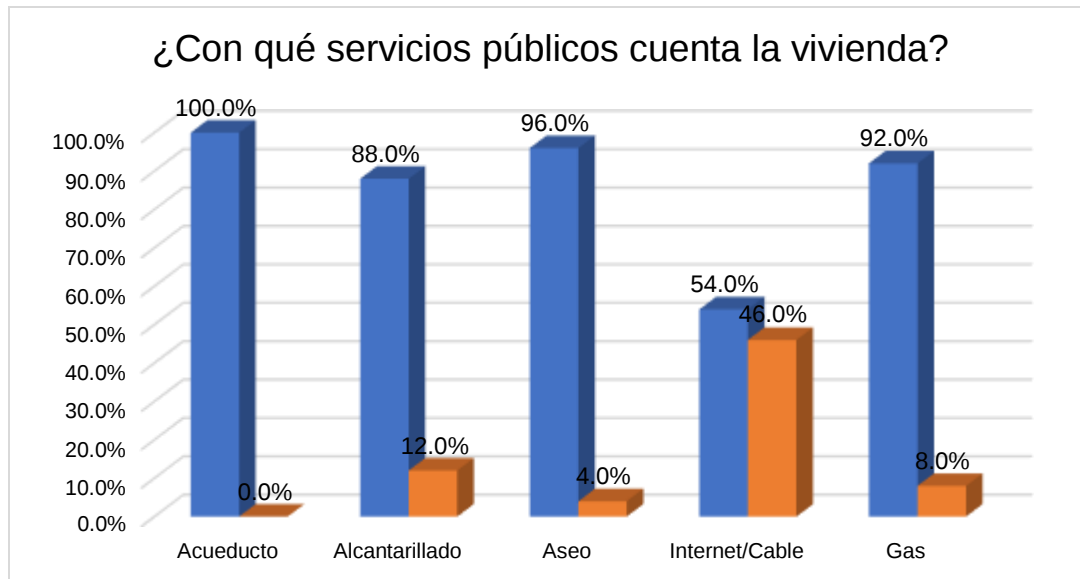


Ilustración 7.19 Servicios públicos con los que cuentan las viviendas
Fuente: Autores

Frente la dotación en servicios públicos con los que cuentan las viviendas, se obtuvieron los siguientes datos:

- El 100% de los encuestados manifiestan contar con servicio de acueducto.
- El 88% de los encuestados manifiestan contar con servicio de alcantarillado.
- El 96% de los encuestados manifiestan contar con servicio de aseo.
- El 54% de los encuestados manifiestan contar con servicio de internet/cable
- El 92% de los encuestados manifiestan contar con servicio de gas

Considerando los resultados obtenidos, la sensación de que los habitantes desconocen exactamente cuál es la dotación en servicios públicos con los que cuentan sus viviendas se encontraba latente, puesto que, en el caso del servicio de acueducto y alcantarillado no reconocen como prestador del servicio a la Empresa Municipal.

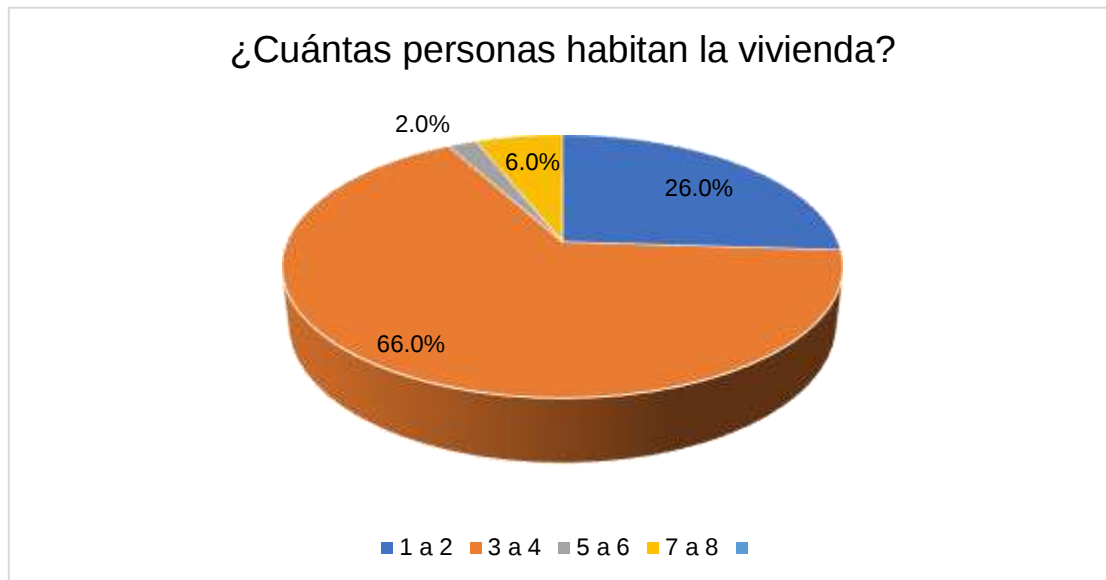


Ilustración 7.20 Número de personas que habitan las viviendas
Fuente: Autores

El barrio villas del alcaraván se caracteriza por tener hogares conformados por entre 3 y 4 personas.

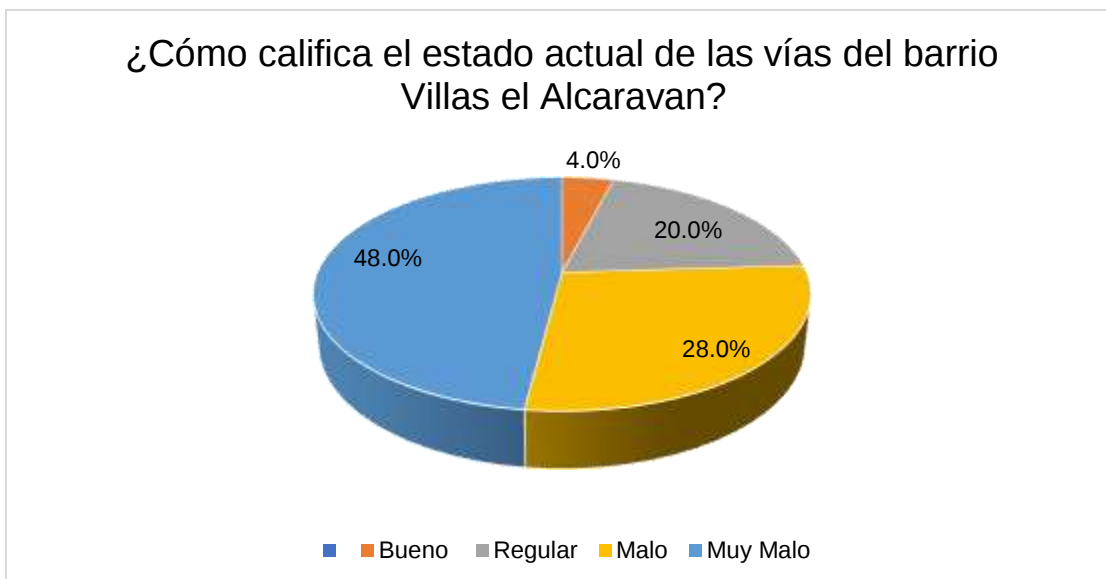


Ilustración 7.21 Estado de las vías del barrio Villas del Alcaraván
Fuente: Autores

El 76% de los encuestados coinciden que el estado actual de las vías es malo o muy malo y que presentan impactos negativos en el entorno.

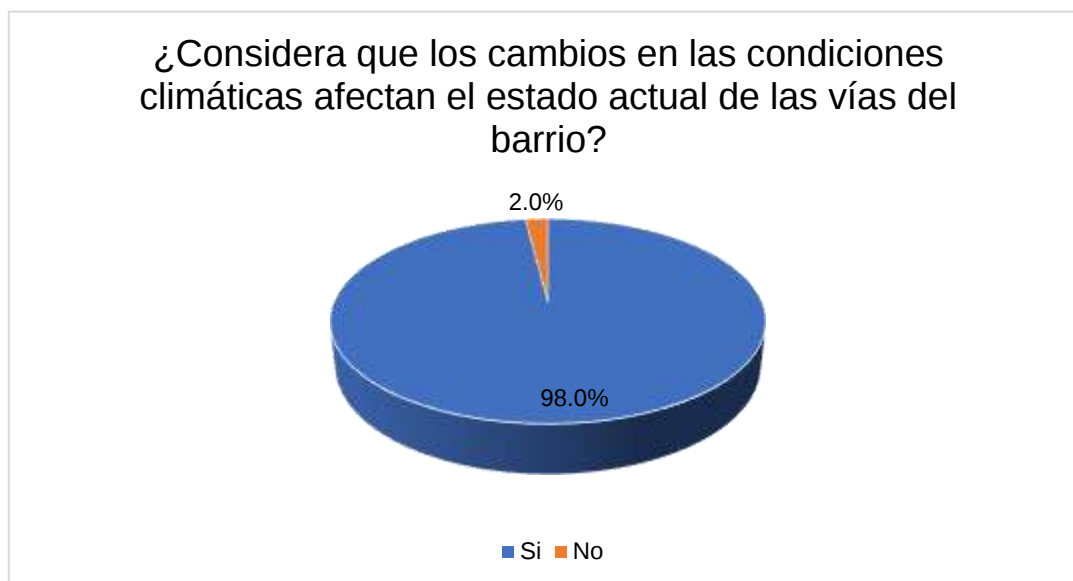


Ilustración 7.22 Incidencia de las condiciones climáticas sobre el estado actual de las vías del barrio Villas del Alcaraván
Fuente: Autores

El 98% de los encuestados consideran que los cambios en las condiciones climáticas afectan el estado actual de las vías del barrio

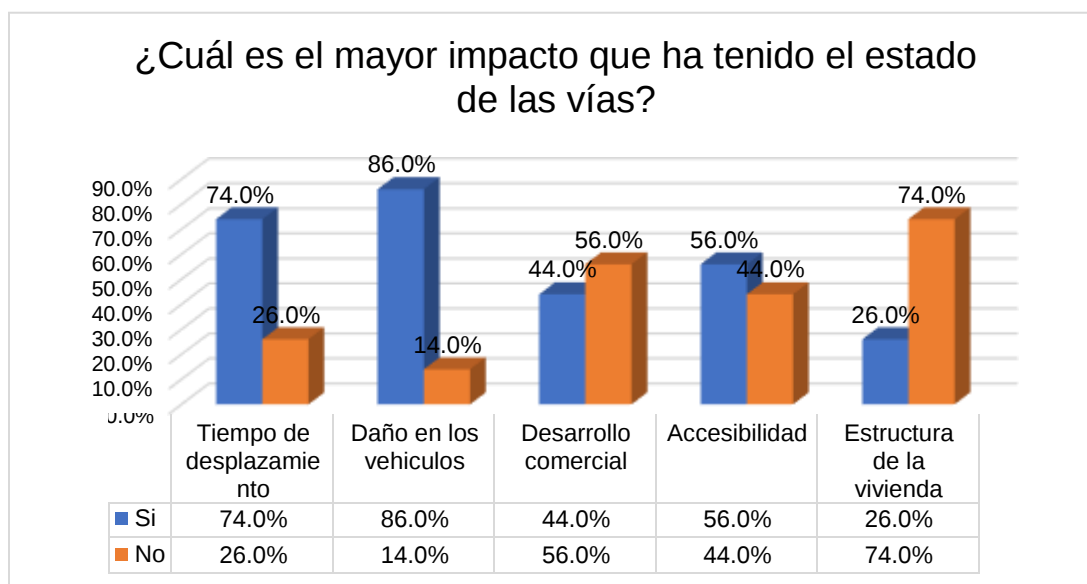


Ilustración 7.23 Impactos del estado de las vías del barrio Villas del Alcaraván sobre la comunidad
Fuente: Autores

La mayoría de los encuestados coinciden en que los mayores impactos que han tenido, debido al estado actual de las vías del barrio son: el daño en los vehículos con un 86% y los tiempos de desplazamiento a cualquier zona que alcanza el 74%.

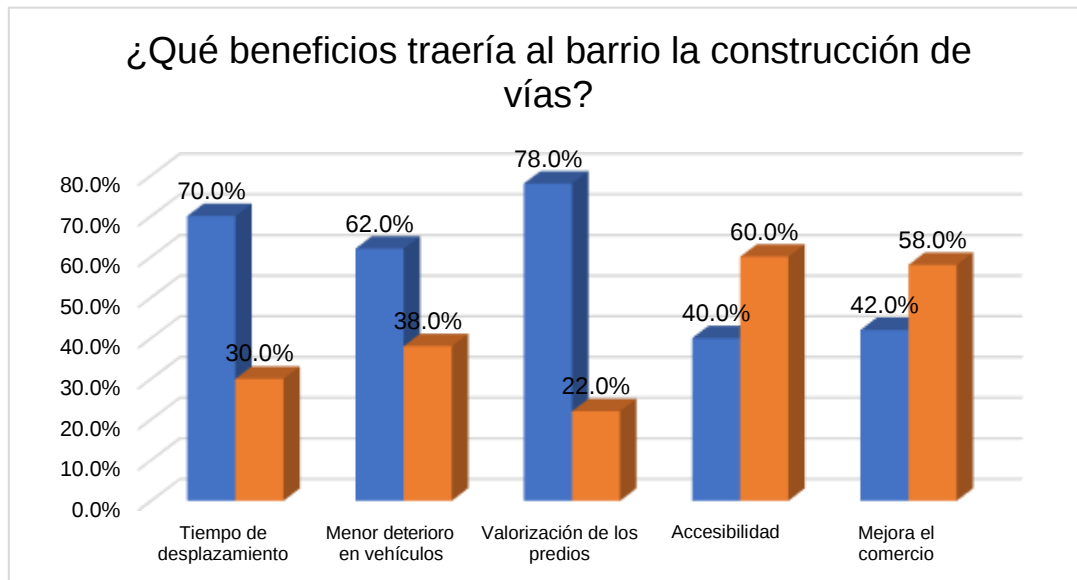


Ilustración 7.24 Beneficios de la construcción de las vías del barrio Villas del Alcaraván

Fuente: Autores

La mayoría de los encuestados coinciden en que los mayores beneficios que traería al barrio la construcción de vías son: la valorización de los predios con un 78%, la disminución del tiempo de desplazamiento dentro del barrio y hacia las vías de acceso a este, con un 70% y, un menor deterioro de los vehículos con un 62%.



Ilustración 7.25 Impacto en las condiciones económicas a partir de la construcción de las vías del barrio Villas del Alcaraván

Fuente: Autores

Por último, se quiso conocer una prospectiva frente a los ingresos del núcleo familiar, el cual arrojó que el 94% de los encuestados consideran que sus condiciones económicas mejoran con la construcción de las vías en el barrio.

Esta encuesta fue aplicada en 50 viviendas del barrio villas del alcaraván. En el Ver ANEXO 4 ESTUDIO SOCIO-ECONÓMICO se encuentran los formatos de encuesta.

La muestra se determinó a partir de un muestreo aleatorio simple, con una población inicial de 138 a partir de la siguiente formula:

$$n = \frac{NZ^2pq}{E^2(N - 1) + Z^2pq}$$

Ecuación 7-1 Muestreo aleatorio simple

Donde:

n: Valor de la muestra

N: Población Total

Z: Distribución Normal

p: Proporción de aceptación deseada

q: Proporción de aceptación deseada

E: Porcentaje deseado de error

7.1.3. Etapa 3 diseños de la estructura de pavimento rígido

En este capítulo se desarrollan los aspectos concernientes al diseño del pavimento rígido, de acuerdo a lo descrito en el numeral Método de la portland cement association (PCA). Se establecen características de materiales y lineamientos de la metodología de diseño PCA, se presentan los resultados y análisis de los datos de campo tomados conforme con lo descrito en los capítulos anteriores del presente documento. Así mismo, se definen los sectores homogéneos, así como también se ilustra el procedimiento y resultados del diseño de espesores.

7.1.3.1. Determinación de número de ejes

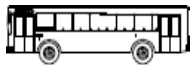
A partir de la información de tráfico recolectada, procesada y proyectada (ver Estudio de tránsito), se determinó el tránsito de diseño, en términos de ejes equivalentes para pavimentos.

Es importante resaltar que las proyecciones de tránsito partirán del 2020 como año de inicio de operación y servicio de las nuevas vías. En adición es relevante mencionar que, de acuerdo con la información poblacional de Villavicencio, Meta, por medio de la *Ecuación 6-4 Tasa de crecimiento r* se obtuvo una tasa de crecimiento de 3% [1].

$$\left[\sqrt[2018-1993]{\frac{531275}{253780}} - 1 \right] * 100 = 2.99 \approx 3\%$$

Para la determinación de las cargas actuantes estimadas a acumular durante el periodo de diseño, se recurrió a lo estipulado por las Resoluciones 4100 de 2004 y 2888 de 2005 del Ministerio de Transporte, en las cuales, dicha entidad establece los límites de pesos y dimensiones para los vehículos de carga que pueden circular en el territorio nacional, a continuación, se muestran las cargas por eje para cada tipo de vehículo:

Tabla 7.4 Cargas por Eje de acuerdo con los máximos autorizados por el Ministerio de Transporte (t)

Tipo de Vehículo	Esquema	Eje Direccional (t)	Eje del Tracto - Camión (t)	Eje del Remolque o Semi remolque (t)
BUS		I 6.0	I 8.0	
C2-PEQUEÑO		I 2.45	I 6.0	

Tipo de Vehículo	Esquema	Eje Direccional (t)	Eje del Tracto - Camión (t)	Eje del Remolque o Semi remolque (t)
C2 GRANDE		<u>I</u> 6.0	<u>I</u> 11.0	
C3		<u>I</u> 6.0	<u>II</u> 22.0	
C4		<u>II</u> 14.0	<u>II</u> 22.0	
C2-S1		<u>I</u> 6.0	<u>I</u> 11.0	<u>I</u> 11.0
C2-S2		<u>I</u> 6.0	<u>I</u> 11.0	<u>II</u> 22.0
C3-S1		<u>I</u> 7.0	<u>II</u> 22.0	<u>I</u> 11.0
C3-S2		<u>I</u> 7.0	<u>II</u> 22.0	<u>II</u> 22.0
C3-S3		<u>I</u> 7.0	<u>II</u> 22.0	<u>III</u> 24.0
C2-R2		<u>I</u> 6.0	<u>I</u> 11.0	<u>I</u> <u>I</u> 11.0 11.0
C3-R2		<u>I</u> 7.0	<u>II</u> 22.0	<u>I</u> <u>I</u> 11.0 11.0
C4-R2		<u>II</u> 14.0	<u>II</u> 22.0	<u>I</u> <u>I</u> 11.0 11.0

Fuente: Resoluciones 4100 de 2004 y 2888 de 2005 del Ministerio de Transporte

Teniendo en cuenta lo descrito se determinó, por tipo de vehículo, el número de vehículos que van a circular durante el período de diseño, así como las cargas por eje empleadas y el tipo de eje de cada tipo de vehículo analizado.

Es importante anotar que se empleó un factor de distribución por carril de 1.00 para para el corredor, toda vez que el mismo se compone de una calzada con un solo carril de distribución por sentido.

Para el diseño de pavimentos se propone realizar el cálculo de espesores de losa por metodología PCA-84, por tanto, se requiere de tener como variable de entrada el espectro de carga bien definido con sus repeticiones de carga por eje proyectadas a 20 años.

A continuación, se presentan los espectros de carga definidos en el estudio de tránsito:

Tabla 7.5 Espectros de carga

Tipo de vehículo	CARGA (Kn)		
	Eje 1	Eje 2	Carga Máxima
B1	50	110	16
B2	60	110	17
C2-P	50	110	16
C2-G	60	110	17

Fuente: Autores

Luego de obtener la carga máxima y las variables $k_2 = 50$ según lo establecido en la *Tabla 6.3 Estimación del factor carril k_2* y conociendo que la tasa r de crecimiento corresponde al 3% se procede a determinar $k_3 = 1.3$ según la relación demostrada en *Tabla 6.4 Estimación de k_3 para la proyección de tráfico*.

Se procede a determinar por medio de la *Ecuación 6-3 Numero de ejes equivalentes 8.2 Ton* para los ejes simples y tándem descritos en la *Tabla 7.6 Numero de ejes equivalentes de 8.2 ton*.

Tabla 7.6 Numero de ejes equivalentes de 8.2 ton

	CARGA (Kn)	#ejes/día	Nejes
EJE SIMPLE	50	101	479245
	60	12	56940
Eje Tándem	110	113	536185

Fuente: Autores

7.2. SECTORIZACIÓN

Con base en las características del tránsito y las características geotécnicas de los materiales existente se determinaron dos sectores de diseño, como se muestra a continuación:

Tabla 7.7 Sectores de diseño

Sector	Desde	Hasta	Módulo subrasante Kg/cm ²
1	Cra 3 este con calle 18	Cra 3 este con calle 19	40.4
2	Cra 3 este con calle 19	Cra 3 este con calle 20	67.13

Fuente: Autores

7.2.1. MÓDULO DE REACCIÓN COMPUESTO

Para determinar los valores del Módulo de Reacción del Apoyo de la Losa (K) o del conjunto Base Granular/Subrasante, se tuvo en cuenta la influencia del espesor de material granular sobre el K subrasante, para lo cual se fijó el espesor de dicho material en 20 cm y se realizó la determinación con base en el contenido de la Tabla 6.1 Valores de K de una losa apoyada sobre capa granular.

Así mismo, para determinar los valores del Módulo de Reacción del Apoyo de la Losa (K) o del conjunto Subbase estabilizada con cemento/Subrasante, se tuvo en cuenta la influencia del espesor de material granular tratado con cemento sobre el K subrasante, para lo cual se fijó el espesor de dicho material en 15 cm y se realizó la determinación con base en el contenido de la Tabla 6.2 Valores de K de una losa apoyada sobre capa estabilizada con cemento hidráulico.

Los valores de Módulo de Reacción K de diseño empleado se muestran a continuación:

Tabla 7.8 Modulo de reacción y K combinado sector 1

	k Subrasante (MPa/m)	Espesor subbase (mm)	k Combinado (MPa/m)
Losa sobre subbase granular	40.40	250	61
Losa sobre subbase tratada con cemento	40.4	150	96

Fuente: Autores

Tabla 7.9 Modulo de reacción y K combinado sector 2

	k Subrasante (MPa/m)	Espesor subbase (mm)	k Combinado (MPa/m)
Losa sobre subbase granular	67.13	150	74
Losa sobre subbase tratada con cemento	67.13	150	147

Fuente: Autores

7.3.DISEÑO DE ESPESORES DE LOSA – METODOLOGÍA PCA

El diseño de la estructura de pavimento se llevó a cabo por el método PCA-84. A continuación se enuncian los principales criterios de diseño empleados:

- Período de diseño: 20 años
- Consumo de fatiga máximo: 100 %
- Consumo máximo de erosión de la capa de soporte de la losa:
 - Materiales granulares básicos y/o estabilizados: 100 %
- Factor de seguridad de carga (FSC): 1.0
- Factor de seguridad por repeticiones de carga (FSRC): 1.10
- Módulo de rotura del concreto (MR): 4.2 MPa

Criterio de aporte de berma: En virtud de la geometría de la sección y, en particular, al hecho que no se puede garantizar la operación de los vehículos comerciales alejados de los bordes de las losas, se adopta la no existencia del efecto de aporte de una berma.

Bajo los criterios anteriores fueron obtenidos los espesores de losa empleando el software BS-PCA de la Universidad del Cauca. A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados de la modelación:

Tabla 7.10 Espesor calculado estructura convencional subbase granular –
Alternativa 1

Sector	Desde	Hasta	K Apoyo losa (Mpa/m)	Espesor Subbase (m)	Sentido SN		
					Espesor de Losa (m)	Consumo Erosión (%)	Consumo Fatiga (%)
1	Cra 3 este con calle 18	Cra 3 este con calle 19	61	0.25	0.20	71.2026	74.8255
2	Cra 3 este con calle 19	Cra 3 este con calle 20	74	0.15	0.20	66.6226	29.2051

Fuente: Autores

Tabla 7.11 Espesor calculado estructura convencional subbase tratada con cemento – Alternativa 2

Sector	Desde	Hasta	K Apoyo losa (Mpa/m)	Espesor Subbase (m)	Sentido SN		
					Espesor de Losa (m)	Consumo Erosión (%)	Consumo Fatiga (%)
1	Cra 3 este con calle 18	Cra 3 este con calle 19	96	0.15	0.29	93.8529	57.7731
2	Cra 3 este con calle 19	Cra 3 este con calle 20	147	0.15	0.19	81.4727	3.0727

Fuente: Autores

De acuerdo con los parámetros obtenidos en la recopilación de información y su estudio se entregará el diseño de la estructura de pavimento rígido realizado por el método de la PCA y modelado en el software BS-PCAA, para el barrio Villas del Alcaraván.

Tomando en cuenta la opción de diseño No 1 las dimensiones de la losa para el sector 1 y 2 serán como se demuestra en la tabla donde se expresa longitud, ancho y espesor de base y subbase.

Tabla 7.12 Especificaciones losa de pavimento alternativa 1

Sector	Longitud (L)	Ancho (W)	Espesor Losa (h1)	Espesor Subbase (h2)
	M	m	cm	Cm
1	4	3.5	20	25
2	4	3.5	20	15

Fuente: Autores

Conociendo el espesor de la losa se establece la dimensiones de los pasadores y los anclajes teniendo un espesor de losa de 20 cm, manteniendo una relación en la esbeltez por debajo de 1.5 con la relación $L/W < 1.5$ y siguiendo los parámetros de la *Tabla 7.12 Especificaciones losa de pavimento alternativa 1* el diámetro de la barra será de 1 Pulgada , la longitud del pasador de 35 cm debido a que es una vía de dos carriles debe tener una separación entre los centros de las barras de 30 cm.

Tabla 7.13 Dimensión recomendada de los pasadores, dovelas o barras de transferencia

Espesor de losa [cm]	Diámetro del pasador [pulgadas]	Longitud pasador [cm]	Separación entre centros de barras [cm]
14 – 15	¾	35	30
16 – 18	7/8	35	
19 – 20	1	35	
21 - 23	1 1/8	40	
24 - 25	1 ¼	45	
26 - 28	1 3/8	45	
29 - 30	1 ½	50	

Fuente: Pavimentos Materiales, construcción y diseño [14]

Para este diseño se utilizarán barras de ½ pulgada con un acero de 280 Mpa y un espesor de losa de 20 cm, se adopta una separación de barras de anclaje de 90 cm.

Tabla 7.14 Dimensión recomendada de la barra de anclaje. H, L y S son el espesor de la losa, la longitud de la barra y la separación entre barras respectivamente

H (cm)	L (cm)	Barra de Ø 3/8"			L (cm)	Barra de Ø 1/2"			L (cm)	Barra de Ø 5/8"		
		S (cm)				S (cm)				S (cm)		
		3.05	3.35	3.65		3.05	3.35	3.65		3.05	3.35	3.65
Acero de f y =280 MPa (40 000 psi)												
15	45	80	75	65	60	120	120	120	70	120	120	120
17.5		70	60	55		120	110	100		120	120	120
20		60	55	55		105	100	90		120	120	120
22.5		55	50	45		95	85	80		120	120	120
25		45	45	40		85	80	70		120	120	120
Acero de f y =420 MPa (60 000 psi)												
15	65	120	110	100	80	120	120	120	100	120	120	120
17.5		105	95	85		120	120	120		120	120	120
20		90	80	75		120	120	120		120	120	120
22.5		80	75	65		120	120	120		120	120	120
25		70	65	60		120	115	110		120	120	120

Fuente: Pavimentos Materiales, construcción y diseño [14]

Se define en las siguientes tablas las dimensiones de los pasadores y barras de anclajes para las dos alternativas.

Tabla 7.15 Dimensiones barras de transferencia

Alternativa	Espesor cm	Pasadores Ø	Longitud cm	Separación cm
1	20	1	35	30
2	20	1	35	30

Fuente: Autores

Tabla 7.16 Dimensiones Barras de amarre

Alternativa	Espesor cm	Barras de anclaje Ø	Longitud cm	Separación cm
1	20	1/2	60	90
2	20	1/2	60	90

Fuente: Autores

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizados los estudios para realizar el diseño de la estructura de pavimento en rígido del barrio villas de Alcaraván, se evidencio que las vías presentan múltiples daños asociados al deterioro por el paso repetitivo de vehículos, condiciones climáticas y la falta de mantenimiento y/o mejoramiento.

La amplitud de la mayor parte de las vías del barrio es de 11 metros, sin embargo, la calle 18 tiene una amplitud de 8.5 metros y la dimensión de la calle 3A ha sido reducida a 8 metros, como consecuencia de la invasión del espacio público al construir las viviendas sobrepasando sus linderos.

Por las vías del barrio circulan un 84% de automóviles, al ser una zona de uso residencial el paso de vehículos C2G (camión de dos ejes grande) se limitan a usos de abastecimiento del comercio y los de recolección de residuos los días establecidos por la empresa Bioagropecuaria razón por la cual el flujo de este tipo de vehículos es de 1%.

Del estudio de suelos realizado se evidencio que se presentan tres estratos de suelo. El primer estrato consta de un material de relleno sin plasticidad, el cual se podría reutilizar como material de mejoramiento o terraplén, en cuanto a los dos estratos siguientes de suelo, presentan en su mayoría material arcilloso de plasticidad media, por lo que no cumple como material de base, subbase o terraplén según el INVIAS.

En cuanto a la capacidad portante del suelo, se determinaron dos sectores del tramo en estudio, dado que los dos primeros apiques tuvieron un CBR promedio de 5.5% y en el tercer apique se obtuvo un CBR de 16.40%. Esto quiere decir que el primer sector tendría una estructura mayor, dado que sus propiedades de resistencia son menores en el suelo de fundación o subrasante.

Del estudio socioeconómico realizado, se logró analizar que la comunidad considera que la construcción de vías en el barrio reduciría los tiempos de salida, además de los daños vehiculares y se mejorarían las condiciones socioeconómicas, es decir aumentaría el comercio y se valorizarían las viviendas.

9. RESULTADOS E IMPACTOS

El estado de las vías del barrio Villas del Alcaraván – Villavicencio ha generado efectos negativos en el desarrollo socio-económico de sus habitantes. Con el proyecto se realizan los estudios y diseños de la estructura de pavimento rígido, con lo que se pretende identificar la estructura de pavimento rígido más acorde a las necesidades de la población. En Tabla 9.2, se presenta los impactos sobre diferentes aspectos que se pueden generar a partir de la implementación del proyecto.

Tabla 9.1. Sección de resultados

Resultado	Indicador	Objetivo Relacionado
Precipitación y temperatura de la zona de estudio	Recopilación de datos del IDEAM, a través del ejecutable CLIMA	Objetivo específico 1
Número de ejes equivalentes en el carril de diseño	Cantidad y carga de vehículos pesados	Objetivo específico 2
Módulo de resiliente de la subrasante	Correlación con el CBR	Objetivo específico 4
Condiciones socioeconómicas	Encuestas	Objetivo específico 5

Fuente: Autor

Tabla 9.2. Impactos

Aspecto	Impacto	Supuesto	Plazo
Social	Mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector.	Reducción de los tiempos de desplazamiento, tasa de accidentalidad y riesgo de contraer infecciones o afectaciones por vía respiratoria y auditiva.	Largo
Económico	Mejorar las condiciones económicas de los habitantes y del sector	Generará un incremento en la valorización de los predios. Mejoramiento y crecimiento económico de las empresas, microempresas y comercios aledaños al sector, producto del aumento del flujo de vehículos comerciales con materias primas necesario para el desarrollo laboral de los mismos.	Mediano y Largo
Académico	Aportar a la comunidad un proyecto que pueda servir de guía para trabajos futuros similares.	Dar un inicio en proyectos de diseños de pavimentos en vías urbanas, dejando una guía para el desarrollo de metodología de diseño de pavimento rígido por la PCA.	Corto
Técnico		Generación de estudios complementarios para	Corto

	el mejoramiento de las vías.	
Incremento del tránsito que utilizara las nuevas estructuras de pavimento.	Aumento del flujo de vehículos en la zona debido a la generación de tránsito “atraído” y “tránsito generado”.	Mediano y Largo

Fuente: Autor

10. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

10.1. CONCLUSIONES

Se dio cumplimiento al objetivo general planteado, se realizaron todos los estudios pertinentes para establecer las variables que fueron empleadas para el diseño del pavimento rígido por el método PCA del barrio Villas del Alcaraván de Villavicencio Meta.

Se realizó un plano topográfico del Barrio Villas del Alcaraván para establecer las principales características físicas del barrio Villas del Alcaraván, se apreció que las vías presentan múltiples daños asociados al deterioro por el paso repetitivo de vehículos, condiciones climáticas y la falta de mantenimiento y/o mejoramiento.

Se recolectó información de las estaciones hidrológicas del IDEAM por medio del software "Clima" para determinar los factores climatológicos en el diseño de la estructura de pavimento, evidenciando que se presentan dos temporadas de mayores precipitaciones, la primera entre abril y junio y la segunda entre noviembre y diciembre.

Para determinar el tránsito que se presenta en el barrio Villas del Alcaraván se realizaron 3 aforos vehiculares. Se determinó que los vehículos que más transitan por la zona son los automóviles, con un 84% en la composición vehicular.

Se determinaron las características del suelo existente a partir de 3 apiques, analizando CBR, límites de Atterberg y la capacidad portante. Se encontró que su subrasante está compuesta por material arcilloso limoso y arcilloso arenoso y presenta mejoramiento en su capa superficial con material de relleno de color gris. El CBR en los 3 apiques es superior a 5% por lo que se optó por realizar un diseño en el cual se le hacer mejoramiento a la subrasante y otro en el que no se le hará.

Se identificó la necesidad de la comunidad del barrio Villas del Alcaraván de Villavicencio Meta a través de la aplicación de una encuesta la cual se realizó a 50 viviendas del barrio, de un total de 138 que comprenden el barrio, con esta encuesta se identificaron aspectos poblaciones de habitabilidad, costo de las viviendas y la percepción de los habitantes con el estado actual de los corredores viales del sector y de la importancia de los mismos.

10.2. TRABAJOS FUTUROS

Se pretende que el presente proyecto sirva como guía para la realización de proyectos de diseño de pavimentos en vías urbanas por la PCA y pueda ser empleado en barrios de la región que no cuenten con un pavimento adecuado.

Teniendo en cuenta que este proyecto posee los estudios requeridos para diseño de pavimentos, se considera pertinente llevar a cabo un diseño de una estructura de pavimento flexible para el Barrio Villas de Alcaraván, realizar una comparación y estimación de los costos de la construcción de ambos tipos de pavimentos y evaluar cuál de ellos resulta mejor ejecutar.

Finalmente, la construcción de vías contribuye al crecimiento social y económico de las comunidades, por lo que resulta de vital importancia ampliar la propuesta de proyectos de estudios y diseños de pavimentación.

11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dane, «Dane,» [En línea]. Available: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018>. [Último acceso: 09 12 2019].
- [2] A. Fonseca Montejó, de *Ingeniería de pavimentos*, Bogotá, Universidad católica de colombia, 2014, p. 416.
- [3] Instituto boliviano del cemento y el hormigón, *Diseño de espesores para pavimentos de hormigón en carreteras y calles método de la portland cement association ecuador*, Ministerio de trasportes y obras publicas del ecuador, 1995.
- [4] A. Fonseca Montejó, de *Ingeniería de Pavimentos Fundamentos, estudios basicos y diseño, vol. III*, Bogotá, Universidad Católica de Colombia, 2014, p. 5.
- [5] Portland Cement Association (PCA), «Metodología de dieño PCA 84,» 1984.
- [6] H. A. Rondón Quintana y F. A. Reyes Lizcano, Pavimentos Materiales, construcción y diseño, Bogotá: ECOE Ediciones, 2015.
- [7] Y. M.s. Bolaño, *Diseño de pavimentos en la carrera 46, entre calles 75 y 77 sur "Tesis de Especialización"*, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [8] A. Montejó Fonseca, de *Ingeniería de pavimentos para carreteras*, Bogotá, Universidad Católica de Colombia, 2002, p. 62.
- [9] A. Montejó Fonseca, *Ingeniería de pavimentos para carreteras*, Segunda ed, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 1998.
- [10] A. D. Mora Cano y C. A. Argüelles Saenz, *Diseño de pavimento rigido para la urbanizacion caballero y gongora, municipio de honda - tolima*, Honda: Universidad Catolica de Colombia, 2015.
- [11] M. I. Cogollo Forero y A. Y. Silva Bernal, *Modelación numérica de pavimentos rígidos mediante modulación convencional y de losas cortas*, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2018.
- [12] A. M. Sierra Garzón , *Propuesta para el diseño de la estructura del pavimento de la vía puente de piedra - colón - variante madrid, cundinamarca*, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2017.
- [13] M. Escarraga López y M. P. Mejía Romero, *Diseño de la estructura de pavimento, implementando geoceldas para mejorar la capacidad portante del suelo de la vía ubicada entre k10+500 y k11+500 en san josé del guaviare–guaviare*, Villavicencio: Universidad Santo Tomás, 2019.
- [14] H. A. Rondon Quintana y F. A. Reyes Lizcano, Pavimentos materiales, construccion y diseño, Bogotá: Ecoediciones, 2015.
- [15] G. Baca Urbina, «Evaluación de Proyectos. 7ma edición,» México D.F., Editorial McGraw Hill, 2013, p. 41.

12. ANEXO 1 AFORO VEHICULAR

13. ANEXO 2 ANÁLISIS DE CLIMA

14. ANEXO 3 ESTUDIO DE SUELOS

15. ANEXO 4 ESTUDIO SOCIO-ECONÓMICO