



Ministerio de Educación
Universidad Federal de Integración Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnología,
Infraestructura y Territorio
Centro Interdisciplinar de Tecnología e Infraestructura
Ingeniería Civil de infraestructura

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO PLACA-
HUELLA Y UN PAVIMENTO RÍGIDO TRADICIONAL PARA EL MEJORAMIENTO
DE UN TRAMO DE VÍA TERCIARIA EN COLOMBIA**

YÉSSICA BULLA RIVERA

Foz de Iguazú, PR
Mayo de 2023



Ministerio de Educación
Universidad Federal de Integración Latino-Americana
Instituto Latino-Americano de Tecnología,
Infraestructura y Territorio
Centro Interdisciplinar de Tecnología e Infraestructura
Ingeniería Civil de infraestructura

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO PLACA-
HUELLA Y UN PAVIMENTO RÍGIDO TRADICIONAL PARA EL MEJORAMIENTO
DE UN TRAMO DE VÍA TERCIARIA EN COLOMBIA**

YÉSICA BULLA RIVERA

Trabajo de Conclusión de Curso
presentado a la Banca Examinadora
del Curso de Ingeniería Civil de
Infraestructura de la UNILA, como
parte de los requisitos para obtener el
título de Ingeniera Civil de
infraestructura.

Orientador: Profº. Dr. Noé Villegas
Flores

Foz de Iguazú, PR
Mayo de 2023

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a mi familia, quienes iluminan mi camino con su presencia.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, quien merece toda la gloria y honra. Gracias a Él, por su infinito amor y misericordia, por no abandonarme incluso en los momentos en que más alejada estuve. Sin su amor, sabiduría y bendiciones, este logro no hubiera sido posible.

A la UNILA, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, bajo un entorno cultural sumamente enriquecedor. Estoy orgullosa de ser parte de esta institución. Siempre llevaré conmigo las experiencias y los conocimientos adquiridos durante mi paso por ella.

A mis profesores, en especial, a mi orientador el Dr. Ing. Noe Villegas, quiero expresar mi gratitud por compartir su conocimiento conmigo. Su dedicación y compromiso con mi formación académica han sido esenciales para mi crecimiento personal y profesional. Agradezco la paciencia, constante motivación y el tiempo que han invertido en ayudarme a mejorar.

A mi familia, gracias por su apoyo incondicional, por ser mi sostén en los momentos difíciles y por celebrar cada uno de mis éxitos. Gracias por creer en mí, por brindarme su amor inagotable y por acompañarme en cada paso que he dado. Su confianza y sacrificio han sido el motor que me ha impulsado a perseverar incluso en los momentos más desafiantes. Estaré eternamente agradecida por su presencia en mi vida.

A mis amigos y colegas, gracias por compartir risas y lágrimas, y por recordarme constantemente que el camino se hace más ligero cuando se camina en buena compañía.

¡A todos ustedes, mi más profunda gratitud!

“Pon en manos del Señor tu Dios todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán”

Proverbios 16:3

RESUMO

A Colômbia tem historicamente enfrentado deficiências significativas em sua infraestrutura rodoviária, impactando negativamente no desenvolvimento social e econômico do país. Além disso, essas deficiências têm-se relacionado à presença do conflito armado no país. No entanto, avanços significativos foram alcançados nas últimas décadas no setor de transporte. Esses avanços têm se concentrado principalmente na rede rodoviária primária e secundária, deixando a rede viária terciária em desvantagem, com contínuas limitações em termos de qualidade da infraestrutura. Para abordar essa problemática, foi desenvolvido o sistema construtivo de pavimentação em Placa-huella, projetado especificamente para as condições dessas vias. Ele é considerado uma alternativa econômica em comparação com outras técnicas de pavimentação, o que tem levado à substituição dos métodos tradicionais. O objetivo principal deste estudo é realizar uma análise comparativa entre o pavimento em Placa -huella, seguindo as diretrizes do INVIAS e DNP, e o pavimento rígido tradicional. Definindo, para cada caso, os custos associados e os aspectos construtivos inerentes ao estudo de caso na região de Líbano-Tolima. Para isso, foram coletados os parâmetros de projeto e o custo global de um projeto de Placa-huella em fase de construção. Em seguida, um pavimento rígido simples foi projetado utilizando os mesmos parâmetros e seguindo a metodologia de projeto da AASHTO-93. Os resultados indicam que ambas as alternativas têm vantagens e desvantagens dependendo de cenários específicos. No entanto, para o caso particular do trecho estudado, a implementação do pavimento em Placa-huella mostrou-se tecnicamente e economicamente menos favorável. Além disso, o estudo revelou a ausência de pesquisas prévias que demonstrem a adequação desse sistema construtivo em comparação com outras alternativas, bem como o uso indiscriminado dessa técnica na melhoria de vias terciárias.

Palavras-chave: Vias terciárias, Placa-huella, pavimento rígido simples, INVIAS, DNP, AASHTO.

RESUMEN

Colombia ha experimentado históricamente importantes deficiencias en su infraestructura vial, impactando negativamente en el desarrollo social y económico del país. Incluso se relaciona las deficiencias de las conexiones viales con la presencia del conflicto armado presente en el País. Sin embargo, en las últimas décadas se han logrado avances significativos en el sector del transporte. Estos avances, se han concentrado principalmente en la red vial primaria y secundaria, quedando en desventaja la red de vías terciarias, la cual continua con grandes limitaciones en cuanto a la calidad de su infraestructura. Para abordar esta problemática, se ha desarrollado el sistema constructivo de pavimentación en Placa-huella, diseñado específicamente para las condiciones de estas vías. Se considera como una alternativa económica en comparación a otras técnicas de pavimentación, lo cual ha desplazado el uso de las técnicas tradicionales. Este trabajo tiene como objetivo principal realizar un análisis comparativo entre un pavimento del tipo Placa-huella de acuerdo con las guías del INVIAS y el DNP, y un pavimento rígido tradicional, en el mejoramiento de vías terciarias, para el caso de estudio de la región del Líbano-Tolima. Definiendo para cada tipo de pavimento, los aspectos constructivos y los costos asociados. Para esto, se han recopilado los parámetros de diseño y el costo global de un proyecto Placa-huella en etapa constructiva. Posteriormente se ha diseñado bajo los mismos parámetros, un pavimento rígido simple, haciendo uso de la metodología de diseño de la AASHTO-93. De esta manera, se pudo determinar que las dos alternativas tienen ventajas y desventajas en diferentes escenarios, sin embargo, para el caso particular del tramo estudiado, la implementación del pavimento en Placa-huella, se demostró técnica y económicamente menos favorable. Por otra parte, se evidenció la ausencia de estudios previos que demuestren la idoneidad de este sistema constructivo frente a cualquier otra alternativa y el uso indiscriminado de la técnica en el mejoramiento de vías de tercer orden.

Palabras-clave: Vías terciarias, Placa-huella, pavimento rígido simple, INVIAS, DNP, AASHTO

ABSTRACT

Colombia has historically experienced significant deficiencies in its road infrastructure, negatively impacting the country's social and economic development. Furthermore, these deficiencies in road connections are closely related to the presence of armed conflict in the country. However, significant progress has been made in the transportation sector in recent decades. These advancements have primarily focused on the primary and secondary road networks, leaving the tertiary road network at a disadvantage with ongoing limitations in terms of infrastructure quality. To address this issue, the Placa-huella paving system has been developed specifically for these road conditions. It is considered an economical alternative compared to other paving techniques, leading to the displacement of traditional methods. The main objective of this study is to conduct a comparative analysis between Placa-huella pavement, following the guidelines of INVIAS and DNP, and traditional rigid pavement. This analysis aims to determine the associated costs and construction aspects relevant to the case study in the Líbano-Tolima region. Design parameters and the overall cost of a Placa-huella project under construction have been collected. Subsequently, a simple rigid pavement has been designed using the same parameters and following the design methodology of AASHTO-93. The findings indicate that both alternatives have advantages and disadvantages depending on specific scenarios. However, for the particular case of the studied section, the implementation of Placa-huella pavement was found to be technically and economically less favorable. Additionally, the study revealed the absence of prior research demonstrating the suitability of this construction system compared to other alternatives, as well as the indiscriminate use of this technique in the improvement of tertiary roads.

Keywords: Tertiary roads, Placa-huella, simple rigid pavement, INVIAS, DNP, AASHTO.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Densidad de la red vial terciaria con alta incidencia de conflicto	16
Figura 2. Distribución de Vías terciarias en Colombia (a) Distribución por categoría (b) Distribución por entidad.....	18
Figura 3. Vía terciaria típicamente en mal estado	19
Figura 4. Estimativas del estado de la red terciaria	19
Figura 5. Vía terciaria con afirmado.....	20
Figura 6. Niveles de intervención en las vías terciarias	21
Figura 7. Vía terciaria con Placa-huella.....	21
Figura 8. Vía terciaria con pavimento rígido	23
Figura 9. Ubicación geográfica de Colombia en Suramérica.....	28
Figura 10. Ubicación geográfica del Dpto. del Tolima	29
Figura 11. Orografía Colombiana	30
Figura 12. Identificación de zonas volcánicas en el Tolima.....	31
Figura 13. Amenazas sísmicas en el país	32
Figura 14. Placas tectónicas de Sudamérica.....	32
Figura 15. Ubicación geográfica del Líbano	32
Figura 16. Ubicación geográfica del Líbano	33
Figura 17. Amenaza sísmica en el Líbano.....	34
Figura 18. Esfuerzos en un pavimento rígido y un Pavimento flexible	38
Figura 19. Capas que conforman un pavimento (a) Sección típica de un Pav. Rígido) (b) Sección típica de un Pav. Flexible.....	39
Figura 20. Pavimento de concreto simple.....	42
Figura 21. Sistemas de transferencia de carga en un pavimento rígido (a) Mediante trabazón de agregados (b) Mediante pasadores.....	42
Figura 22. Pavimento de concreto reforzado.....	44
Figura 23. Pavimento continuamente reforzado	44
Figura 24. Proceso constructivo típico de un pavimento continuamente reforzado	45
Figura 25. Pistas “Road test”	49
Figura 26. Vista de un tramo recto en Placa-huella.....	52
Figura 27. Placa-huella tipo (a) Encofrado de los módulos (b) Resultado final	53
Figura 28. Proceso constructivo del sistema Placa-huella.....	55
Figura 29. Ejemplo de elección de sobre ancho para un tipo de curva	56
Figura 30. Vehículo de diseño de la Guía INVIAS	57
Figura 31. Flujograma de actividades.....	60
Figura 32. Identificación del tramo de vía	75
Figura 33. Corredor vial Manizales-Cambao	76
Figura 34. Perfil longitudinal	79
Figura 35. Distribución de los elementos de la sección transversal	80
Figura 36. Representación del Eje geométrico del tramo (a) Identificación de puntos representativos (b) Vista en planta del sistema.....	81
Figura 37. Acondicionamiento de la superficie	82
Figura 38. Instalación de formaleta	82
Figura 39. Instalación de la armadura de refuerzo	83
Figura 40. Fundición de concreto hidráulico en cintas y riostras	84

Figura 41. Pavimento con cintas, riostras y concreto ciclópeo	85
Figura 42. Conformación de la berma-cuneta y bordillos (a) Instalación de formaleta (b) Fraguado del concreto	86
Figura 43. Resultado final del proyecto Placa-huella.....	87
Figura 44. Vehículo campero con carga típica de la región.....	94
Figura 45. Cálculo del espesor del pavimento (a) Condiciones reales del tramo (b) condiciones más desfavorables	99

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de vehículos en Colombia.....	43
Tabla 2. Acero de refuerzo de acuerdo con el DNP.....	58
Tabla 3. Acero de refuerzo de acuerdo con el INVIAS	59
Tabla 4. Normativas que rigen el estudio de suelos	62
Tabla 5. Valores factor de daño	67
Tabla 6. Relación entre los valores de Capacidad de Soporte (CBR) y módulo de reacción de la subrasante (K).....	68
Tabla 7. Valores de confiabilidad (R)	69
Tabla 8. Valores de desviación normal estándar (ZR).....	70
Tabla 9. Valores de desviación estándar total (So).....	70
Tabla 10. Valores de serviciabilidad inicial (Po).....	71
Tabla 11. Valores de serviciabilidad final (Pt)	71
Tabla 12. Valores de coeficiente de drenaje (Cd)	72
Tabla 13. Valores de coeficiente de transferencia de carga (J)	72
Tabla 14. Valores recomendados para las barras de anclaje	73
Tabla 15. Valores recomendados para la selección de los pasadores de carga	74
Tabla 16. Aforo vehicular en una semana típica de movilización.....	78
Tabla 17. Identificación de Coordenadas.....	80
Tabla 18. Resumen de criterios del pavimento Placa-huella implementado.....	87
Tabla 19. Consumo de concreto ciclópeo	88
Tabla 20. Consumo de concreto hidráulico (a) Elementos vigas riostras (b) Elementos cintas- huellas (c) Elementos Bermas-cunetas-Bordillos (d) Elemento Rampla de acceso y Bordillo.....	89
Tabla 21. Cotización inicial de materiales	90
Tabla 22. Costo final de los materiales para la producción del concreto Placa-huella...91	91
Tabla 23. Cálculo de la desviación estándar (S).....	93
Tabla 24. Cálculo del estimador de la desviación estándar (δ).....	93
Tabla 25. Rango de valores para el TPDA	94
Tabla 26. Distribución porcentual de vehículos comerciales (A).....	94
Tabla 27. Cálculo del Factor de proyección (Fp) para el periodo de diseño	95
Tabla 28. Cálculo del factor camión (FC).....	96
Tabla 29. Resumen de parámetros con valores redondeados	98
Tabla 30. Volumen de concreto del pavimento con e=13 cm	101
Tabla 31. Volumen de concreto del pavimento con e=15 cm	102
Tabla 32. Estimativa del consumo de acero de las barras de anclaje para un e=13 cm y e=15 cm	102
Tabla 33. Estimativa del consumo de acero de las barras transversales del pavimento de e=13 cm y juntas transversales a cada 3 m	103
Tabla 34. Estimativa del consumo de acero de las barras transversales del pavimento de e=15 cm y juntas transversales a cada 3 m	103
Tabla 35. Estimativa del consumo de acero de las barras transversales del pavimento de e=15 cm y juntas a cada 2,5 m	104
Tabla 36. Costo final de los materiales para la producción del pavimento tradicional con e=13 cm y juntas transversales a cada 3 m	104

Tabla 37. Costo final de los materiales para la producción del pavimento tradicional con e=15 cm y juntas transversales a cada 3 m	105
Tabla 38. Costo final de los materiales para la producción del pavimento tradicional con e=15 cm y juntas transversales a cada 2,5 m	105
Tabla 39. Características finales de las dos alternativas de pavimentación	106

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABLAS	11
 1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	 15
1.1 Impacto de la infraestructura vial en el marco económico y social en Colombia	15
1.2 Clasificación de vías en Colombia.....	17
1.3 Técnicas de mejoramiento de vías terciarias	18
1.4 Contextualización del trabajo de conclusión de curso.....	22
1.5 Objetivos	24
1.5.1 Objetivo General	24
1.5.2 Objetivos Específicos	24
1.6 Métodos científicos y limitaciones del trabajo	25
1.7 Estructura del trabajo	26
 2. CAPITULO 2: ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	 28
2.1 La región del Líbano – Tolima.....	28
2.1.1 Características Orográficas, Climatológicas y Sísmicas.....	30
2.1.2 Manejo de los recursos económicos, contratación y uso de la información	34
2.1.3 Conflictos internos.....	36
2.2. Pavimentos y su aplicación en vías terciarias.....	37
2.2.1 Pavimento rígido tradicional	41
2.2.1.1 Métodos de dimensionamiento.....	45
2.2.1.2 Vehículo y Cargas de diseño.....	48
2.2.1.3 Clima y tipo de suelo	49
2.2.2 Pavimento del tipo Placa-huella	50
2.2.2.1 Vehículo y cargas de diseño	56
2.2.2.2 Clima y tipo de suelo	57
 3. CAPITULO 3: METODOLOGÍA.....	 60
3.1 Etapa I: Identificación del proyecto de referencia en el sistema Placa-huella..	61
3.2 Etapa II: Dimensionamiento del pavimento rígido convencional mediante la metodología de la AASHTO.....	64
3.2.1 Número de aplicaciones de Ejes simples equivalentes de 82 kN a lo largo del período de diseño (W18)	64
3.2.2 Módulo de reacción (K)	67

3.2.3 Módulo de elasticidad del concreto (E_c)	68
3.2.4 Módulo de rotura del concreto (S'_c)	68
3.2.5 Confiabilidad (R) y Desviación normal estándar (ZR)	69
3.2.6 Error estándar combinado o desviación estándar total (S_o)	70
3.2.7 Índice de Serviciabilidad (ΔPSI)	71
3.2.8 Coeficiente de Drenaje (C_d)	71
3.2.9 Coeficiente de transferencia de cargas (J)	72
4.1 Presentación del proyecto.....	75
4.2 Recopilación de los parámetros de diseño del pavimento Placa-huella.....	78
4.3 Proceso constructivo.....	81
4.4 Costos del tramo en el sistema Placa huella.....	88
5. CAPITULO 5: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	92
5.1 Recopilación de los parámetros de diseño del pavimento rígido tradicional...92	
5.2 Costos del tramo en un pavimento rígido simple	100
5.3 Análisis comparativo	106
6. CAPITULO 6: CONCLUSIONES	109
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	111
7. ANEXO A- CARTA DE CERTIFICACIÓN DE LA JAC	117
8. ANEXO B- COTIZACIÓN INICIAL DE MATERIALES	118

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Impacto de la infraestructura vial en el marco económico y social en Colombia

Colombia transporta cerca del 80% de sus productos y mercancías por tierra, manifestándose el transporte de estas cargas como de vital importancia en la dinámica de la economía del país (ROSAS, 2013). En este sentido, las condiciones de la infraestructura vial y el compromiso del sector del transporte tienen una gran influencia en el crecimiento y desarrollo económico de la nación.

En las últimas décadas, Colombia ha mostrado una falta de capacidad, sobre todo, de calidad en la infraestructura vial, siendo esto precisamente, una de sus principales limitaciones y restricciones de mejora de los indicadores productivos y competitivos que han impactado en su crecimiento económico, en relación con algunos otros países de America Latina y Caribe (LOPEZ y MURIEL, 2018).

En el transcurso de la década 2010-2020, se han comenzado a reflejar distintos y significativos avances en el sector del transporte, lo que puede confirmarse en los resultados presentados por el Foro Económico Mundial (World Economic Forum- WEF) por medio de su informe de Competitividad Global del año 2019, en el cual Colombia ha mejorado el estado de competitividad del lugar 120 (de 138 totales) al 104 (en relación con 141 países). Si bien, la Administración pública mantiene realizando esfuerzos significativos en el desarrollo de infraestructura, se asume que la puntuación obtenida no refleja claramente el gran potencial técnico, ambiental y financiero de Colombia con respecto a otros países de la misma región.

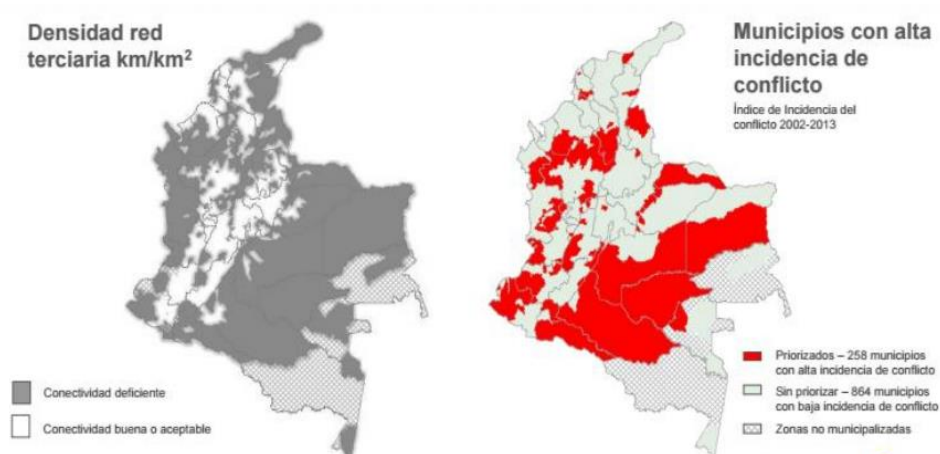
A partir del año 2020, se ha vivido un “apurado y complejo” periodo económico derivado de la emergencia sanitaria debido al SARs COVID-19 (pandemia) a nivel internacional. En el cual, el sector del transporte ha sido perjudicado, así como tantos otros sectores, influyendo en la poca o nula recuperación de infraestructura vial que Colombia solicitaba con gran apremio.

Enseguida del plan de reactivación económico (postpandemia), Colombia ha venido atendiendo los diversos desafíos, retos y cambios que sugiere su situación vial. A este respecto, es ideal que el Gobierno de Colombia en aras de alcanzar los objetivos para mejorar sus índices de competitividad, considere un análisis, diagnóstico y estudio

de los sectores principales donde se han concentrado las mayores inversiones, así como también cuáles son los sectores, de forma histórica, que han permanecido en atraso y abandono a la inversión pública. Puesto que, las evidencias apuntan a que las limitaciones en la red vial en Colombia están mayormente concentradas en las zonas rurales, perjudicando no solo el desarrollo social regional sino además el desarrollo económico de todo el país, debido a las grandes dificultades que presentan diferentes sectores para disponer sus productos al alcance de los consumidores, aumentando así los costos de producción, como le sucede al sector agropecuario entre varios otros que contribuyen en gran manera al Producto Interno Bruto (PIB) total nacional.

Por otra parte, se ha evidenciado además que las conectividades deficientes que presentan diferentes regiones del país, están directamente relacionadas con la presencia o ausencia del conflicto armado. De acuerdo con esto, la Figura 1 expone la notable relación que existe en este país, entre las conectividades deficientes de infraestructura de transporte con los municipios que han tenido mayor presencia del conflicto interno armado (VALDERRAMA, 2017).

Figura 1. Densidad de la red vial terciaria con alta incidencia de conflicto



Fuente: Ariza y Romero (2017, apud. DNP – Ministerio de transporte)

En este sentido, la dificultad y falta de acceso a las zonas rurales en Colombia ha generado por consiguiente una serie de consecuencias sociales con las cuales el país ha tenido que tratar. Un ejemplo de esto, son los acuerdos de paz firmados el 26 de septiembre del año 2016, en los que uno de los puntos principales consistía en la reforma

rural integral, siendo la infraestructura de transporte un pilar fundamental para la formulación de los planes de acción y desarrollo.

En este pilar las vías de tercer orden juegan un papel esencial y su intervención se convirtió a partir de entonces en uno de los ejes principales para el cumplimiento de la transformación del campo colombiano, y por ende del desarrollo social y económico no solo a nivel regional sino nacional.

1.2 Clasificación de vías en Colombia

De acuerdo con el ministerio de transporte y el Instituto Nacional de Vías – INVIAS (entidad adscrita al Ministerio de Transporte, encargada de ejecutar políticas y proyectos relacionados con la infraestructura vial a cargo de la nación) (LOPEZ y MURIEL, 2018), la clasificación de vías en Colombia se da mediante tres grupos de acuerdo con su importancia según el criterio de funcionalidad, estas son, las de primer orden conformadas por todas aquellas que integran las capitales, las fronteras, los puertos, y las principales zonas de producción y consumo del país.

Las de segundo orden conformadas por las que unen las cabeceras municipales entre sí, y/o que conectan con una vía de primer orden, actualmente el país se encuentra desarrollando importantes obras de infraestructura vial denominadas de cuarta generación (4G) que incluyen túneles, viaductos, rehabilitación y construcción de dobles calzadas para el mejoramiento de la movilidad en estos dos primeros grupos, y por último se tienen las vías terciarias o de tercer orden, conformadas por aquellas que comunican las cabeceras municipales con las zonas rurales y los cascos urbanos más pequeños.

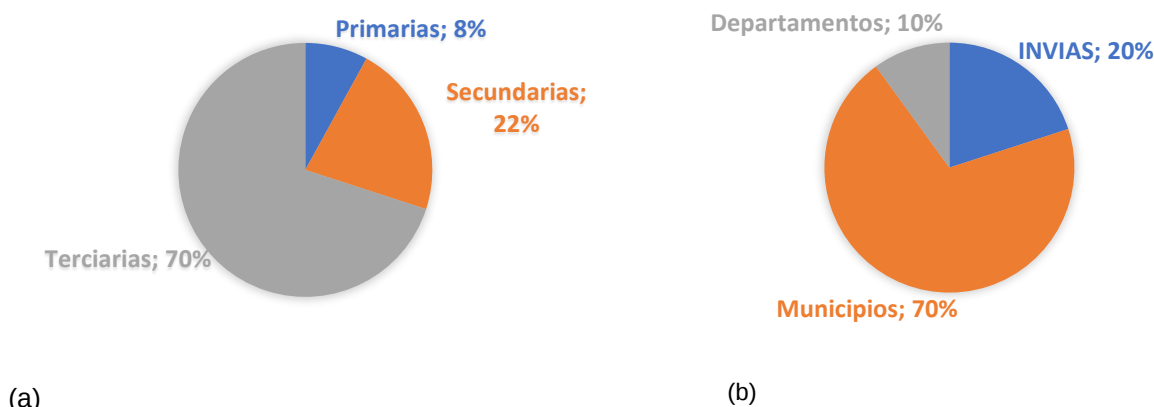
Actualmente las entidades responsables no tienen un registro exacto de la composición de la red terciaria, sin embargo, de acuerdo con algunas estimaciones oficiales presentadas en la Figura 2 (a) el 8% de la malla vial total corresponde a la red de vías de primer orden, el 22% a la red de vías de segundo orden, y el 70% a la red de vías de tercer orden, esta última con una extensión aproximada de 142.284 Km (CEA y ESPINOSA, 2021).

En lo que a esto respecta, a inicios del presente año, fue informado por algunos medios oficiales que el departamento nacional de planeación (DNP), el ministerio de

transporte, INVIAS y algunas otras entidades, han estado trabajando mediante el uso de imágenes satelitales e inteligencia artificial, para la identificación de la red de vías terciarias, buscando reducir los costos de los inventarios.

Sin embargo, los resultados de estos trabajos no han sido publicados oficialmente hasta el momento, por lo que aún se sigue trabajando con las estimaciones anteriormente mencionadas. De tales estimaciones tal y como lo indica además la Figura 2 (b), se considera que el 10% de esta red está a cargo de los departamentos (Gobernación), el 20% está a cargo del INVIAS y el 70% está bajo la responsabilidad de los propios municipios mediante la administración de las alcaldías (VALDERRAMA,2017).

Figura 2. Distribución de Vías terciarias en Colombia (a) Distribución por categoría (b) Distribución por entidad



Fuente: adaptado de Mintransporte (et al., 2014)

Fuente: adaptado de Valderrama (2017)

1.3 Técnicas de mejoramiento de vías terciarias

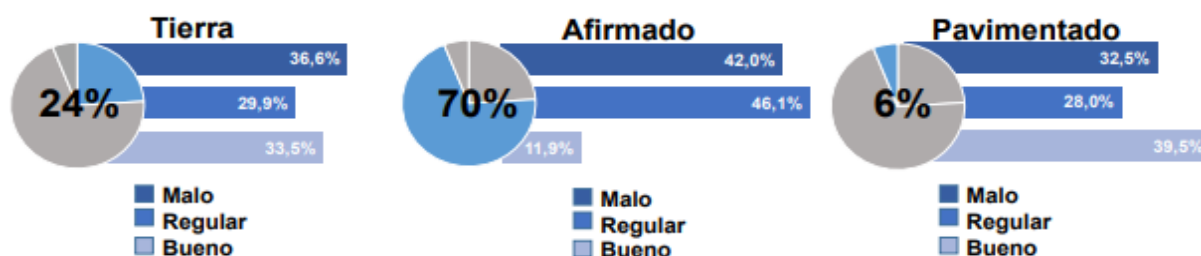
Es importante exponer inicialmente un estado típico de una vía terciaria en mal estado, la cual ha sido representada conforme a la Figura 3, en la que puede evidenciarse lo susceptible que puede llegar a ser en épocas de invierno y en general toda la red terciaria que se encuentra en tierra, al punto de llegar a alcanzar un estado de deterioro que la convierte en un riesgo para el usuario que se ve obligado a transitarla.

Figura 3. Vía terciaria típicamente en mal estado

Fuente: Agreda (2018)

Hasta ahora son utilizadas principalmente las soluciones de mejoramiento para la problemática presente, tales como afirmados con materiales granulares naturales o tratados y/o estabilizaciones químicas principalmente de cal o cemento, o mediante la pavimentación.

Para el año 2016, tal y como es indicado en la Figura 4, el 24% de las vías terciarias se encontraban en tierra siendo que un 36,6% estaban en mal estado, el 70% se encontraba en afirmado con un 42% en mal estado, indicando ser la solución más empleada en la mayoría de las vías terciarias donde ha existido la participación del estado, y solo el 6% se encontraba pavimentado con un 32,5% en mal estado (DNP, 2016), demostrando de esta manera ser la última medida a ser requerida dentro de las soluciones que se han venido implementando.

Figura 4. Estimativas del estado de la red terciaria

Fuente: DNP (2016)

La alternativa de afirmado por su parte, ejemplificada en la Figura 5, consiste específicamente en disponer una o varias capas de material granular que cuente con las especificaciones requeridas por el INVIAS, para posteriormente ser extendido y compactado sobre la subrasante. Esta, es una solución que tiene como finalidad mejorar temporalmente las condiciones de transitabilidad a nivel de la capa de rodadura, siendo aun una alternativa de mejoramiento altamente susceptible a los cambios climáticos. A este respecto, se ha mostrado que, al tener un corto periodo de tiempo funcional, no se ha podido considerar hasta ahora como una solución efectiva a la problemática.

Figura 5. Vía terciaria con afirmado



Fuente: González y Hernández (2015)

Es importante mencionar que, las intervenciones en las vías terciarias, pueden ser clasificadas por tres niveles tal y como se observa en la Figura 6, la primera está relacionada a todas aquellas actividades de mantenimientos rutinarios, las cuales son realizadas por parte de la misma comunidad.

La segunda está relacionada a los mantenimientos periódicos, en los cuales se hace necesaria la construcción de obras de contención y drenaje y la implementación, por ejemplo, de afirmados o de pavimentación con Placa-huella, estas actividades deben ser realizadas por parte de las entidades responsables; y, por último, en el tercer nivel se da lugar a la posible aplicación de nuevas tecnologías. Este sería el proceso correcto a la hora de analizar las necesidades de intervención de una vía terciaria.

Figura 6. Niveles de intervención en las vías terciarias

Fuente: Adaptado de Valderrama (2017)

La Placa -huella por su parte, ilustrada en la Figura 7, es una técnica que tuvo sus inicios en el año 2007, siendo este pavimento considerado como “una derivación de los pavimentos rígidos tradicionales” (MURCIA,2015, p 2). Su aplicación tiene uso exclusivo en vías terciarias, con el fin de mejorar el tránsito en terrenos que presentan mal estado y pendientes mayores al 10%.

Figura 7. Vía terciaria con Placa-huella

Fuente: González y Hernández (2015)

En los últimos años, se ha observado un incremento significativo en este tipo de solución en relación a la técnica de pavimentación convencional de concreto hidráulico, motivo por el cual el DNP y el ministerio de transportes mediante el INVIAS, han creado

guías de diseño bajo una serie de criterios mínimos para su ejecución, con el objetivo de brindar a la ingeniería nacional un conocimiento teórico- práctico y así homogenizar y asegurar los resultados de dicha técnica. Una de las características más particulares de esta metodología y del seguimiento y aplicación de dichas guías, es que son admitidos valores preestablecidos para las capas que componen el pavimento, los cuales dicen ser aplicables a cualquier tipo de vía terciaria que cumpla con las condiciones exigidas.

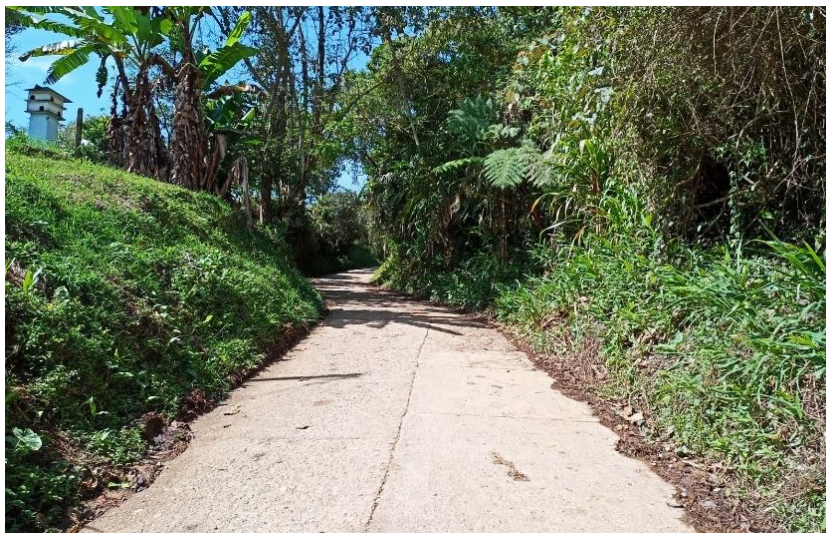
1.4 Contextualización del trabajo de conclusión de curso

Este trabajo de conclusión de curso se ha centrado principalmente en dos aspectos, el primero consiste en estudiar soluciones que contribuyan al progreso de las zonas rurales, y que aseguren un óptimo desarrollo social y una economía más competitiva mediante el fortalecimiento de los medios viales y posteriormente un pleno desarrollo de sus cadenas productivas, para que de esta manera se atiendan progresivamente las problemáticas de los vínculos aun existentes entre las brechas sociales y productivas del país a causa de la ineficiente infraestructura vial en las zonas rurales.

El segundo aspecto visa aun exponer las grandes necesidades que presentan los sectores rurales con las vías terciarias y el impacto que estas tienen en la economía nacional, para que se incrementen los proyectos con inversiones públicas y la realización de estudios específicos para cada determinado proyecto, mejorando además el sistema de contratación y el manejo de los recursos económicos.

Para esto, este trabajo ha optado por realizar un análisis comparativo entre dos alternativas de mejoramiento de vías terciarias, estas son, mediante el sistema de Placa-huella y mediante la pavimentación en concreto rígido convencional, considerando la posibilidad de realizar pavimentación por ciertos tramos de vía, tal y como se ilustra en la Figura 8.

Este caso en específico se encuentra ubicado en la misma región de estudio, el cual ha sido funcional a lo largo de 33 años según fuentes locales, así como este, existen otros proyectos similares en esta región que se han mostrado también muy eficientes en el mejoramiento de este tipo de vías.

Figura 8. Vía terciaria con pavimento rígido

Fuente: Autor

Para este análisis comparativo, se ha iniciado analizando las características de diseño de un proyecto de 50 metros de Placa-huella, que se ha hallado en etapa de ejecución en un tramo de vía terciaria que presentaba constantes problemáticas de tránsito en épocas de lluvia, región de gran importancia para todo el municipio del Líbano, debido a ser un sector agrícola caracterizado por ser una de las fuentes de comercio del sector con las capitales.

Este proyecto de Placa- huella será el modelo y base de análisis en cuanto al diseño de Placa-huellas que siguen los criterios de la guía INVIAS y del DNP, para posteriormente ser comparado con el diseño de un pavimento rígido típico sobre las mismas condiciones del tramo de 50 metros. Este diseño de pavimento rígido ha sido realizado utilizándose la metodología de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en inglés AASHTO, siendo este uno de los métodos más dinámicos y específicos que se tiene para el diseño de pavimentos rígidos (GONZALEZ y HERNANDEZ, 2015).

Cabe reiterarse que a pesar de que en Colombia exista una guía para la ejecución de Placa -huellas en vías terciarias, no es esta una metodología que sea aplicable a todos los casos, motivo por el cual se debe analizar inicialmente bajo qué condiciones esta metodología puede ser o no aplicable en un determinado proyecto y además identificar las razones por las que ciertas soluciones no resultan provechosas, en cuanto a su

funcionalidad o durabilidad requerida, ya que puede que en ciertos contextos particulares, sea más eficiente construir estas vías de tercer orden en la técnica tradicional de concreto rígido (ALFONSO Y MORENO, 2021).

Finalmente, se ha pretendido contextualizar la necesidad de incorporar metodologías económicas en regiones de economía y aceptación social limitada, pero sobre todo contextualizar acerca de la incorporación de nuevos sistemas constructivos, los cuales deben suponer un análisis técnico y económico basado en las condicionantes específicas de cada región (orografía, climatología, etc.)

A continuación, se plantean los objetivos que visan ser alcanzados conforme el desarrollo de este trabajo, las variables consideradas, así como los límites generales del estudio.

1.5 Objetivos

En este trabajo de conclusión de curso, se ha dado un especial enfoque al análisis comparativo para el caso específico del tramo de vía en Convenio, identificado como el objetivo general y eje principal del estudio desarrollado.

Por otra parte, se entiende que cada uno de los objetivos específicos contribuyen en el progreso de este, fomentando además el análisis de las características específicas de cada problemática, para elegir realmente la mejor alternativa en cualquier otro proyecto de mejoramiento de vías terciarias.

1.5.1 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo entre la solución del mejoramiento de vías terciarias en el sistema Placa-huella de acuerdo con las guías del Instituto Nacional de vías (INVIAS) y el Departamento Nacional de planeación (DNP), con un pavimento rígido típico, siguiendo los aspectos constructivos y sus costos asociados para la región del Líbano-Tolima, en Colombia.

1.5.2 Objetivos Específicos

Para alcanzar el objetivo general de este trabajo de conclusión de curso se han planteado cinco objetivos específicos que dan soporte al estudio presentado. Estos

objetivos citados orientan al lector del camino de raciocinio, análisis y comparación de ambos sistemas constructivos.

- i. Revisar la literatura técnica y bibliográfica asociada al diseño de pavimentos con Placa-huella y el pavimento de concreto hidráulico en Colombia.
- ii. Recopilar la información y parámetros de diseño inherentes al caso de estudio del tramo de vía terciaria en el sector del Convenio, i.e , aforo vehicular o tránsito típico de la región, parámetros geotécnicos tales como capacidad de soporte (California Bearing Ratio - CBR) de la subrasante, perfil longitudinal del tramo, pendiente promedio, longitud del ancho de la banca y sección transversal de la Placa-huella ejecutada, entre otros.
- iii. Diseñar un pavimento para el tramo de estudio por la metodología de la Asociación Oficial Americana de Carreteras (AASHTO-93, Estados Unidos de América).
- iv. Analizar y comparar ambos sistemas de pavimentación, a la luz de los diseños y la información obtenida.
- v. Realizar las conclusiones generales y específicas con respecto al análisis comparativo.

1.6 Métodos científicos y limitaciones del trabajo

El análisis comparativo que se presenta en este trabajo, examina, por un lado, el análisis teórico de los fundamentos de diseño como los aspectos prácticos, centrándose en los conceptos relacionados únicamente al dimensionamiento de proyectos Placa-huella (tipo INVIAS y DNP), como además el dimensionamiento de pavimentos en concreto hidráulico propuesto por la AASHTO.

El análisis comparativo de este trabajo es exclusivo para el tramo de vía estudiado perteneciente al entorno geográfico de la región del Líbano-Tolima, debido a que esta presenta enfoques sociales y culturales, así como el acceso a recursos económicos, materia prima, composición del suelo, entre otros factores específicos de la región, por lo que no puede ser tratado como una solución estándar para vías terciarias en todo el país,

en otras regiones deberá realizarse el análisis comparativo aplicando las características que se definan según la región.

En lo que se refiere al alcance tecnológico, este trabajo de conclusión de curso, ha empleado el programa informático “ECUACION AASTHO 93” con el pleno objetivo de obtener datos teóricos de dimensionamiento y espesores del propio pavimento.

Respecto a las limitaciones económicas, este estudio ha requerido la prestación del servicio de laboratorio de mecánica de suelos, específicamente en la caracterización de las masas de suelo, para la obtención del índice CBR. El estudio supone el desplazamiento por la región para la toma de datos y muestras de laboratorio en campo.

1.7 Estructura del trabajo

Las secciones anteriores correspondientes a este capítulo han expuesto las distintas problemáticas y necesidades inherentes al mejoramiento de las vías terciarias en la región del Líbano- Tolima, las cuales buscan encontrar soluciones técnicas que mejoren el bienestar y las condiciones de tránsito de la región en las zonas rurales.

Esta sección por su parte presenta los asuntos abordados y estructurados en capítulos mostrando una organización sistemática a partir de la configuración de la introducción (y sus objetivos), la metodología propuesta, los resultados y las conclusiones del presente trabajo de conclusión de curso.

El **capítulo 1** presenta la introducción y justificación del estudio. Se exponen las distintas variables y problemáticas que vive actualmente Colombia frente a la concepción técnica de vías terciarias, contextualizando así, este trabajo. Así mismo, formula el objetivo principal y los objetivos específicos del estudio, así como las motivaciones para desarrollar el mismo, los cuales visan ser alcanzados y expuestos en los últimos capítulos. Además, se exponen las limitaciones geográficas, técnicas y económicas en las cuales ha sido concebido este trabajo.

El **capítulo 2** presenta el estado del conocimiento en relación a la situación vial de las vías terciarias en la región del Líbano-Tolima, indicando las principales limitaciones que han tenido históricamente, además se sintetizan los conceptos técnicos básicos, así como las metodologías de diseño y las normativas colombianas pertenecientes a la reglamentación estructural de pavimentos rígidos y del sistema Placa-huella.

El **capítulo 3** expone de forma sistemática y organizada cada una de las etapas que conforman la metodología utilizada para este estudio. El cual inicia por la identificación del tramo de referencia de Placa-huella, la recopilación de las informaciones más trascendentales del proyecto incluyendo el costo total del tramo, para finalizar con el análisis comparativo entre este sistema constructivo y un pavimento rígido tradicional, este último siendo dimensionado a partir de las mismas informaciones recopiladas del tramo en Placa-huella.

Además, son descritos el paso a paso del dimensionamiento y los criterios de diseño para el pavimento rígido mediante la metodología de la AASTHO, describiendo los diferentes parámetros de entrada para la determinación del espesor del pavimento.

El **capítulo 4** presenta el caso de estudio seleccionado correspondiente al entorno geográfico analizado, el cual será el proyecto de referencia de pavimentos Placa-huella de la región, sobre el cual se han adquirido y/o definido los parámetros de diseño, utilizados también en el dimensionamiento del pavimento rígido simple.

El **capítulo 5** presenta la discusión, análisis y los resultados obtenidos a partir de la comparación entre las dos metodologías de pavimentación, objetivo de este trabajo de conclusión de curso. Este capítulo refleja el impacto tecnológico al momento de elegir un sistema constructivo u otro. La incorporación de nuevos procedimientos en escenarios distintos al de Colombia pueden ser observados en aras de reproducir el estudio en otras regiones de América Latina.

El **capítulo 6** expone las conclusiones generales y específicas inherentes al estudio. En este capítulo se obtiene una discusión y análisis de las alternativas estudiadas de forma social, tecnológico y económico para el tramo de vía terciaria en la región de Tolima.

2. CAPITULO 2: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1 La región del Líbano – Tolima

La república de Colombia es el único país de Sudamérica que se encuentra limitado por los océanos del Pacífico y Atlántico, siendo inevitable el impacto positivo que esto supone en el marco económico producto de su amplio desarrollo comercial.

La Figura 9 muestra la posición geográfica de Colombia con respecto a sus vecinos comerciales. Los beneficios significativos al norte del país con Panamá sugieren además un intercambio de productos, cultura y desarrollo regional interesante a nuevos proyectos de inversión pública. En este sentido, estas características se traducen, además, en la posibilidad de mejora en las oportunidades de trabajo, carácter social y ampliación de nuevos proyectos constructivos entre los países circundantes.

Figura 9. Ubicación geográfica de Colombia en Suramérica



Fuente: Google Earth

De la misma forma, en la Figura 10 es indicada la posición geográfica centro-oeste del país que corresponde al departamento del Tolima. Esta ubicación geográfica ha sido caracterizada además por servir de punto de encuentro para los principales centros de producción de la nación (C, CAROLINA, 2006), lo que le ha favorecido en gran manera

para su desarrollo económico.

Figura 10. Ubicación geográfica del Dpto. del Tolima



Fuente: Tello (2001)

Si bien el país y específicamente el departamento del Tolima, cuenta con recursos económicos provenientes de importantes sectores en los que lidera gracias a tan ventajosas posiciones geográficas, la red terciaria no se encuentra hasta ahora en condiciones óptimas para ser transitada, a pesar del importante papel que desempeñan en la economía nacional. En este sentido, se han evidenciado constantes problemáticas relacionadas con el estado de su red terciaria a través de los años y por consiguiente una gran necesidad de invertir en la recuperación de esta red vial, (C, CAROLINA, 2006).

Esta situación es la consecuencia de varios factores que han generado hasta ahora un atraso en el desarrollo vial de esta red, en el caso del departamento del Tolima se ha encontrado mayor evidencia sobre los siguientes aspectos, iniciando con las condiciones climáticas y topográficas de cada región, que en particular generan retrasos y sobrecostos en casi todos los proyectos de vías terciarias (CARRILLO, 2021).

Por otra parte, se tienen otros factores relacionados a las administraciones gubernamentales y municipales principalmente debido al manejo de los recursos económicos, y finalmente otra parte también se le es atribuida a las secuelas que han dejado los conflictos internos (CARRILLO, 2021). A continuación, serán discutidos con

mayor detalle.

2.1.1 Características Orográficas, Climatológicas y Sísmicas

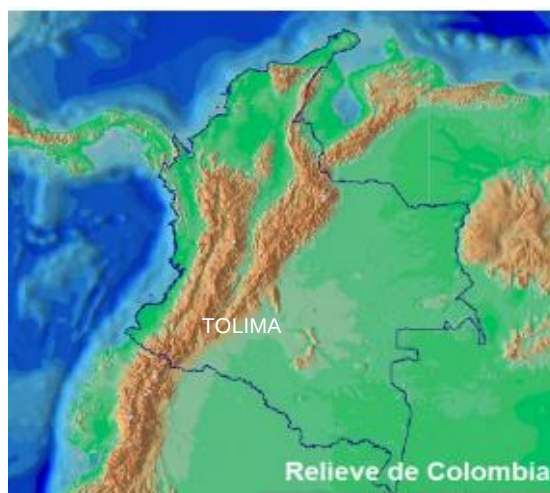
Para el año 2006 existía una desarticulación con la red de primer orden y los centros de consumo en por lo menos 8 cabeceras municipales, debido a las dificultades presentes en la región para realizar pavimentación en la red secundaria y terciaria del departamento (C, CAROLINA, 2006).

Lo expuesto anteriormente es relacionado con las dificultades topográficas y geológicas que, desde entonces hasta ahora, aumentan los costos de pavimentación. Si bien en la actualidad todos los municipios del departamento se encuentran articulados con las zonas de consumo, debe mencionarse que todas estas dificultades hacen que las condiciones transitables estén constantemente perjudicadas sobre todo en épocas de lluvias.

Para entrar en contexto, es importante comenzar identificando la orografía colombiana, la cual es ilustrada en la Figura 11, como puede observarse la cordillera de los andes, que atraviesa 7 países de sur America incluyendo Colombia, se ramifica en este país en la cordillera oriental, central y occidental.

En el departamento del Tolima por su parte, se presentan complejas situaciones relativas a la orografía distintiva de esta región andina, en la que prevalece el relieve de la cordillera central, la cual se caracteriza por presentar zonas de altas montañas

Figura 11.Orografía Colombiana



Fuente: Escobar, G y Escobar E (2014)

Lo anterior explica la presencia de una región de paramos en este departamento, constituido por un complejo volcánico activo, identificado en la Figura 12. En los puntos más altos de estas zonas montañosas las alturas llegan a sobrepasar los 5.000 msnm.

Figura 12. Identificación de zonas volcánicas en el Tolima



1. Chiles 2. Cerro Negro 3. Cumbal 4. Azufral 5. Galeras
6. Doña Juana 7. Sotará 8. Pan de Azúcar 9. Coconucos
10. Puracé 11. Huila 12. Machin 13. Tolima
14. Santa Isabel 15. Ruiz 16. Cerro Bravo



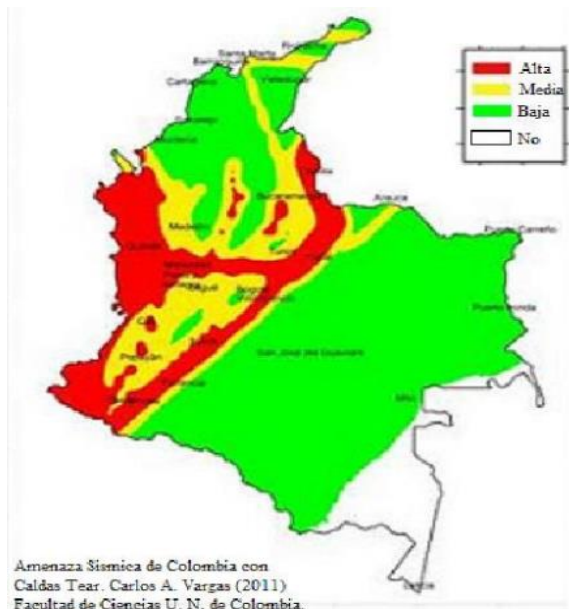
Fuente: Escobar, G y Escobar E (2014)

Estas grandes altitudes montañosas han generado consecuentemente una gran red de vías carreteables sinuosas y de altas pendientes. Además de esto la gran variedad de climas presentes en los diferentes pisos térmicos que abarca toda la región, ha creado situaciones de transitabilidad mucho más adversas.

Por otra parte, en cuanto a las características sísmicas, de acuerdo con la Figura 13, gran parte del departamento del Tolima se encuentra ubicado en una zona de alto riesgo (ESCOBAR, G y ESCOBAR, E, 2014) con importantes fallas geológicas activas. Estas características han sido relacionadas con la subducción de la placa de nazca identificada en la Figura 14.

Es por esto que, históricamente también ha sido gravemente golpeado por sismos de magnitudes cercanas a los 7 grados (ESCOBAR, G y ESCOBAR, E, 2014).

Figura 13. Amenazas sísmicas en el país



Fuente: Escobar, G y Escobar E (2014)

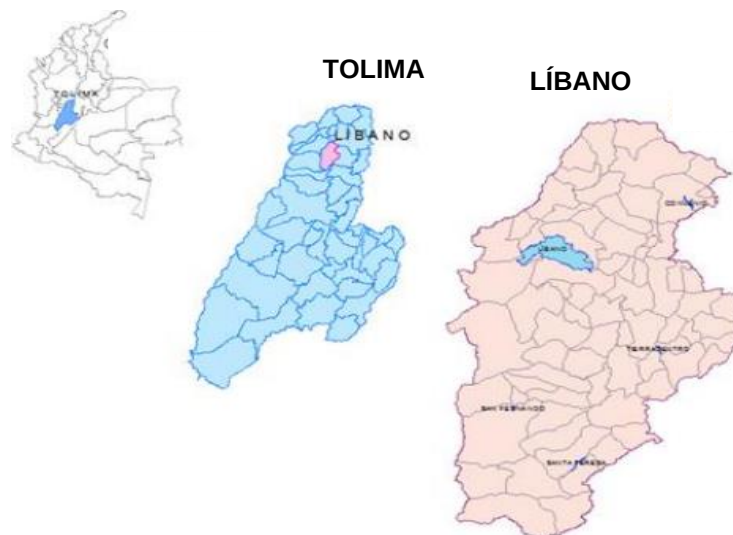
Figura 14. Placas tectónicas de Sudamérica



Fuente: Escobar, G y Escobar E (2014)

El Líbano por su parte, se encuentra ubicado al norte del departamento del Tolima tal y como se indica en la Figura 15, siendo uno de los 47 municipios que componen el departamento.

Figura 15. Ubicación geográfica del Líbano

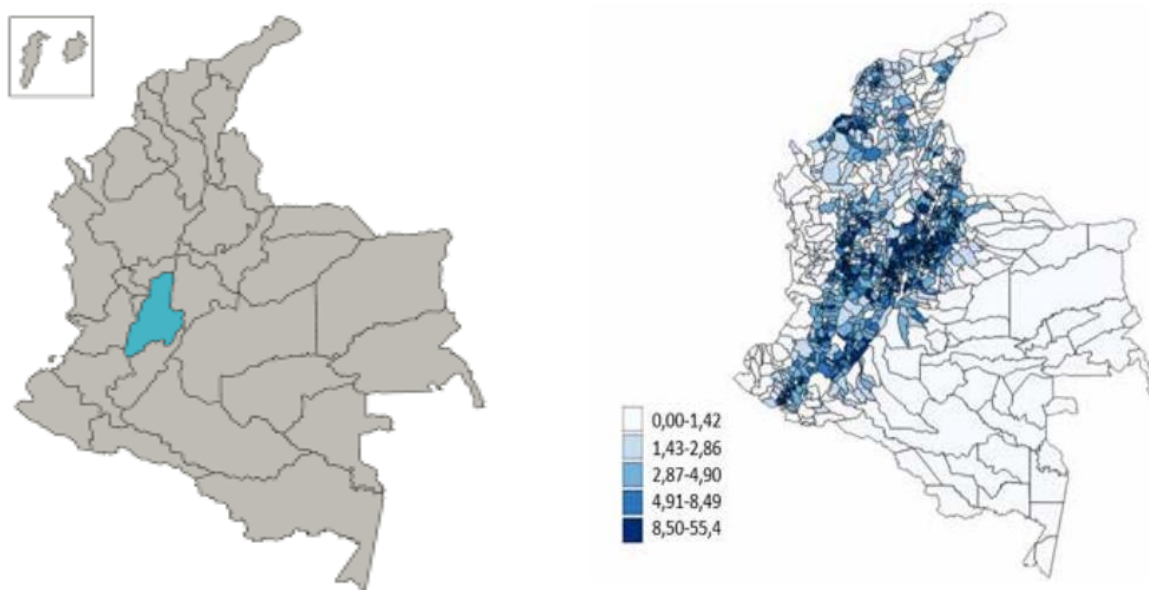


Fuente: Padilla (2014)

En la Figura 16 se presenta la densidad de las vías terciarias estimadas hasta

ahora en el país, como puede observarse la región del Norte del Tolima cuenta con uno de los mayores índices de concentración de esta red vial, la cual está directamente relacionada principalmente a las zonas montañosas de la región Andina y Caribe (ARIZA y ROMERO, 2017).

Figura 16. Ubicación geográfica del Líbano



Fuente: Ariza y Romero (2017 apud Dimitri Zaninovich)

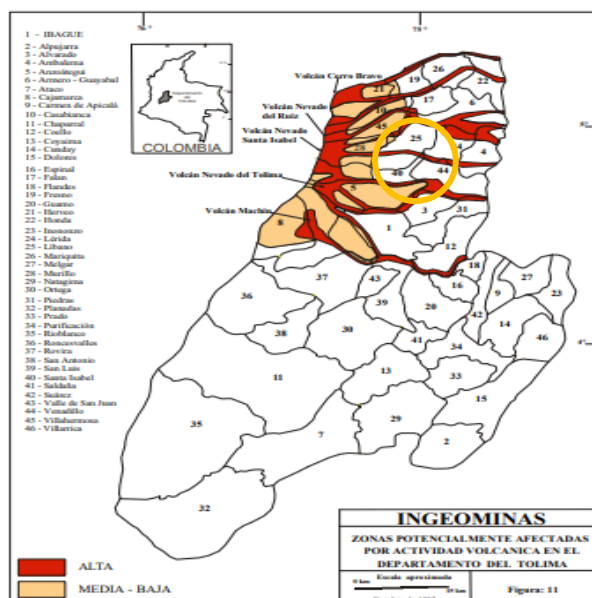
Este municipio presenta grandes riesgos geológicos inherentes a las importantes manifestaciones volcánicas y sísmicas presentes en esta región (TELLO, 2001), esto puede apreciarse además en la Figura 17, donde se ilustran las áreas más afectadas en caso de una posible erupción.

En el caso del Líbano (municipio número 25 en la imagen) puede apreciarse que la actividad del volcán Nevado Santa Isabel y el Volcán Nevado del Ruíz, por ser los complejos volcánicos más cercanos a este municipio, se convierten en la principal fuente de amenaza inminente.

Teniendo en cuenta además que esta situación puede ser aún más destructiva si es sumada con otros fenómenos como tormentas y posteriores desbordamientos de los ríos próximos a estos complejos volcánicos, en este sentido sus cauces se convierten

también en una gran fuente de amenaza.

Figura 17. Amenaza sísmica en el Líbano



Fuente: Tello (2001)

Cabe mencionarse que, aunque no se presenten situaciones extremas, las anteriores características orográficas, climáticas y sísmicas, generan riesgos geológicos constantes como erosión, socavación, remoción en masa y avenidas torrenciales (TELLO, 2001), y más aún cuando se trata de uno de los países más lluviosos del mundo.

Por otra parte, es importante exponer estas características debido a que representan sin duda, una de las causas más constantes de sobrecostos por el incumplimiento a los cronogramas y plazos inicialmente previstos (CARRILLO, 2021), además por que, debido a las características sísmicas presentes en todo el país, se debe atender con los criterios mínimos de la norma sismorresistente colombiana (NSR-10) y eso implica atender con parámetros estructurales más exigentes.

2.1.2 Manejo de los recursos económicos, contratación y uso de la información

Los escasos estudios y proyectos de construcción para el mejoramiento de vías terciarias, es justificado sobre todo por los altos costos que implican hasta ahora estos proyectos en regiones que disponen de limitados recursos económicos.

Para ejemplificar en el año 2006 un kilómetro de pavimentación en vías terciarias costaba alrededor de los \$450 millones de pesos colombianos (C, CAROLINA, 2006) (de acuerdo con la tasa de cambio del día 25 de mayo de 2023 es equivalente a \$510.024,60 Reales o \$101.269,40 dólares), valor que con el paso de los años ha ido aumentando, siendo que para el año 2016 de acuerdo con el DNP, el mejoramiento de un kilómetro de vía terciaria mediante alternativas de pavimentación estaba en promedio entre los \$765 a \$845 millones de pesos colombianos (DNP, 2018).

Por tal motivo es que históricamente se ha optado en su gran mayoría por soluciones de estabilización del afirmado, solución que como ya se ha mencionado continúa siendo susceptible a las condiciones climáticas.

Los recursos económicos administrados por las entidades territoriales para posibles inversiones en pavimentación de vías de bajo tránsito, vienen principalmente de 4 fuentes, estas son “el Sistema General de Regalías (SGR), Sistema General de Participaciones (SGP), Recursos Propios y el apoyo del Gobierno Nacional a través del Presupuesto General de la Nación (PGN) (DNP, 2017 pág. 12), las cuales deben ser consultadas inicialmente para identificar que tan accesible financieramente puede ser el proyecto (DNP, 2017).

Teniendo en cuenta que la mayor parte de la red de vías terciarias está bajo la responsabilidad de los municipios, se ha encontrado que “estos poseen múltiples falencias sistemáticas en su capacidad administrativa, financiera y técnica para contratar y controlar la adecuada ejecución de sus proyectos viales” (CARRILLO, 2021 apud Valderrama, 2017).

Por otra parte, como ya ha sido mencionado inicialmente, no existe una cifra exacta de las vías que componen la red terciaria en el país, a pesar de haber una iniciativa para realizar los inventarios, hasta ahora las entidades responsables trabajan sobre estimaciones.

En este respecto, de acuerdo con varias declaraciones públicas, la cifra estimada de vías terciarias en el Tolima, se encuentra entre los 5.000 a los 10.000 kilómetros, de los cuales se considera que apenas un pequeño porcentaje se encuentra en buen estado. Es así que la ausencia de inventarios oficiales, una vez que no se ha conocido hasta ahora ni su composición ni mucho menos su estado real, sumado a las inadecuadas

administraciones y las modalidades de contratación (CARRILLO, 2021), han sido principalmente los factores que han dificultado el mejoramiento de las condiciones de la red terciaria de la región.

2.1.3 Conflictos internos

Colombia aún se encuentra en un proceso de recuperación a causa del conflicto interno armado que tuvo origen hace ya varias décadas, este conflicto, en líneas generales, ha sido el resultado de las constantes inconformidades entre los poderes políticos que han dirigido a la nación hasta ahora.

La oposición y el enfrentamiento entre dos partidos políticos muy marcados en aquel entonces (Liberales y conservadores más conocidos como Godos) (ESCOBAR, 2011) terminó en una persecución de ambas partes con el único objetivo de exterminar su competencia política, y en consecuencia se desencadenó una guerra interna que trajo consigo la formación de grupos al margen de la ley, quienes no solamente recurrían a los medios violentos para alcanzar sus objetivos, sino que también recurrían a la financiación de sus organizaciones mediante el uso de cultivos ilícitos y secuestros (VELÁSQUEZ, 2006).

En el caso del departamento del Tolima, puede decirse que fue particularmente marcado por las guerrillas liberales que se formaron en el territorio, las cuales “más que manifestar un descontento general frente al gobierno autoritario o luchar por unos determinados objetivos sociales y políticos, actuaron motivados por sacar provecho de la situación” (ESCOBAR, 2011 pág. 31).

Su rápido desarrollo en diferentes regiones está relacionado con la escasa presencia del estado y de la limitada infraestructura vial.

De esta manera, mientras que las zonas donde existía mayor presencia y control civil por parte del estado, se desarrollaban social, económica y tecnológicamente, las zonas vulnerables iban quedando en el atraso.

Tal es el caso de muchos municipios incluyendo al Líbano, en los que las vías terciarias fueron también víctimas del conflicto y en medio de su retroceso, sirvieron por mucho tiempo para que estos grupos desarrollaran sus operaciones con mayor libertad.

Finalmente, de acuerdo con el último censo nacional realizado por el

Departamento Nacional de Población y Vivienda (DANE), se estima que para el año 2018 el Líbano contaba con una población de 33.262 habitantes, en una extensión de 299,44 km², que corresponden a 3,28 km² de área urbana y 296,16 km² de área rural (CIFUENTES y DÍAZ, 2020).

Es decir que el 98,90 % del territorio del Líbano - Tolima tiene alguna relación con la red de vías terciarias y al ser una región donde prima la actividad económica del sector agrícola y minero, puede decirse que el 100% de esta población se ha visto afectada o beneficiada directa o indirectamente por las condiciones transitables de esta red vial.

Lo expuesto anteriormente exhibe explícitamente las principales limitaciones que han tenido las vías terciarias con el pasar de los años. A continuación, serán expuestos los conceptos más trascendentales de pavimentos, especialmente en relación al pavimento tradicional y del tipo Placa- huella, teniendo como foco su implementación en vías terciarias.

2.2. Pavimentos y su aplicación en vías terciarias

De acuerdo con lo expuesto por Naranjo y Pabón (2008) en su manual de diseño de pavimentos de concreto, la gran mayoría de carreteras que se encuentran pavimentadas en todo el mundo están constituidas por un concreto asfáltico o por sus derivados en tratamientos superficiales.

Sin embargo, de acuerdo con el mismo autor se ha demostrado a través de muchos estudios que “el costo de operación de los vehículos circulando sobre pavimentos de concreto es menor que el que tienen cuando circulan sobre pavimentos de asfalto” o “que el consumo de combustible es menor en los pavimentos de concreto” y además que “las distancias de frenado son más cortas y con ello los accidentes de tránsito son menos graves” (NARANJO Y PABÓN, 2008 pág. 8).

Por otra parte, se ha evidenciado además que, si se realiza un análisis integral de costos, está a favor de los pavimentos rígidos los costos de mantenimiento (siempre y cuando el pavimento haya sido construido correctamente), los costos de operación y los costos de mano de obra (NARANJO Y PABÓN, 2008). Sin embargo, un punto a resaltar es que no existen generalizaciones en el tema de la comparación de alternativas de pavimentación (NARANJO Y PABÓN, 2008). En este sentido se tiene que, existen

condiciones que favorecen o, por el contrario, que le quitan cualquier viabilidad a la utilización de una de las dos soluciones.

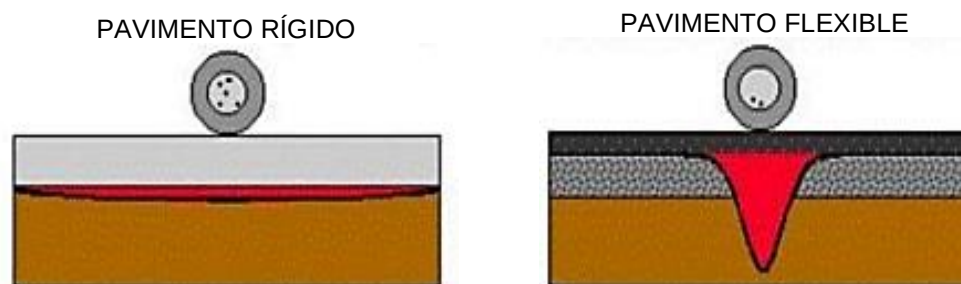
Los aspectos más influyentes en esta decisión tienen relación con la vida útil, el mantenimiento, el acceso a los equipamientos que solicite la técnica, la disponibilidad del personal y de los materiales principalmente del cemento, el asfalto y los agregados (NARANJO Y PABÓN, 2008). Antes de mencionar como influyen estos aspectos en el caso específico de las vías terciarias, es importante primeramente exponer las principales características de un pavimento rígido y un pavimento flexible.

Los pavimentos rígidos tradicionales por su parte, son esencialmente losas de concreto simple o armado, los cuales deben estar apoyados sobre la subrasante o sobre una subbase la cual es una capa de material seleccionado (FAJARDO, 2019).

Tal y como se ilustra en la Figura 18, el pavimento rígido o pavimento de concreto hidráulico, en comparación con el pavimento flexible constituido por mezclas asfálticas y materiales pétreos, distribuye los esfuerzos en una zona mucho más amplia.

De esta manera, los pavimentos rígidos ejercen una pequeña presión en las capas subyacentes, mientras que el pavimento flexible distribuye los esfuerzos en una zona muy pequeña ejerciendo una gran presión en sus capas, esto se debe a la rigidez y alto módulo de elasticidad presente en la capa de concreto (FONSECA, 2002).

Figura 18. Esfuerzos en un pavimento rígido y un Pavimento flexible



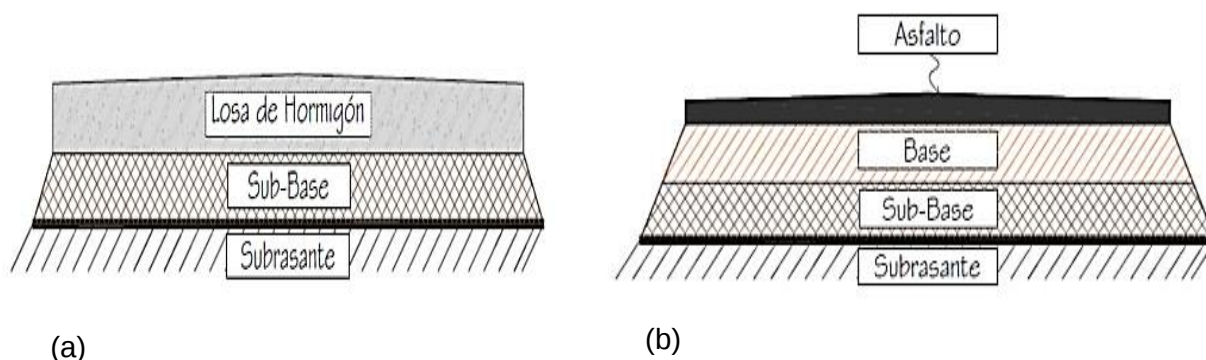
Fuente: González y Hernández (2015)

En este sentido, se tiene que la capacidad estructural de un pavimento rígido depende principalmente de la resistencia de las losas, es por esto que son menos sensibles a la capacidad de soporte del suelo (FONSECA, 2002).

Lo expuesto anteriormente explica por qué generalmente la carpeta de rodadura

de un pavimento rígido requiere de mayores espesores en relación a los utilizados en las carpetas asfálticas, sin embargo, esta situación hace que el pavimento rígido requiera de 2 capas subyacentes tal y como se ilustra en la Figura 19(a), a diferencia de un pavimento flexible que se constituye de las capas identificadas en la Figura 19 (b).

Figura 19. Capas que conforman un pavimento (a) Sección típica de un Pav. Rígido) (b) Sección típica de un Pav. Flexible



Fuente: Lozano y Hernández (2017)

En este sentido, a pesar que el mayor esfuerzo estructural de un pavimento rígido lo resiste la losa de concreto, sus capas inferiores también cumplen una función importante. En el caso de la subbase, siendo la capa inferior a la carpeta de rodadura, es diseñada con una espesura y calidad necesaria para sostener y distribuir las solicitaciones que la losa de concreto le alcance a transmitir (GUEVARA y ROJAS, 2018).

De esta manera, esta capa ayuda a impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento, (FONSECA, 2002), además de servir como capa de transición y de apoyo uniforme para la losa, mejorando a su vez el drenaje y reduciendo al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento (FONSECA, 2002).

Cabe mencionar que de acuerdo con Naranjo y Pabón (2008) existen ciertas situaciones en las que esta capa suele ser dispensada. La decisión de si el pavimento llevara base o no, está sujeta a la capacidad de soporte del suelo y a la capacidad del mismo de resistir a las acciones de humedad (NARANJO Y PABÓN, 2008).

En líneas generales un pavimento de concreto se puede construir directamente sobre el terreno natural en este caso sobre la subrasante, si se cumple con las siguientes condiciones: no exista presencia de materia orgánica o de arcilla, el tráfico de vehículos

pesados sea menor a 125, el Índice de plasticidad del suelo (IP) sea menor al 6% y donde su análisis granulométrico indique que el material que pasa por el tamiz 200 es inferior al 40% (NARANJO Y PABÓN, 2008 pág. 84).

Las anteriores condiciones pueden ser aun dispensadas si el tráfico vehicular es inferior a 25 vehículos por día (NARANJO Y PABÓN, 2008 pág. 84).

La subrasante por su parte, tiene mayor influencia en la construcción y en el comportamiento a largo plazo del pavimento rígido (NARANJO Y PABÓN, 2008).

Por definición la subrasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (Corte y relleno) sobre la cual se coloca la subbase y la losa de concreto (GUEVARA y ROJAS, 2018), esta recibe las cargas transmitidas por la subbase desde la losa de concreto para darle sustentación. La eficiencia en su funcionalidad depende de los tipos de suelo que la constituyen, de la densidad y de la humedad de los mismos, es así que entre mejor calidad presente esta capa, tanto menor espesor requerirá el pavimento (GUEVARA y ROJAS, 2018 apud SANCHEZ, 2009).

En el caso de un suelo con baja capacidad de soporte se requerirá de tratamientos especiales, en esta situación los costos para implementar un pavimento rígido también son mucho más favorables en relación a otras alternativas (NARANJO Y PABÓN, 2008).

Dicho esto, es importante mencionar que existen casos de uso de pavimentos flexibles en las vías terciarias, sin embargo, su uso es menos frecuente, esto se debe a las condiciones climáticas y topografías que las caracterizan, haciendo de ellas de difícil acceso para la maquinaria que requiere la construcción y el mantenimiento de un pavimento flexible, esto se debe principalmente a que son zonas de altas pendientes.

En este sentido un pavimento rígido además de requerir equipamientos mucho más sencillos, también es la solución menos susceptible a condiciones climáticas debido a las características propias del concreto (NARANJO Y PABÓN, 2008), esto repercute no solamente en menores costos de mantenimiento, sino además en mayores periodos de longevidad.

En cuanto a la mano de obra, la construcción del pavimento rígido no requiere de personal especializado, si no que, por el contrario, puede ser realizado por mano de obra local y con menores capacitaciones, contrario a lo que sucede con los pavimentos flexibles.

Es así que estos factores influyen para que aumente la competitividad de un pavimento de concreto hidráulico frente a un pavimento flexible en el caso específico de las vías de tercer orden en Colombia, convirtiendo hasta ahora la alternativa de pavimentación en concreto rígido, como la alternativa más accesible y que mejor responde a las características propias de esta red vial.

2.2.1 Pavimento rígido tradicional

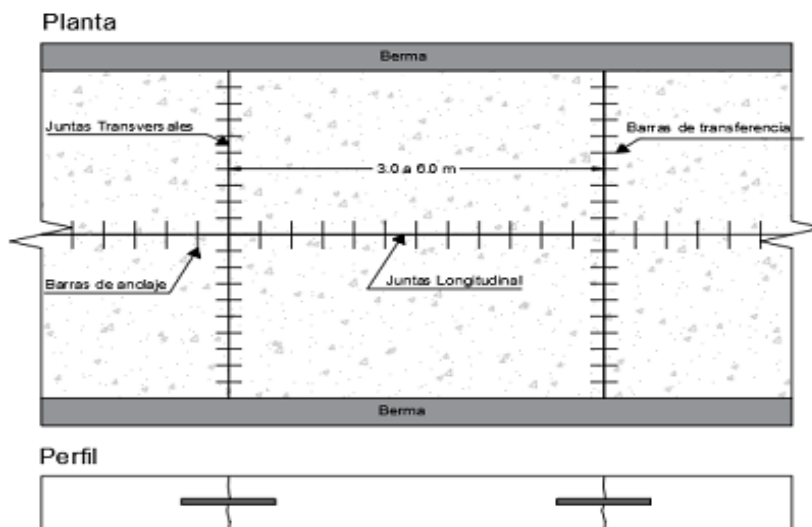
Una de las características que tiene cualquier tipo de pavimento de concreto es la presencia de discontinuades en la capa de rodadura, llamadas juntas longitudinales y transversales, las cuales son necesarias principalmente por requisitos constructivos y fenómenos relacionados con la temperatura (FONSECA, 2002).

Las juntas longitudinales se generan al optarse casi siempre por construir el pavimento por carriles, estas, así como las juntas transversales sirven para controlar los fenómenos de retracción o dilatación térmica del concreto, causados por bajas y altas temperaturas respectivamente (FONSECA, 2002).

Estas juntas a su vez, especialmente las transversales, deben ser dotadas de “mecanismos que transmitan las cargas” (FONSECA, 2002 pág. 356) con el objetivo de controlar la fisuración, al transmitir las cargas de una losa para otra, debido a que las mayores solicitaciones causadas por el tráfico de vehículos en pavimentos rígidos, se encuentran en las esquinas y en los bordes de las losas (FONSECA, 2002).

Existen principalmente tres tipos de pavimentos rígidos, los pavimentos simples, los pavimentos reforzados y los pavimentos continuamente reforzados (PLV). En el caso de un pavimento de concreto simple, es decir en el que no se utiliza armadura de refuerzo en las placas de concreto, las juntas de contracción transversal varían de 3 a 6 metros tal y como se indica en la Figura 20.

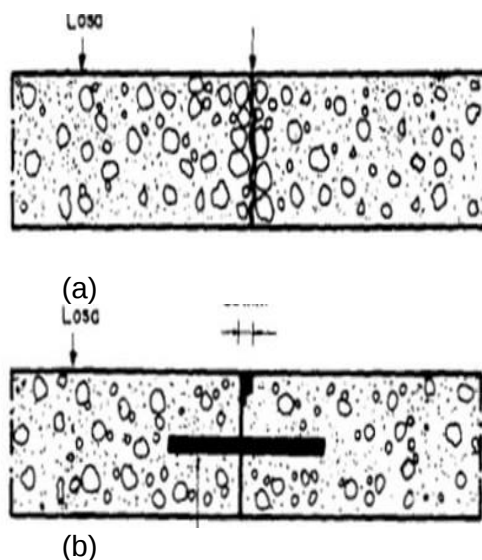
Figura 20. Pavimento de concreto simple



Fuente: Chinome (2020 apud invias)

Dichas juntas pueden estar dotadas de un sistema de transferencia de carga que utiliza un conjunto de barras de acero liso llamados pasadores o dovelas (FONSECA, 2022) tal y como se ilustra en la Figura 21(a) o, pueden presentar un sistema de transferencia de carga mediante el entramamiento de los agregados, tal y como se ilustra en la Figura 21(b).

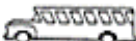
Figura 21. Sistemas de transferencia de carga en un pavimento rígido (a) Mediante trabazón de agregados (b) Mediante pasadores



Fuente: Fonseca (2002)

De acuerdo con Fonseca (2002) y con un estudio elaborado por el grupo técnico del convenio 587 (2006) entre INVIAS y la Universidad Nacional (UN) el sistema de transferencia mediante trabazón de agregados es adecuado en pavimentos que no sean susceptibles a fenómenos de bombeo, en los que la longitud de las losas sea inferior a 5 metros (FONSECA, 2002) y que tengan bajos volúmenes de tránsito refiriéndose con esto al tránsito de autos, buses y camiones de hasta tres ejes (Camión de carga tipo C3)(DNP, 2017), identificados en la Tabla 1.

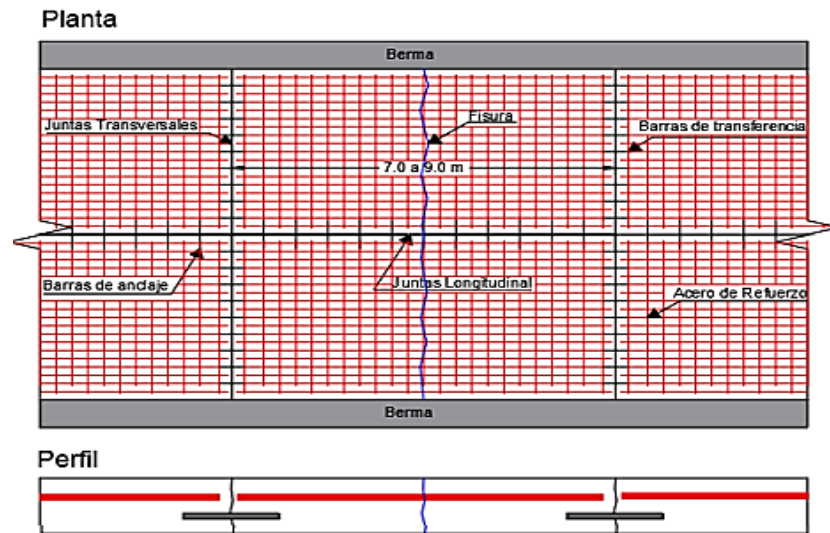
Tabla 1. Clasificación de vehículos en Colombia

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

Fuente: DNP (2017)

En el caso del pavimento reforzado, identificado en la Figura 22, el control de fisuras y la transferencia de carga, se da mediante el uso de dovelas en las juntas transversales espaciadas entre los 7 a 9 metros y mediante el acero de refuerzo en malla electrosoldada (CHINOME, 2020), aumentando así en gran manera sus costos, en relación a los pavimentos simples.

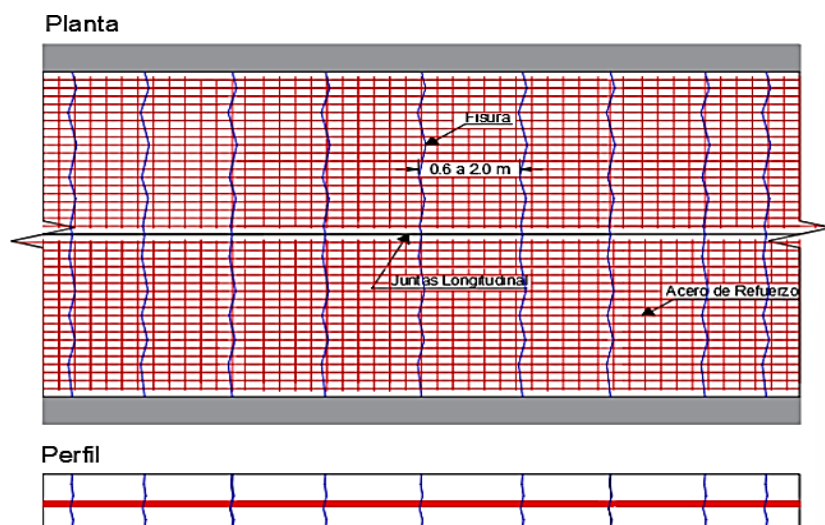
Figura 22. Pavimento de concreto reforzado



Fuente: Chinome (2020)

En el caso del pavimento PLV, ilustrado en la Figura 23, no se requieren juntas transversales ya que su diseño guarda similitud con una losa de entrepiso (GRUPO TECNICO - CONVENIO 587). En este sistema el que el acero de refuerzo se encarga de realizar el control de las fisuras, aunque en este sentido la presencia de fisuras transversales es considerada normal en valores de abertura cercanos a los 0,5 milímetros, con separación entre los 0,6 a los 2 metros (CHINOME, 2020).

Figura 23. Pavimento continuamente reforzado



Fuente: Chimone (2020)

En este sentido, tal y como como se ilustra en la Figura 24, el acero de refuerzo

de las vigas longitudinales se ubica en los extremos de los carriles, las vigas transversales se ubican de acuerdo a cada diseño y la malla electrosoldada es ubicada en la parte superior e inferior de la losa (GRUPO TECNICO - CONVENIO 587).

Figura 24. Proceso constructivo típico de un pavimento continuamente reforzado



Fuente: Grupo Técnico - convenio 587 (2006 apud ICPC)

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, básicamente los pavimentos simples son la opción más económica dentro de las alternativas de pavimentos rígidos, y por lo tal lo convierten en la opción más accesible en vías terciarias, en relación con los otros sistemas que implican altos costos debido a las grandes cantidades de acero que requieren, aun así puede verse el uso de cualquiera de las opciones, ya que está bajo criterio de cada proyectista la elección del sistema que atienda con las necesidades específicas de cada situación.

2.2.1.1 Métodos de dimensionamiento

De acuerdo con Naranjo y Pabón (2008) en su manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, orientado a diversos tipos de carreteras, desde caminos rurales hasta vías de primer orden, los métodos de diseño más conocidos y aplicados en Colombia son el de la Asociación de cemento Portland por sus siglas en ingles PCA- versión 1984 y el de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en

inglés AASHTO - versión 1993.

En este estudio se ha optado por utilizar la metodología de diseño realizada por la AASTHO, la cual tuvo origen en Ottawa (EEUU), entre los años 1958 y 1960, considerándose como una de las investigaciones más grandes e influyentes para la época, e incluso siendo hasta ahora un referente en lo que concierne al diseño de carreteras (CORDO, 1998).

Esta metodología ha sido concebida a partir de una serie de ensayos experimentales, en los que sus resultados fueron la base para el surgimiento de la primera guía de diseño denominada AASHO Road Test (1961), años más tarde, tras una serie de revisiones fueron incluidas las últimas variables que constituirían la guía para el diseño de estructuras de pavimento hasta ahora denominada AASHTO-1993 (ESQUIVEL et al., 2013), en la que se presentaba la ecuación 1 como aporte final de los ensayos experimentales, para ser aplicada en futuros diseños de pavimentos rígidos.

$$\log W_{18} = Z_R + S_0 + 7,35 \log(D+1) - 0,06 + \log \frac{\frac{\Delta PSI}{[4,5-1,5]}}{1 + \frac{1,625 \times 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \text{ Pt}) \log \left[\frac{S'cCd(D^{0,75} - 1,132)}{2,15,63J(D^{0,75} - 18,42 \left(\frac{k}{E_c}\right)^{0,25}} \right] \quad (1)$$

La inclusión de todas las variables relacionadas en la ecuación 1, hacen de esta metodología, entre otros factores, una de las más dinámicas y específicas que se tiene para el diseño de pavimentos rígidos (GONZALEZ y HERNANDEZ, 2015).

A partir de esta ecuación, es posible determinar el espesor del pavimento (D) mediante la definición de las otras nueve variables, las cuales serán descritas a continuación.

- i. **Número de aplicaciones de ejes simples equivalentes de 82 kN a lo largo del período de diseño (W18):** Mediante este parámetro se transforman los pesos y ejes de los diferentes vehículos que transitan por la vía de interés, a un número de aplicaciones del eje tipo de 8,2 toneladas. El número de aplicaciones de ejes equivalentes es representado por un número de ESALs, sigla en inglés de Carga de Eje Equivalente Simple (Equivalent Single Axle Load) (CORDO, 1998).
- ii. **Desviación normal estándar (Z_R):** Corresponde a un área igual a la confiabilidad (R) en la curva de distribución normalizada (CORDO, 1998), es decir es un valor

que está directamente relacionado con la confiabilidad asignada al proyecto, esta confiabilidad representa el nivel de seguridad con el que será diseñado el pavimento y a su vez es el valor que garantizará su pleno funcionamiento durante el periodo para el cual ha sido diseñado (MENDOZA y MORA, 2020).

- iii. **Error estándar combinado o desviación estándar total (So):** Representa la desviación de las variables involucradas en el pavimento, incluyendo la variación de las propiedades de los materiales, la variación del diseño, la variación del tránsito, de las condiciones ambientales, de la subrasante entre otros (MENDOZA y MORA, 2020).
- iv. **Índice de servicio o serviciabilidad (Δ PSI):** Este índice es la diferencia entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final del pavimento, como resultado se obtiene un valor que mide la capacidad de brindar una superficie de ruedo poco rugosa y confortable (ESQUIVEL et al., 2013) en unidades de PSI, es decir el nivel de servicio que tiene el pavimento en la vía para servir al tránsito que lo utiliza. Este índice de servicio es evaluado de 0 a 5, siendo que 0 es cuando prácticamente no existe pavimento o que este es imposible de transitar y 5 cuando el estado del pavimento es perfecto (FONSECA, 2002).
- v. **Módulo de rotura del concreto ($S'c$):** Conocido también como resistencia a la tracción por flexión o simplemente resistencia a la flexión (Cordo, 1998), es considerado como un parámetro muy importante en el diseño de pavimentos rígidos. Representa el punto en el cual se da la rotura de la fibra más débil, cuando es sometida una viga con cargas en su tercio central (CORDO, 1998).
- vi. **Coeficiente de Drenaje (Cd):** Define la capacidad de drenaje que tiene un suelo, mediante el uso de un coeficiente que representa en realidad el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento y el porcentaje del tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad aproximándose a la saturación. Esta variable es importante debido a que la presencia del agua en el suelo de diseño, es uno de los factores que más influencia tiene en las propiedades de los materiales que constituyen el pavimento, tanto así que la cantidad de agua presente en el pavimento, estará directamente relacionada con la degradación o conservación del mismo.

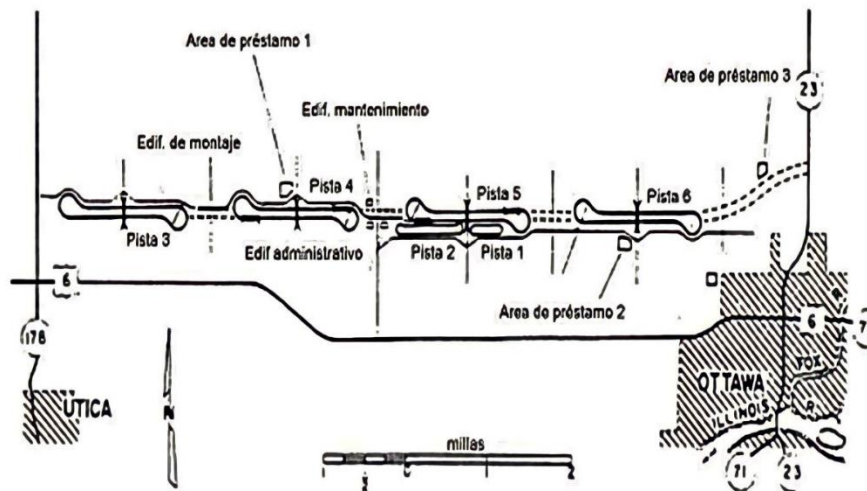
- vii. **Coeficiente de transferencia de cargas (J):** Este coeficiente está relacionado con la capacidad que tendrá la losa para transmitir fuerzas cortantes con los módulos de las losas contiguas (VASQUEZ, M; VASQUEZ, L; VASQUEZ, P, 2020), la utilización de esta variable sirve para minimizar las deformaciones producidas por los esfuerzos en la losa del concreto.
- viii. **Módulo de reacción (k):** Ha sido incluida para estimar la capacidad que tiene la subrasante de recibir los esfuerzos transmitidos y distribuirlos, evitando así que se produzcan las deformaciones.
- ix. **Módulo de elasticidad del concreto (E_c):** Este parámetro introduce los efectos de la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene la losa del concreto, el cual está relacionado a su vez con el tipo y origen del agregado (CORDO, 1998).

Finalmente, en relación a estos parámetros, es importante mencionar que, el parámetro del tránsito (W18) sobre todo para bajos niveles de tránsito, los parámetros relacionados a las características del concreto (E_c y S'_c), y el módulo de reacción de la subrasante (K), se han definido en la literatura técnica del diseño de pavimentos rígidos mediante la AASHTO, como los parámetros que mayor incidencia tienen en el aumento o disminución del espesor de la losa (CORDO, 1998).

2.2.1.2 Vehículo y Cargas de diseño

Como ha sido mencionado anteriormente, esta guía de diseño, viene de conceptos netamente empíricos concebidos a través de la implementación de 6 tipos de pistas que fueron construidas con una excelente calidad, para el uso exclusivo del experimento (CORDO, 1998).

Estas pistas fueron distribuidas tal y como se ilustra en la Figura 25, evaluando en ellas el rendimiento de diferentes espesores por los que circulaba un tránsito en cargas de ejes simples y ejes tandem, en los que se aplicaban $1,14 \times 10^7$ cargas por eje en cada sección, lo que equivalía a 10 millones de pasadas de ejes de 80 KN (8,2 toneladas) en la pista más cargada (CORDO, 1998).

Figura 25. Pistas “Road test”

Fuente: Cordo (1998)

Para el diseño de un pavimento, así como en cualquier otro tipo de proyecto, el diseño estructural debe ser realizado a partir de las cargas que van a ser aplicadas en la estructura, las cuales van a generar las solicitaciones, en este caso, estas cargas serán el peso que transmitirá los ejes de los vehículos al transitar por la vía. En este sentido, es importante transformar las cargas transmitidas por los ejes de las diferentes tipologías de vehículos (simple, tándem o trídem), las cuales generan diferentes tensiones y daños en el pavimento (CORDO, 1998), razón por la cual, para efectos de cálculo, se deben transformar a un número de aplicaciones del eje tipo de 8,2 toneladas representado por la variable W18.

De estas cargas se consideran relevantes únicamente las transmitidas por los vehículos comerciales, siendo que el efecto provocado por los automóviles y motocicletas es considerado como despreciable en el dimensionamiento de pavimentos.

2.2.1.3 Clima y tipo de suelo

El “Road test” de AASHO se dio lugar en unas condiciones climáticas tales como, lluvia anual de 762 mm, temperatura media en verano de 24° C, temperatura media de invierno de -30°C, existiendo además 12 ciclos de congelación y deshielo por año a nivel de la subbase (CORDO, 1998).

Por otra parte, las características de la subrasante fueron: suelo tipo A-6, CBR de 2 a 4%, módulo de reacción (k) de 12 kPa/mm (45 psi), profundidad de la roca madre de 3 a 9 m, en suelos que variaban entre arenisca a caliza esquistosa en el extremo Este. (CORDO, 1998).

Es importante mencionar que, en este caso, la subrasante de la vía ha sido caracterizada a partir del módulo de reacción (k), así como debe ser realizado en cualquier proyecto de pavimento rígido, ya que a diferencia de un pavimento flexible que se caracteriza por el módulo resiliente, debido a que como se ha mencionado la losa de concreto tiene prácticamente toda la función estructural, disipando los esfuerzos hasta llegar a la capa de soporte.

2.2.2 Pavimento del tipo Placa-huella

El uso de la pavimentación mediante el sistema Placa-huella ha sido altamente aprobado, desde el inicio de su concepción en el año 2006, no solo por parte de las entidades responsables, sino además por parte de las mismas comunidades, quienes han tenido contacto históricamente con algunas otras técnicas como lo han sido los caminos ancestrales, las cuales ven en la alternativa de Placa-huella una solución más aceptable.

En vista del gran auge que tomó la alternativa, fueron realizados por parte del DNP y el INVIAS documentos guía para el diseño y ejecución de proyectos de pavimentación del tipo Placa-huella. Entre las guías más citadas se tiene hasta ahora, la guía de Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de Placa-huella (2016), la Guía de Diseño de Pavimentos con Placa-huella (2017), la guía de Mejoramiento de vías terciarias-vías de tercer orden (2018) y la Cartilla de Obras menores de drenaje y estructuras Viales (2019). Entre las mencionadas, son principalmente las dos primeras guías el referente en la mayoría de proyectos de mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de Placa-huella, a pesar de que las otras dos guías han sido concebidas más recientemente.

Por lo expuesto anteriormente, estas dos primeras guías serán los documentos base para el análisis de las características propias del proyecto Placa huella en estudio, sin embargo, las otras guías también han sido utilizadas como complemento para algunos

conceptos y recomendaciones.

Es importante mencionar además que la concepción de estas guías ha sido realizada a partir de modelaciones en elementos finitos (o por sus siglas en inglés FEM), en donde se suponían las situaciones más críticas que podrían ocurrir en un periodo de servicio de 20 años (INVIAS,2017).

Además de asegurar un amplio periodo de servicio, se le es atribuida a la técnica bajos costos de mantenimiento relacionados únicamente a la limpieza de las obras de drenaje y la rocería de las laterales (INVIAS,2017).

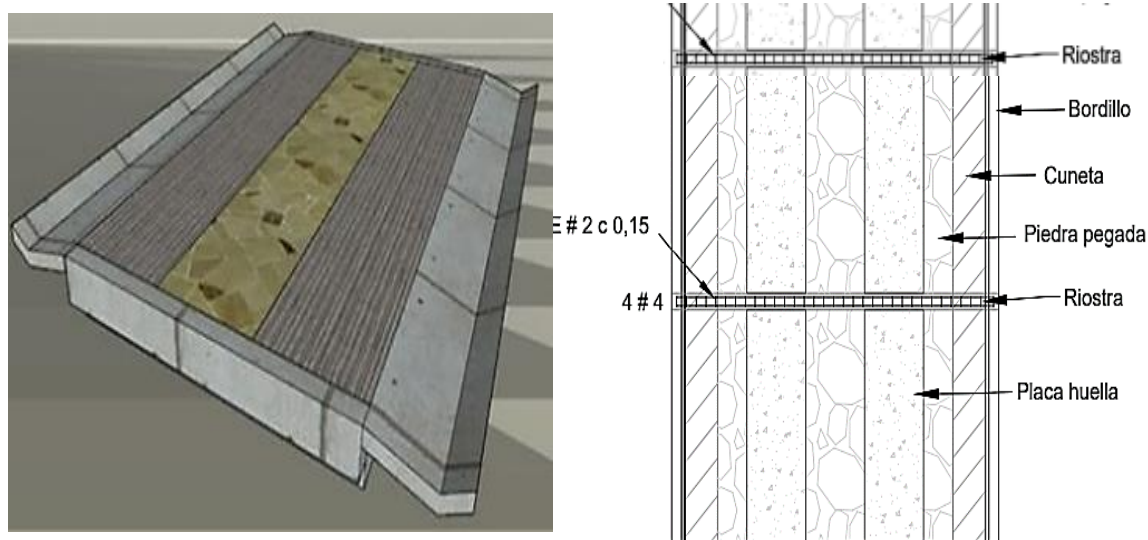
En cuanto a la definición oficial del sistema, la guía del INVIAS (2017 pág. 2), define un pavimento con Placa-huella como “una solución para vías terciarias de carácter veredal que presentan un volumen de tránsito bajo con muy pocos buses y camiones al día siendo los automóviles, los camperos y las motocicletas el mayor componente del flujo vehicular” (INVIAS, 2017 pág. 2).

Por otra parte, la Cartilla de Obras Menores de Drenaje y Estructuras Viales, la cual es la versión más actualizada de la técnica de Placa-huella que ha suministrado el INVIAS, este pavimento ha sido definido como un sistema aplicable específicamente a **tramos críticos**, es decir que esta última versión complementa la definición inicial y además realiza una limitación de su uso, recomendando la construcción de tramos en Placa-huella de hasta un máximo de 500 metros de longitud y en vías con no más de 5,5 metros de ancho (INVIAS, 2019). A modo general, se debe considerar además la aplicación de esta técnica en las vías donde las pendientes sean muy fuertes (igual o mayor a 10 %), se tenga un alto número de curvas horizontales por kilómetro, tangentes muy cortas, radios de curvatura pequeños y anchos de banca estrechos (INVIAS,2017).

Cabe recordar que, un pavimento del tipo Placa-huella es considerado además como una variación de los pavimentos rígidos tradicionales, el cual está constituido, tal y como se identifica en la Figura 26, por cintas-huellas, cunetas, riostras y bordillos de concreto reforzado con resistencia a los 28 días de 21 MPa (3000 Psi, 210 kg /cm²) y piedra pegada o concreto ciclópeo (60% concreto y 40% piedra) el cual está concebido para presentar menores resistencias, generalmente de 14 MPa, así mismo lo establece el DNP(2016) en la guía de Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de Placa huella, sin embargo en la normativa INVIAS(2017), se definió que para este caso en

específico la resistencia del concreto incorporado a las franjas de piedra pegada fuera también de 21 MPa, previendo con esto el deterioro principalmente provocado por la abrasión que genera las llantas de los vehículos aunque sea esporádica la circulación sobre ellas.

Figura 26. Vista de un tramo recto en Placa-huella



Fuente: Adaptado de Liz e Rugeles (2018) e INVIAS (2017)

En cuanto al método constructivo de esta metodología se define oficialmente como “una losa de concreto reforzado fundida sobre la subbase, en la que su acero de refuerzo se entrecruza con el acero de refuerzo de la riostra y con el acero de refuerzo de la Placa-huella del módulo siguiente” (INVIAS, 2017, pág. 13).

El acero de refuerzo que utiliza la técnica para transmitir los efectos de carga de un módulo a otro, está presente únicamente en el concreto rígido de las losas, las riostras y de las cunetas y no en el concreto ciclópeo, tal y como puede observarse en la Figura 27(a).

La Figura 27(b) por su parte, presenta la situación final de la Placa-huella una vez que se han integrado todos sus elementos.

Figura 27. Placa-huella tipo (a) Encofrado de los módulos (b) Resultado final

Fuente: INVIAS (2017)

La Figura 28 por su parte, indica el proceso constructivo básico de un proyecto Placa-huella tipo, el cual de acuerdo con el DNP(2016) debe constar fundamentalmente de un conjunto de 14 fases, estas fases comprenden, como primera medida la localización y replanteo del eje de la infraestructura, seguido del cierre total o parcial en cuanto se ejecuta paralelamente si fuese posible, la fase de demolición de obras existentes y posteriormente el acondicionamiento de la superficie, esto implica en algunos casos la utilización de motoniveladora para terrenos con una superficie poco homogénea, y un compactador de rodillo para realizar el alisado y conformación de la subbase cuando el proyecto la contemple, o en los puntos donde se requieran rellenos que permitan además la garantía del peralte de la vía del 2%.

Posterior a ello, se procederá con la fase de las excavaciones manuales, las cuales consisten básicamente de las excavaciones para las vigas riostras y la limpieza de las cunetas que se encuentren obstruidas, para permitir seguidamente el armado de la formaleta y la disposición del acero de refuerzo. En este sentido es importante aclarar que estas excavaciones son realizadas debido a que la altura de la viga riostra es generalmente 10 cm mayor que la losa de las cintas-huellas, por lo que la viga riostra queda empotrada al terreno mientras que las losas son dispuestas directamente en la sub-base o la subrasante.

Una vez realizadas estas actividades se da paso a la fase de producción del concreto, de acuerdo con el diagrama del DNP (2016), se inicia con el concreto hidráulico

de las cintas-huellas, una vez inicie su fraguado se procede con la producción del concreto ciclópeo, posterior a ello se fundiría el concreto hidráulico de las riostras y luego el concreto hidráulico de las bermas cunetas o solo cunetas y bordillos. Sin embargo, también puede darse el caso de fundir, primero todo el concreto hidráulico, es decir las cintas-huellas, riostras y cunetas, y luego fundir el concreto ciclópeo. Por este motivo, como se menciona anteriormente, el proceso constructivo de este sistema implica la construcción monolítica de los elementos vigas riostras, los cuales atraviesan a lo ancho la vía, impidiendo la construcción por carriles, por lo que se debe realizar el encerramiento total de la vía en cuanto la resistencia del concreto a los 28 días es garantizada.

En este sentido, la norma INVIAS establece que los elementos de las cintas y las vigas riostras deben ser fundidas de modulo a modulo simultáneamente para asegurar entre ellas un comportamiento monolítico, posterior a ello se fundirían los espacios pertenecientes al concreto ciclópeo.

La fase del sellado de las juntas, tanto de las transversales entre las vigas riostras y las cintas-huellas que constructivamente deberán formarse máximo a cada 3 metros, así como de las cintas-huellas con el concreto ciclópeo, deberá ser realizado para garantizar el pleno funcionamiento de la estructura mediante el impedimento de infiltraciones.

Así mismo, el proyecto deberá asegurar un correcto manejo a las aguas de escorrentía, para lo cual en caso que no disponga, deberá proveerse de un correcto número de cajas de recolección y alcantarillado, este punto como ya ha sido mencionado, es fundamental para garantizar la vida útil de la estructura.

Figura 28. Proceso constructivo del sistema Placa-huella

Fuente: DNP (2016)

Finalmente, es importante mencionar que, existen únicamente dos aspectos que diferencian los tipos de Placa-huella de un proyecto a otro. El primero tiene en cuenta la elección de la sección, que es definido básicamente por el ancho de la vía natural, en este sentido debe ser elegida la que mejor se adapte a las características naturales de la vía, principalmente porque en estos proyectos difícilmente pueden ser realizadas ampliaciones de las secciones.

En este sentido, la Norma INVIAS(2013) también recomienda utilizar valores que rondan los 5 metros de ancho, debido a que valores muy superiores a este, no aseguran el correcto funcionamiento del sistema, especialmente por los elementos de las franjas de piedra pegada, por los cuales se espera que, en la medida que sea posible, no circulen los vehículos pesados, es decir que, en caso de encontrarse dos vehículos en sentidos contrarios, lo ideal es que se concientice a la población, para que uno de los dos espere en cuanto un solo vehículo circula por la Placa-huella.

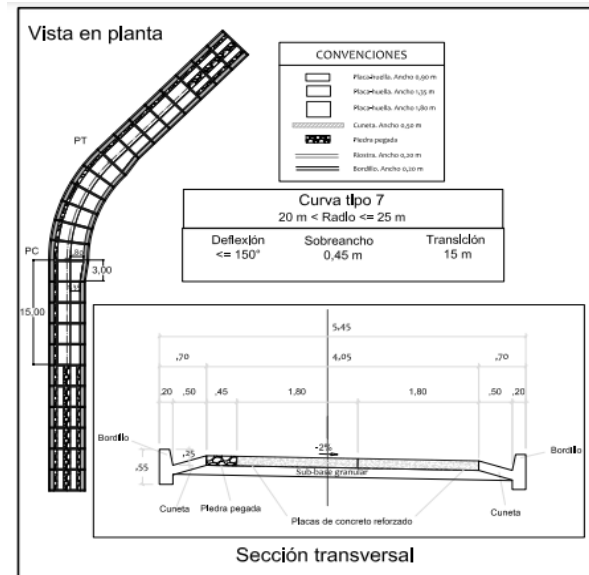
El segundo es la definición de los tipos de curva presentes en cada proyecto, a modo de ejemplificación la Figura 29, ilustra una de las posibilidades que pueden presentarse, y que la norma contempla para la determinación de los sobreanchos correspondientes. Esto debe ser realizado, teniendo en cuenta la geometría de los

vehículos que transitan por la vía, para así garantizar que en la sección de curvatura el eje del camión pueda movilizarse sin correr ningún tipo de riesgo.

Figura 29. Ejemplo de elección de sobre ancho para un tipo de curva



Fuente: Propio autor

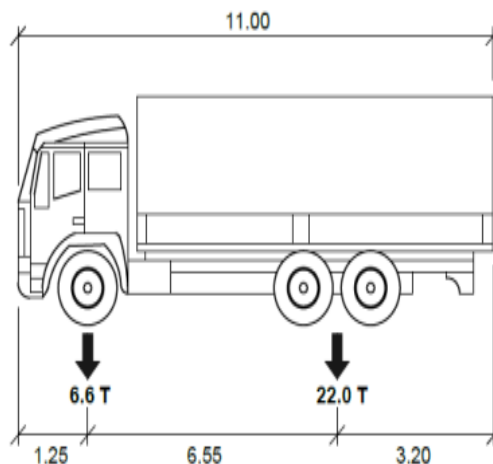


Fuente: INVIAS(2013)

2.2.2.1 Vehículo y cargas de diseño

De acuerdo con INVIAS (2017, pág.4) uno de los aspectos más importantes para la definición de este pavimento ha sido la selección del Vehículo de Diseño “puesto que de él depende el peso, la configuración del eje de referencia y la adecuación geométrica que se le debe construir a la vía para que dicho vehículo pueda circular adecuadamente”.

En este sentido el vehículo en cuestión ha sido un camión de carga tipo C3, el cual tiene un ancho de 2,5 metros y un eje tándem de 22 toneladas distribuidas en dos ejes simples de 11 toneladas, tal y como es ilustrado en la Figura 30.

Figura 30. Vehículo de diseño de la Guía INVIAS

Fuente: INVIAS (2017)

Es importante mencionar que en el caso de la falla del pavimento con Placa-huella de acuerdo con INVIAS (2017) se encontró que es por carga última, a diferencia de los pavimentos tradicionales que fallan por fatiga, es decir por la acumulación de una serie de esfuerzos.

En este sentido se tiene que si en un proyecto de Placa-huella que utiliza los valores estándar establecidos por la guía del INVIAS (2017) en la que el vehículo de diseño ha sido un camión de carga tipo C3, bastaría apenas el paso de un solo camión de carga tipo C4 para que la estructura falle estructuralmente.

2.2.2.2 Clima y tipo de suelo

A modo general se tiene que, como en cualquier otro tipo de pavimento la temperatura y la precipitación, son los factores climáticos más importantes en su dimensionamiento.

En el caso específico del pavimento Placa-huella, esos efectos, así como las solicitaciones producidas por el tráfico, han pretendido ser controlados por las juntas que van de 1,0 – 3,0 metros, y por la considerable cantidad de armadura de acero, lo que ha demostrado tener hasta ahora resultados favorables.

La precipitación por su parte, debe ser controlada con un buen manejo de aguas de escorrentía, mediante la providencia de obras de drenaje (INVIAS, 2017). Este es uno

de los aspectos más importantes a cuidar para obtener buenos resultados en el tiempo, pues una obra puede ser ejecutada en varios tramos con las mismas condiciones y sistemas constructivos, pero pueden tener resultados diferentes a lo largo de su vida útil, únicamente diferenciándolos en el manejo de las aguas de escorrentía.

En cuanto al tipo de suelo, esta técnica ha sido desarrollada para ser aplicable en suelos que presenten un CBR superior al 3%, por lo que su eficiencia va a verse reflejada en suelos con mayores capacidades de soporte y por el contrario será inutilizable en suelos con bajas capacidades de soporte.

Es importante mencionar que, el análisis de elementos finitos evaluó la posibilidad de utilizar un pavimento en concreto simple, con dimensiones de 0,90 metros de ancho y 1,0 metros de largo, dichas dimensiones se hallaron eficientes para controlar los esfuerzos máximos y el efecto de gradiente de temperatura (INVIAS, 2017).

Sin embargo, los resultados de esta modelación indican que existe una falta de información en relación a los efectos erosivos, para conseguir realizar una completa calibración del modelo (INVIAS, 2017).

Por lo anterior, se decidió continuar con la implementación del concreto reforzado con acero corrugado de resistencia (f_y) de 420 a 520 MPa (4200 kg/cm² y 5200 kg/cm²), en las cintas y riostras, en el caso de la guía del DNP (2016) se estableció inicialmente una distribución de acero tal y como se describe en la Tabla 2.

Tabla 2. Acero de refuerzo de acuerdo con el DNP

EN LAS CINTAS	
Refuerzo longitudinal	1#3 @ 0,20 (4 barras distribuidas en 90 cm de ancho)
Refuerzo transversal	1#3 @ 0,20
Traslape	45 cm mínimo correspondiente a varilla #3
EN LAS VIGAS RIOSTRAS	
Refuerzo longitudinal	4#4
Estribos	#4 @ 0,20
Recubrimiento	10 cm

Fuente: Elaboración propia a partir de DNP (2016)

Sin embargo, si es el caso que el proyecto se rija conforme a los criterios establecidos en la guía del INVIAS (2017), los valores para la armadura de refuerzo serán tal conforme se indica en la Tabla 3. Estos valores fueron modificados a partir de un nuevo análisis de carga y vida útil definidos en el FEM.

Cabe recordar que este análisis hace referencia a la carga del vehículo de tipología C3, para un periodo de vida útil de 20 años, en suelos que presenten buena capacidad de soporte. En este sentido, el diseño estructural citado debe ser usado para todas las Placas-huella independientemente de su forma y dimensiones siempre y cuando estas condiciones sean cumplidas en los estudios preliminares del proyecto.

Tabla 3. Acero de refuerzo de acuerdo con el INVIAS

EN LAS CINTAS	
Refuerzo longitudinal	1#4 @ 0,15 (5 barras distribuidas en 90 cm de ancho)
Refuerzo transversal	1#2 @ 0,30
Traslape	60 cm mínimo correspondiente a varilla #4
EN LAS VIGAS RIOSTRAS	
Refuerzo longitudinal	4#4
Estribos	1#2 @ 0,15
Recubrimiento	7,5 cm inferior y 4,0 cm superior

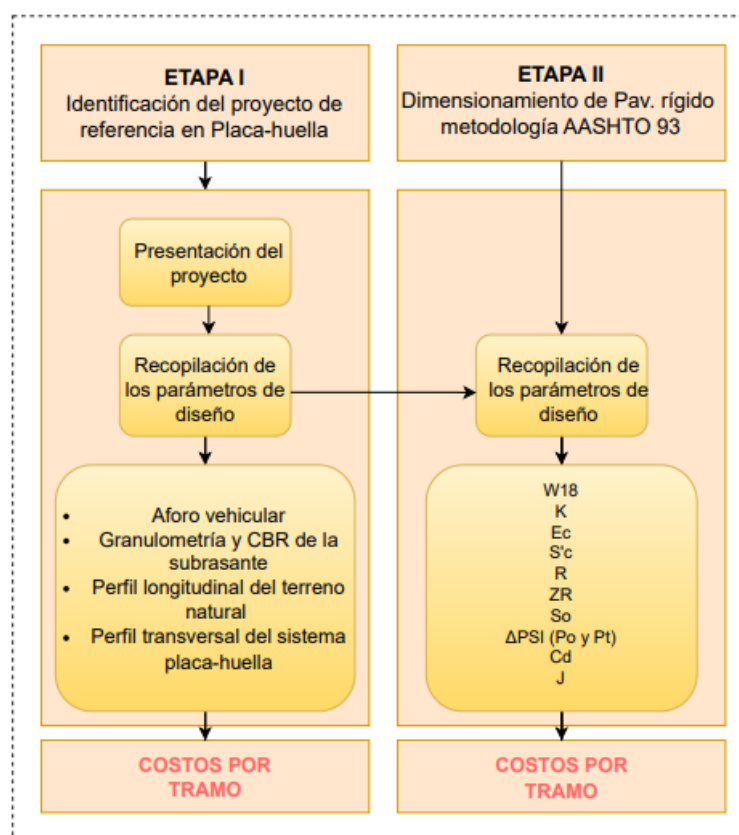
Fuente: Elaboración propia a partir de INVIAS (2017)

3. CAPITULO 3: METODOLOGÍA

En los capítulos anteriores se ha realizado una contextualización general de la situación vial del país, y se ha hecho un énfasis en lo que concierne a las problemáticas presentes en la red terciaria colombiana. De esta manera, ha sido visto, que dichas problemáticas tienen un trasfondo histórico y unas características climáticas y topográficas que han generado por consiguiente un panorama complejo a la hora de implementar soluciones. En este sentido, este trabajo ha buscado indagar acerca de las propuestas que se han tornado más accesibles y que apuntan a ser las soluciones más efectivas hasta ahora.

Este capítulo por su parte presenta detalladamente las etapas mediante las cuales se ha desarrollado el análisis comparativo entre las dos técnicas de pavimentación comprendidas en este estudio, el cual se ha desarrollado conforme el flujograma de la Figura 31.

Figura 31. Flujograma de actividades



Fuente: Autor

A continuación, serán descritas detalladamente las dos etapas planteadas y el desarrollo progresivo para cada una de ellas.

3.1 Etapa I: Identificación del proyecto de referencia en el sistema Placa-huella

Para hacer posible el análisis comparativo entre las dos metodologías abordadas, se ha definido iniciar a partir de la identificación de un proyecto en etapa de ejecución en el sistema Placa-huella, el cual fuera representativo a las constantes problemáticas de tránsito de esta red vial. Para esto se realizó el seguimiento a los proyectos que se encontraban dentro de las condiciones del entorno geográfico identificado en el capítulo 1 asociado a la introducción del estudio.

Una vez que ha sido identificado el proyecto de interés, el cual fue establecido como una solución adecuada a la problemática inherente al caso de estudio, se ha tomado como la base y referencia de proyectos ejecutados que siguen los criterios y recomendaciones de las guías del DNP e INVIAS.

Posterior a ello, se procedió a obtener el permiso por parte del responsable del proyecto, para que fuese posible el uso de las informaciones y de las posteriores visitas de campo. A partir de la aceptación por parte del responsable, se comienza a realizar una recopilación y verificación de los parámetros de diseño del proyecto, de acuerdo con las principales recomendaciones de las guías. Estas verificaciones consisten esencialmente en revalidar informaciones como, la capacidad de soporte de la subrasante para lo cual, como ya ha sido mencionado, la norma establece valores del índice CBR superiores al 3%, con esto se busca verificar la ausencia de suelos expansivos, demasiado blandos, etc., quienes tienen un comportamiento mucho más complejo, y para los cuales la norma no es aplicable (INVIAS, 2017).

Para estos estudios geotécnicos la guía de Obras menores recomienda que sean realizados apiques a una profundidad de 1,5 metros, a partir de los cuales deberá realizarse la correspondiente caracterización de la subrasante a partir de muestras alteradas representativas de las condiciones de cada unidad de diseño, con el fin de determinar además la granulometría, el contenido de humedad, el Límite líquido y el Límite plástico. Por otra parte, deberá obtenerse la capacidad de soporte de la subrasante en cada unidad homogénea, mediante la determinación del CBR en laboratorio a partir

de muestras inalteradas en cilindros, cuando fuese el caso que no pueda ser realizado el ensayo de Penetrómetro Dinámico de Cono (PDC). A continuación, tal y como es indicado en la Tabla 4, se exponen con mayor detalle las normativas utilizadas en cada uno de los ensayos mencionados anteriormente.

Tabla 4. Normativas que rigen el estudio de suelos

NORMA	DESCRIPCIÓN
INV E -122-13 Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado	Este método cubre la determinación de laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas suelo-agregado por peso, por contenido de humedad del material se define como la relación expresada en porcentaje entre la masa de agua que llena los poros en una masa de material, y la masa de partículas sólidas del material.
INV E -123-13 Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos	Tiene como objetivo la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo, y aquí es descrito el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por distintos tamices de la serie utilizada, que van hasta el 75 μ m (No.200).
INV E-125 -13 Determinación del límite líquido de los suelos	Por límite líquido de un suelo se entiende como el contenido de humedad secado en horno, cuando este se encuentra entre el estado líquido y el estado plástico.
INV E -126 -13 Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	Esta norma nos muestra un procedimiento para el cálculo del límite plástico e índice de plasticidad de suelos, entendiéndose como límite plástico al porcentaje de agua más bajo con el cual es posible realizar rollos del material de un diámetro de 3mm, y entendiéndose como índice de plasticidad a la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.
INV E - 148 - 13 CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada	Está norma describe el procedimiento para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado relación de soporte de california, que es muy conocido debido a su origen por CBR (California Bearing Ratio).

Fuente: Adaptado de Buitrago, Castaño y Hernández (2018)

La segunda verificación consiste en analizar la tipología de vehículos que se

encontraron en el estudio del flujo vehicular, para de esta manera definir la tipología de vehículos que circulan en este tramo de vía y verificar que efectivamente no circulan camiones con características superiores a las del tipo camión de carga C3, caso contrario las condiciones del FEM no estarían siendo cumplidas y, por lo tanto, la Norma INVIAS tampoco sería aplicable en este caso.

Cabe mencionar que, si este estudio hubiese abarcado únicamente los criterios de diseño de la metodología del INVIAS y del DNP, la única razón de realizar un análisis de tránsito hubiese sido definir las diferentes tipologías de vehículos que transitan por esta vía, con el objetivo principal de determinar si existe la demanda de circulación de vehículos con dimensiones y pesos mayores a los del C3.

Sin embargo, el método de la AASHTO si requiere un análisis del volumen vehicular para la determinación del parámetro W18 y para el cual los datos de un aforo vehicular son de gran importancia.

En vista de lo planteado anteriormente, se estableció una estación de conteo para realizar el seguimiento vehicular, durante una semana, en jornadas que comenzaban a las 7:00 h y finalizaban a las 18:00 h, esto durante los 5 días entre semana, y los dos días de mercado en una semana típica de movilización.

Además de esto, ha sido importante recopilar otras informaciones tales como, la longitud de la banca, el perfil longitudinal del terreno natural esto con el fin de analizar la pendiente promedio del terreno en estudio, y finalmente la representación del perfil transversal del sistema Placa-huella implementado.

En seguida que han sido definidas las informaciones anteriores, se ha procedido a realizar el análisis de las actividades constructivas y las cantidades de materiales que se han requerido. Estos datos, incluyendo la definición de las cantidades de consumo de concreto y acero de refuerzo, han sido adquiridos a lo largo de varias visitas de campo durante la ejecución del proyecto, para posteriormente con ellos realizar y presentar los costos totales del tramo en cuestión, una vez que ha sido finalizado y entregado el proyecto. De esta manera se ha dado por finalizada la primera etapa de este trabajo de conclusión de curso, y se ha dado paso a la segunda parte del estudio.

3.2 Etapa II: Dimensionamiento del pavimento rígido convencional mediante la metodología de la AASHTO

Para el posible desarrollo de esta etapa, se ha definido trabajar a partir de los conceptos implementados en la metodología AASHTO (1993) y la bibliografía mayormente citada en el País de Colombia para el dimensionamiento de pavimentos de concreto hidráulico.

Así mismo, se ha definido abordar este dimensionamiento mediante la herramienta informática desarrollada por el Ingeniero civil Luis Ricardo Vásquez Varela de la Universidad de Manizales (Colombia) en el año 2006, el cual resuelve la ecuación AASHTO 93 a partir del ingreso de los parámetros que serán descritos seguidamente con mayor detalle. La ecuación que esta herramienta ha permitido resolver, ha sido definida en este trabajo como ecuación 1.

A continuación, será descrito detalladamente el proceso de cálculo que ha permitido obtener cada una de las variables de entrada del programa para obtener el espesor de la losa de concreto (D) en unidades de pulgadas.

3.2.1 Número de aplicaciones de Ejes simples equivalentes de 82 kN a lo largo del período de diseño (W18)

A pesar de que el pesaje de los vehículos sería el método más preciso para determinar estas cargas, en la práctica este método es difícilmente utilizado, por los costos y tiempo que ello implica, para el caso de vías terciarias e incluso para muchos otros casos de vías de primer y segundo orden es inviable la aplicación de este método.

Por otra parte, tampoco existen datos de tránsito de vías alternas que puedan ser utilizados en este caso en específico, motivo por el cual en este estudio, se ha optado por utilizar la metodología descrita por Cal e Grisales (2007) en su libro Ingeniería de Tránsito Fundamentos y aplicaciones, en el que a partir de métodos con fundamentos estadísticos se extrapolan los valores del Tránsito Promedio Diario Semanal (TPDS) determinados a partir de aforos realizados en estaciones de conteo durante una semana típica de movilización, a valores del TPDA a partir de la ecuación 2.

$$TPDA = TPDS \pm K * \delta \quad (2)$$

Donde:

K: número de desviaciones estándar, correspondiente al nivel de confiabilidad deseado

δ : estimador de la desviación estándar poblacional, calculado a partir de la ecuación 3

$$\delta = \frac{S}{\sqrt{n}} * \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \quad (3)$$

Donde:

S= Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito o desviación estándar muestral, calculada a partir de la ecuación 4

N= Tamaño de la muestra en número de días de conteo o aforo

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x(Tdi-TPDS)^2}{n-1}} \quad (4)$$

Donde:

Tdi= Volumen de tránsito del día i

Por otra parte, para realizar una simplificación del cálculo de ESALs, este estudio ha optado por utilizar el método estimativo del Diseño de pavimentos-AASHTO 93 descrito en Cordo (1998), en el que se determina un factor de daño de un camión promedio en lugar de calcular varios factores de camiones para cada tipo de vehículo, a partir de la ecuación 5.

$$ESAL = TPDA \times \%CP \times GF \times DD \times LD \times TF \times 365 \quad (5)$$

Esta ecuación ha sido renombrada por FONSECA (2002) (autor frecuentemente citado en diseño de pavimentos en Colombia) mediante la ecuación 6

$$N = TPD \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times 365 \times \frac{(1+r)^n}{\ln(1+r)} \times FC \quad (6)$$

La ecuación 6, a su vez es reducida para fines prácticos de dimensionamiento en

la ecuación 7, a partir de la cual fue realizado el cálculo de ejes equivalentes en este caso de estudio.

$$N = V_c \times FC \quad (7)$$

Siendo:

N (ESAL) = Número de ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el carril de diseño durante el periodo de diseño (W18)

V_c = Cantidad de vehículos comerciales en el carril de diseño en el período de diseño

FC = Factor camión

Donde V_c representa los términos agrupados de la ecuación 8

$$V_c = TPD \times \frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times 365 \times F_p \quad (8)$$

Siendo:

TPD = Trafico promedio diario en el año inicial

A = Porcentaje estimado de vehículos comerciales

B = Factor direccional que representa el porcentaje de vehículos comerciales en el carril de diseño

F_p = Factor de proyección del tránsito. Calculado a partir de la expresión $\left(\frac{(1+r)^n - 1}{Ln(1+r)} \right)$, Siendo:

r = Taza anual de crecimiento del transito

n = Periodo de diseño

La determinación del Factor camión (FC) por su parte, fue realizado a partir de la utilización de la ecuación 9, la cual representa un valor promedio de factores de daño de los diferentes vehículos.

$$FC = \sum \text{Factor daño} \times \% \text{Veículos Comerciales} \quad (9)$$

En esta ecuación fueron usados los factores de equivalencia presentados en la Tabla 5, los cuales fueron obtenidos por la Universidad de Cauca a partir de conteos manuales realizados anualmente por el INVIAS en la red nacional (FONSECA, 2002).

Este es uno de los métodos utilizados con mayor frecuencia en Colombia, cuando no existen datos de pesaje real para cada proyecto.

Tabla 5. Valores factor de daño

VEHICULOS COMERCIALES	FACTOR DAÑO
C2-P	1,14
C2-G	3,44
C3	3,76
C4	6,73
C5	4,40
>C5	4,72

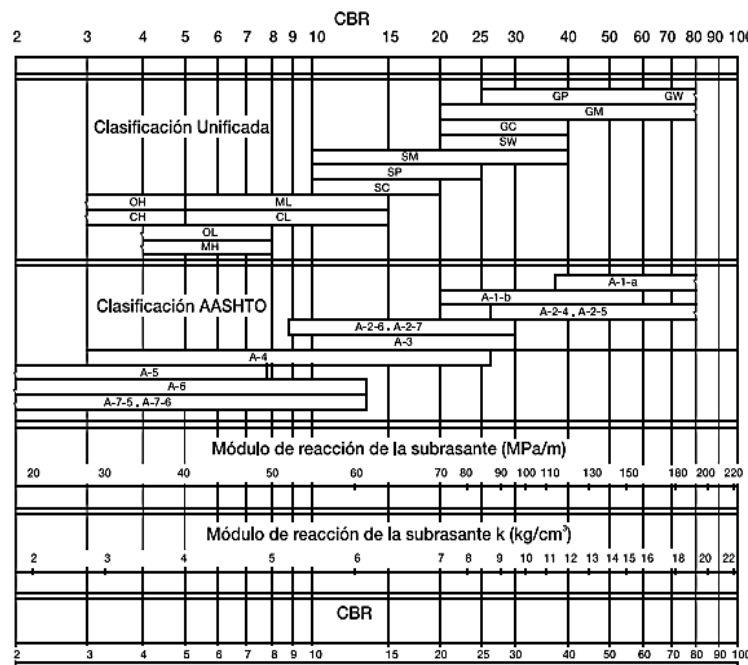
Fuente: Adaptado de Fonseca (2002)

Una vez estimado el TPDA, el Vc y el FC ha sido posible calcular el valor de N o W18 en números de ESAL.

3.2.2 Módulo de reacción (K)

Idealmente, este valor debe ser determinado mediante un ensayo de placa, en la que se aplica una carga y se mide el desplazamiento de la placa sobre el suelo, sin embargo, debido a la dificultad por realizar este ensayo, y considerando además que, de acuerdo con Naranjo y Pabón (2008), en el diseño de los pavimentos de concreto se admiten aproximaciones en la determinación de la capacidad de soporte del suelo, se ha optado por admitir los valores de la correlación entre el valor k y el CBR de la Tabla 6.

Tabla 6. Relación entre los valores de Capacidad de Soporte (CBR) y módulo de reacción de la subrasante (K)



Fuente: Naranjo y Pabón (2008)

3.2.3 Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Si bien la determinación de este parámetro es realizada a partir de ensayos de laboratorio en el caso de Colombia mediante la Norma INV E-416-07, para este caso ha sido inviable ser realizado, motivo por el cual se ha recurrido a adoptar un valor dentro del rango de valores de entrada de la herramienta creada por el profesor Luis R. Vásquez, el cual va de 3×10^6 a 7×10^6 Psi.

3.2.4 Módulo de rotura del concreto (S'_c)

Este valor es susceptible a las variables implícitas en la producción del concreto, por lo que lo recomendable es realizar correlaciones en base a los datos reales. En estas correlaciones se determina una constante que representa el valor lineal encontrado a partir de varios ensayos de compresión y flexión, dicha constante es proporcional a las propiedades de los agregados a utilizar en la mezcla (CORDO, 1998).

Sin embargo, para este estudio no se han encontrado estudios que obtengan una correlación para el módulo de rotura con los agregados de la Caima-Tolima (lugar de

origen de los agregados), por lo cual se optado por hacer uso de la correlación indicada en el Diseño de pavimentos AASHTO-93, presentada en la ecuación 10.

$$S'_c = 7 \text{ a } 12 \sqrt{f'_c} \quad (10)$$

3.2.5 Confiabilidad (R) y Desviación normal estándar (Z_R)

El valor adoptado ha tenido en cuenta cierta probabilidad de falla, considerando que entre mayor confiabilidad menor probabilidad de falla tendrá el pavimento, a su vez entre mayor confiabilidad mayores costos iniciales requerirá el pavimento, sin embargo, esto también repercute directamente en menores costos de mantenimiento por lo que pasará más tiempo hasta que el pavimento necesite una primera reparación (CORDO, 1998).

La metodología AASHTO propone definir los valores de confiabilidad en el dimensionamiento de un pavimento rígido, a partir del tipo o uso esperado de la carretera y las zonas donde será construido el pavimento, esta variable ha sido determinada a partir de los valores recomendados por la AASHTO presentados en la Tabla 7.

Tabla 7. Valores de confiabilidad (R)

TIPO DE CAMINO	CONFIABILIDAD RECOMENDADA	
	ZONA URBANA	ZONA RURAL
Rutas interestatales y autopistas	85-99,9	80-99,9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Cordo (1998)

Cabe mencionar que se le es asignado mayores valores de confiabilidad a las vías imprescindibles, con lo que se quiere evitar que no haya interrupciones que puedan generar graves trastornos, principalmente en autopistas y arterias principales.

En este sentido los volúmenes de tránsito característico de una vía terciaria, permiten que estas interrupciones no sean tan perjudiciales cuanto, en las primeras, en

este sentido, dependiendo los criterios del proyectista, la confiabilidad puede llegar a asumir valores de hasta un 50% para vías locales. Finalmente, la desviación normal estándar (Z_R), ha sido determinada a partir de la confiabilidad adoptada conforme los valores presentados en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de desviación normal estándar (Z_R)

CONFIABILIDAD (R) %	DESVIACION NORMAL ESTANDAR (Z_R)	CONFIABILIDAD (R) %	DESVIACION NORMAL ESTANDAR (Z_R)
50	0,000	94	1,555
60	0,253	95	1,645
70	0,524	96	1,751
80	0,841	97	1,881
85	1,037	98	2,054
90	1,282	99	2,327
91	1,340	99,9	3,090
92	1,405	99,99	3,750
93	1,476		

Fuente: Cordo (1998)

3.2.6 Error estándar combinado o desviación estándar total (S_o)

Este valor ha sido determinado a partir de los valores recomendados por la guía AASHTO para pavimentos rígidos, presentados en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de desviación estándar total (S_o)

PROYECTO PAVIMENTO RIGIDO	DESVIACION ESNTANDAR (S_o)
Rango	0,30 – 0,40
Construcción nueva	0,35
Sobre capas	0,40

Fuente: González y Hernández (2015)

3.2.7 Índice de Serviciabilidad (ΔPSI)

El índice de serviciabilidad ha sido determinado de acuerdo con los valores que se obtuvieron en el AASHO Road Test presentados en la Tabla 10 y 11, los cuales dependen del pavimento y del tipo de vía respectivamente.

Por lo general se considera aun en estado bueno una vía con un valor de serviciabilidad entre 4 y 4,5, siendo que valores inferiores indican que ya existen fallas funcionales.

En este sentido, en el diseño de un pavimento entre mayor sea la serviciabilidad menores fallas funcionales serán manifestadas, sin embargo, esto también puede repercutir directamente en el aumento del espesor de la losa.

Tabla 10. Valores de serviciabilidad inicial (P_o)

PAVIMENTO	SERVICIABILIDAD INICIAL (P_o)
Rígidos	4,5
Flexibles	4,2

Fuente: Cordo (1998)

Tabla 11. Valores de serviciabilidad final (P_t)

TIPO DE VIA	SERVICIABILIDAD FINAL (P_t)
Caminos muy importantes	2,5
Caminos de menor tránsito	2,0

Fuente: Cordo (1998)

3.2.8 Coeficiente de Drenaje (C_d)

Para este caso de estudio, no se ha podido calcular el tiempo de drenaje real en las capas del pavimento, el cual depende del daño admisible y de las condiciones climáticas del lugar (CORDO,1998), en este sentido se ha optado por determinar un valor considerando las características del clima de la región, así como las características de la

pendiente longitudinal y transversal de la vía, que también influenciaran en la velocidad de drenaje.

Una vez que han sido considerados estos aspectos, se ha adoptado un valor de acuerdo con los valores recomendados por la ASSHTO para el caso de pavimentos rígidos a partir de la Tabla 12.

Tabla 12. Valores de coeficiente de drenaje (Cd)

CALIDAD DE DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10
Bueno	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00
Regular	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90
Pobre	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80
Muy pobre	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,70

Fuente: Cordo (1998)

3.2.9 Coeficiente de transferencia de cargas (J)

Para este caso de estudio se ha definido el valor J a partir de la definición del tipo de pavimento a ser implementado y de los valores recomendados por González y Hernández (2015) en la Tabla 13, considerando además que, de acuerdo con el mismo autor, para vías con un tránsito característico de pocos camiones, los valores para J pueden llegar a asumir valores relativamente bajos.

Tabla 13. Valores de coeficiente de transferencia de carga (J)

BERMA	DE ASFALTO		DE CONCRETO	
	Sí	No	Sí	No
Dispositivos de transmisión de cargas				
Tipo de pavimento:				
1. No reforzado o reforzado con juntas	3,2	3,8-4,4	2,5-3,1	3,6-4,2
2. Reforzado continuo	2,9-3,2	--	2,3-2,9	--

Fuente: González y Hernández (2015)

Una vez que han sido definidos todos los anteriores parámetros, se ha logrado obtener el resultado del espesor de la losa, para posteriormente con este valor, realizar y presentar los costos para la producción de un pavimento rígido tradicional, específicamente para este caso tomando la alternativa de un pavimento de concreto simple.

En cuanto a la selección de la barra, longitud y separación del acero de anclaje dispuesto en las juntas longitudinales, y el acero para las dovelas dispuestas en las juntas transversales, se han adoptado los valores recomendados por Naranjo y Pabón (2008), en su manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, conforme la Tabla 14 y 15 respectivamente.

Tabla 14. Valores recomendados para las barras de anclaje

Espesor de losa (mm)	Barras de ϕ 9,5 mm (3/8")				Barras de ϕ 12,7 mm (1/2")				Barras de ϕ 15,9 mm (5/8")			
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)
Acero de $f_y = 187,5$ MPa (40.000 psi)												
150	0,45	0,80	0,75	0,65	0,60	1,20	1,20	1,20	0,70	1,20	1,20	1,20
175		0,70	0,60	0,55		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20
200		0,60	0,55	0,50		1,05	1,00	0,90		1,20	1,20	1,20
225		0,55	0,50	0,45		0,85	0,85	0,80		1,20	1,20	1,20
250		0,45	0,45	0,40		0,85	0,80	0,70		1,20	1,20	1,10
Acero de $f_y = 280$ MPa (60.000 psi)												
150	0,65	1,20	1,10	1,00	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20	1,20
175		1,05	0,95	0,85		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
200		0,90	0,80	0,75		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
225		0,80	0,75	0,65		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
250		0,70	0,65	0,60		1,20	1,15	1,10		1,20	1,20	1,20

Fuente: Naranjo y Pabón (2008)

Tabla 15. Valores recomendados para la selección de los pasadores de carga

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada	mm	mm
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	3/4	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 - 200	25	1	350	300
210 - 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 1/4	450	300
260 - 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

Fuente: Naranjo y Pabón (2008)

De esta manera se da por finalizada la segunda y última etapa de esta metodología, y además del capítulo 3.

Es importante recordar que, hasta ahora, se han dado a conocer las metodologías aplicadas en los dos sistemas constructivos de pavimentación contemplados, explicando detalladamente los parámetros de diseño relacionados a cada uno de ellos.

Además de esto, se ha indicado la línea metodológica con la cual se ha conseguido definir, en el caso del proyecto en ejecución en el sistema Placa huella, las informaciones de diseño más trascendentales en este tipo de proyectos, a partir de las cuales, se han analizado los criterios que han sido implementados y además el costo total que ha implicado el uso de la técnica en este caso en específico, analizando la materia prima y los aspectos constructivos que han sido requeridos durante su ejecución.

En el caso del pavimento rígido convencional, esta línea metodológica ha indicado el proceso de determinación de los parámetros de dimensionamiento del espesor de la losa, para el mismo tramo y bajo las mismas condiciones, para posteriormente realizar un análisis de costos y de los aspectos constructivos que se hubiesen requerido, si se hubiese implementado un pavimento del tipo convencional en lugar del tipo Placa-huella.

4. CAPITULO 4: ESTUDIO DE CASO EN LA REGIÓN DEL LÍBANO- TOLIMA

En este capítulo se abordan los procedimientos correspondientes a la **Etapla I** definida como Identificación del proyecto de referencia en Placa-huella, siguiendo con la línea metodológica planteada en la Figura 31, a partir de las informaciones y características específicas del tramo de vía encontradas en campo.

Para esto se iniciará presentando la localización del tramo de vía en cuestión y los criterios de diseño que han sido contemplados en este caso. Además de esto, se mostrará un registro fotográfico indicando el paso a paso de las fases constructivas mediante las cuales se ha llevado a cabo la ejecución de este pavimento. Al finalizar este capítulo, se presentará el costo total requerido para este proyecto de Placa-huella, lo cual servirá de referencia para el análisis comparativo desarrollado en el capítulo 5.

4.1 Presentación del proyecto

El proyecto de referencia y base de este estudio corresponde a un tramo de 50 m en el sistema Placa-huella, ubicado, conforme es indicado en la Figura 32, en la vía terciaria que comunica el casco urbano del corregimiento del Convenio, con por lo menos 10 veredas aledaña. Este corregimiento es considerado como el más importante de la región del Líbano-Tolima.

Figura 32. Identificación del tramo de vía

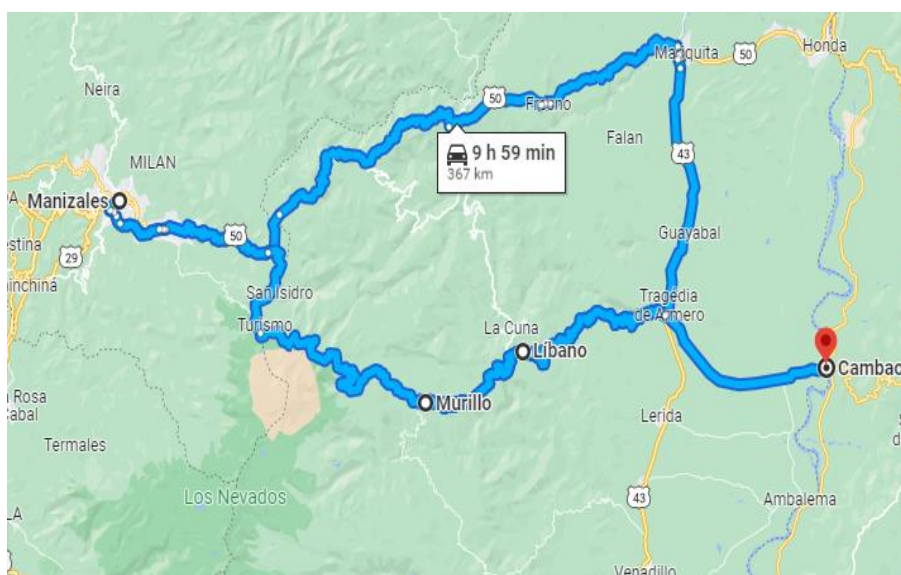


Fuente: Google Earth

Es importante mencionar dos aspectos importantes que hacen de este tramo un ejemplo interesante de estudio, el primero se debe a que como ha sido indicado en la Figura 32, existe una vía secundaria muy próxima a esta región, la cual está incluida dentro de los grandes proyectos que se están ejecutando en el País para el mejoramiento de la conexión en la red primaria y secundaria, específicamente en este caso del corredor vial Cambao-Manizales, que se encuentra a cargo de la concesión Alternativas Viales.

El proyecto que contempla esta ruta, espera estar finalizado en un periodo de tiempo de construcción de 3 años, bajo una inversión estimada de 1,33 billones de pesos, el cual tiene el objetivo de mejorar la conexión transversal del centro del país, facilitando la comunicación y el intercambio comercial entre el departamento de Caldas y el departamento del Tolima, y a su vez con la capital, mediante la ruta Manizales-Murillo-Líbano-Cambao tal y como se indica en la Figura 33, pues anteriormente la ruta Manizales-Cambao era realizada mediante la vía nacional 50, esto debido a la compleja situación que se presentaba sobre todo en la región más cercana al parque nacional de Los Nevados.

Figura 33. Corredor vial Manizales-Cambao



Fuente: Google maps

En este sentido, este proyecto trae consigo grandes beneficios para toda la región del Líbano, lo que supone un desarrollo económico y social inevitable también para el sector del Convenio.

Lo expuesto anteriormente indica además que, esta región tiene también un alto grado de probabilidad para nuevos proyectos de construcción vial en la red terciaria, pues el buen estado de esta permitirá que los objetivos planteados en este nuevo corredor vial sean alcanzados satisfactoriamente.

El segundo aspecto a mencionar, está relacionado con el tipo de contratación con el cual se ha desarrollado el proyecto. Esto se debe a que es el primer proyecto de la región en ser ejecutado bajo la administración de los recursos por las propias Juntas de Acción Comunal (JAC), en lugar de ser administrados y ejecutados por la alcaldía como generalmente ha sido hasta ahora en los proyectos de Placa-huella.

Este nuevo sistema de manejo de los recursos ha sido propuesto por el actual gobierno del presidente Gustavo Petro, con el objetivo de reducir los índices de corrupción promoviendo la participación de las propias comunidades para el mejoramiento de sus vías.

Los recursos económicos para la ejecución de este proyecto provienen de fuentes del gobierno nacional mediante el Ministerio del Interior, entidad que, por medio del programa de mejoramiento de vías terciarias mediante el sistema Placa-huella, proponía que las propias comunidades postularan las vías terciarias que requirieran mejoras, y así otorgarles los recursos económicos a los proyectos que fuesen aprobados.

Es así que, el Señor Jesús Arismendi, presidente de la JAC, quien con ayuda de los miembros de la junta y de ingenieros quienes asesoraron el proyecto, realizaron un seguimiento a los puntos críticos de la región, seleccionando el tramo de vía en cuestión, sobre el cual fue realizado y entregado el proyecto, el mismo que fue aprobado en noviembre de 2022.

Posteriormente fue desembolsado un presupuesto de 30 millones de pesos colombianos (COP), (de acuerdo con la tasa de cambio del día 25 de mayo de 2023 es equivalente a 34.000 Reales), esto bajo algunas exigencias, dentro de las que se encuentra, ejecutar la obra en un plazo de 30 días y la justificación de otros aportes por parte de la comunidad mediante donaciones o mano de obra en un total de por lo menos \$4.500.000 COP (5.100 R).

Es decir que los **\$34.500.000 COP en total (39.065,27 R)**, debían contemplar además de la materia prima, la mano de obra y cualquier otro aspecto constructivo que

se requiriese. En este sentido, este proyecto se ha convertido en un referente para los futuros proyectos de mejoramiento de vías terciarias de la región, bajo la administración de las propias JAC de cada región, es así que, dependiendo de la eficiencia con que se vean cumplir los objetivos propuestos en este proyecto, será probable o no que se continúen realizando mejoramientos de vías terciarias bajo esta misma modalidad.

4.2 Recopilación de los parámetros de diseño del pavimento Placa-huella

Una vez que ha sido presentado el tramo de estudio, se dará paso a la recopilación de los parámetros de diseño que han sido contemplados en este caso. Es importante mencionar nuevamente que algunas de las informaciones que serán presentadas a continuación han sido suministradas por el responsable en la ejecución del proyecto, es decir por el presidente de la JAC, quien a su vez ha aceptado su uso para fines académicos tal y como puede verificarse en el Anexo A de este trabajo

También es importante aclarar que el estudio de tránsito de la vía ha sido realizado por parte del propio alumno, una vez que esta información no fue suministrada por el responsable del proyecto. De este estudio fueron obtenidas, por lo tanto, las informaciones indicadas en la Tabla 16.

Tabla 16. Aforo vehicular en una semana típica de movilización

Número de vehículos							Total	Promedio	porcentaje
Entre semana					Días de mercado				
Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	Do m			
8	7	7	9	10	12	15	68	10	13%
15	14	15	13	15	18	15	105	15	20%
38	35	38	40	38	48	46	283	40	55%
6	12	5	8	10	3	3	47	7	9%
2	4	2	3	4	0	0	15	2	3%
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
69	72	67	73	77	81	79	518	74	100%

Fuente: Autor

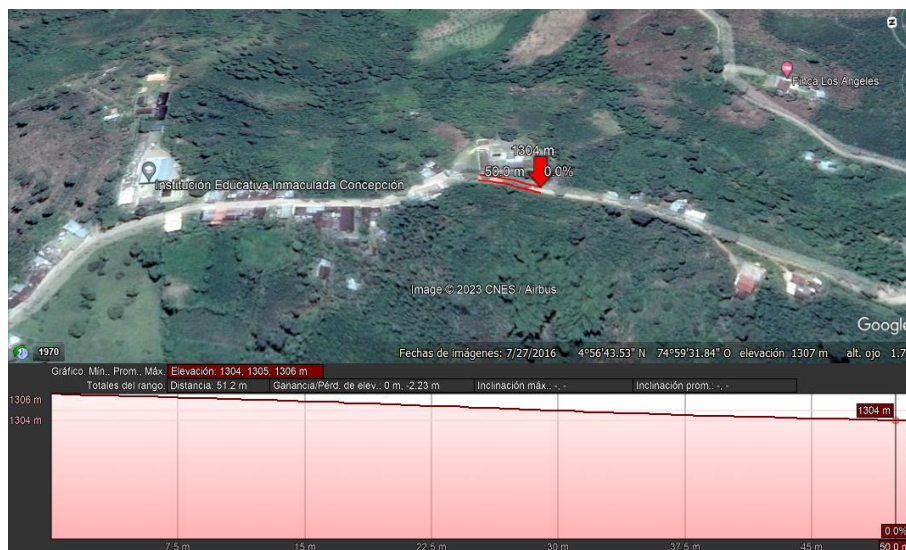
Además, fue informado que los estudios previos de suelos no fueron realizados

debido a que, de acuerdo con las asesorías que recibió el presidente de la JAC, esta actividad sugería un aumento considerable en el costo total de la obra, lo cual no era viable económicamente, tratándose de un proyecto con recursos tan limitados.

Por lo tal se ha asumido que, el suelo aparentemente con una buena capacidad de soporte, tiene, por lo tanto, un CBR superior al 3%. En este sentido, fue inviable por parte del alumno, corroborar dicha información.

Por otra parte, se ha conseguido obtener a partir de la herramienta Google Earth una representación del perfil longitudinal del tramo, tal y como es indicado en la Figura 34, en el cual se puede apreciar un perfil relativamente homogéneo superficialmente, sin embargo, las pendientes han sido calculadas manualmente en campo, encontrándose valores entre 6% y 12% en sus puntos más críticos.

Figura 34. Perfil longitudinal

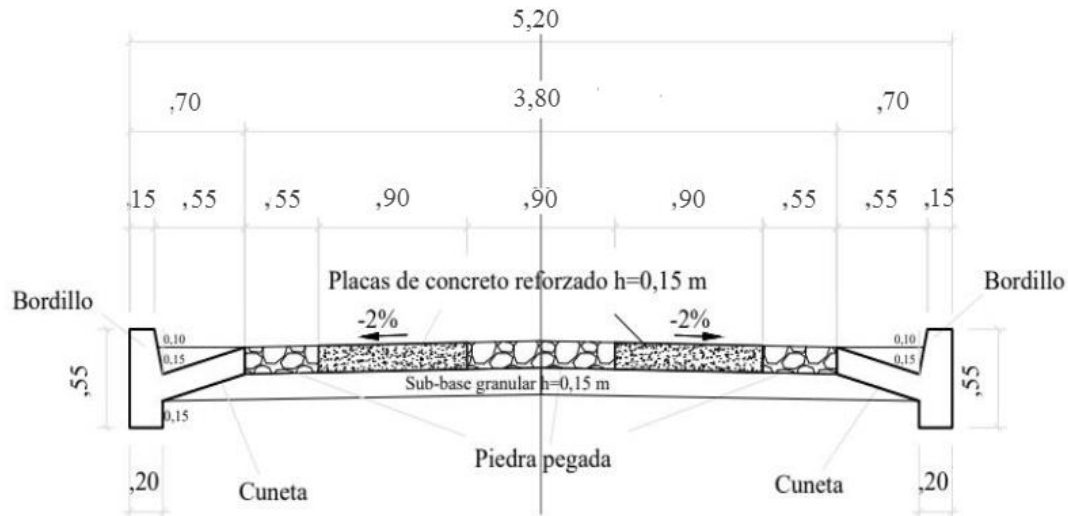


Fuente: Google Earth

El tipo de sección transversal implementado, ha sido ilustrado en la Figura 35, el cual corresponde a un ancho de banca de 5,20 metros, es decir que no ha sido necesario considerar algún tipo de ampliación, ni tampoco ha sido necesario la implementación de un sobreancho, principalmente por que el tramo es muy corto, y además por que el tramo no presenta un radio de curvatura pequeño, por el contrario, este presenta apenas una leve curvatura, la cual permite una buena visibilidad de ambos extremos, por lo que la probabilidad de que dos camiones circulen simultáneamente por el sistema, es

prácticamente nula.

Figura 35. Distribución de los elementos de la sección transversal



Fuente: AutoCAD

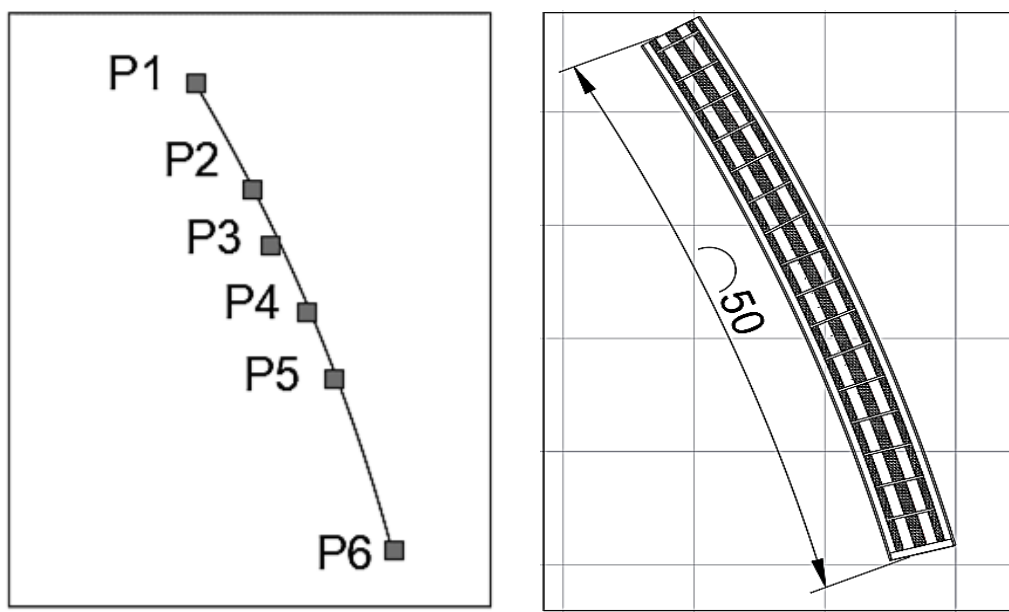
La Tabla 17 por su parte presenta las coordenadas geográficas de los puntos representativos del tramo obtenidos en Google Earth, los cuales han sido convertidos a coordenadas cartesianas, para ser ingresados en AutoCAD, obteniendo así una aproximación del eje geométrico de la vía, tal y como es indicado en la Figura 36(a) sobre el cual se realizó la visualización en planta del sistema Placa-huella de acuerdo con la distribución de los elementos según la sección que ha sido definida, tal y como es indicado en la Figura 36(b).

Tabla 17. Identificación de Coordenadas

Punto	Coordenadas geográficas		Coordenadas Cartesianas		Abscisas
Pi	4°56'43,57"N	74°59'32,20" O	4,945463889	74.9922778	K0+000
P2	4°56'43,22" N	74°59'32,38" O	4.94533889	74.99232778	K0+011
P3	4°56'43,04" N	74°59'32,44" O	4.94528889	74.99234444	K0+017
P4	4°56'42,82" N	74°59'32,56" O	4.94522778	74.99237778	K0+024
P5	4°56'42,60" N	74°59'32,65" O	4.94516667	74.99240278	K0+030
P6	4°56'42,04"N	74°59'32,84" O	4,945011	74,99243056	K0+050

Fuente: Autor

Figura 36. Representación del Eje geométrico del tramo (a) Identificación de puntos representativos (b) Vista en planta del sistema



(a)

Fuente: AutoCAD

(b)

4.3 Proceso constructivo

La obra inició el día 28 de febrero, con la actividad de localización y replanteo, en la que además se da lugar a las actividades de rocería y limpieza de cunetas, para posteriormente realizar el acondicionamiento de la superficie.

Para esto, fue implementada una motoniveladora y un vibro compactador de rodillo, los cuales fueron prestados a la comunidad, además de esto fueron realizados pequeños rellenos manuales, tal y como es indicado en la Figura 37.

Figura 37. Acondicionamiento de la superficie



Fuente: Autor

Una vez preparada la superficie de apoyo del sistema y realizado el encerramiento total de la vía, se ha dado paso a la instalación de la formaleta metálica de las cintas, dispuesta a cada 2,80 metros, con una separación de 0,20 metros correspondiente a los espacios de las vigas riostras, para las cuales deben ser realizadas excavaciones manuales asegurando que estas queden empotradas al terreno 10 cm de su altura total, como tipo dentellón, tal y como es ilustrado en la Figura 38.

Figura 38. Instalación de formaleta



Fuente: Autor

Una vez que ha sido instalada toda la formaleta, se realiza el armado del acero de refuerzo, tal y como es ilustrado en la Figura 39, para lo cual se debe asegurar que el acero dispuesto longitudinalmente en las cintas, se entrecruce o atraviese el acero de las riostras, quedando amarradas entre ellas.

Figura 39. Instalación de la armadura de refuerzo



Fuente: Autor

A partir de la realización de estas actividades, se da paso a la producción del concreto hidráulico, en este caso como puede observarse en la Figura 40, se han fundido simultáneamente los elementos vigas riostras junto con las cintas.

Es justamente debido a este aspecto, que la construcción de Placa-huellas, no puede ser realizada por carriles. En este sentido, existen otras técnicas en las que estos elementos son fundidos separadamente, aunque se ha visto que es menos usada en la práctica.

En este caso, se ha seguido con las recomendaciones del INVIAS en que, las cintas de ambos lados y la riostra de un módulo se han fundido monolíticamente con las cintas y la riostra del módulo siguiente y así sucesivamente, pues esto garantiza la función de confinar las cintas entre ellas y a su vez transversalmente.

Figura 40. Fundición de concreto hidráulico en cintas y riostras



Fuente: Autor

Una vez que han sido conformados y desencofrados los elementos de las cintas y vigas riostras del sistema, se da paso a la producción del concreto ciclópeo, el cual ocupara el espacio del centro del sistema, y las franjas laterales antes de la berma cuneta, para el cual, en este caso se ha continuado con la producción del concreto con la misma resistencia que en las cintas, adaptándose en este sentido, también con las recomendaciones realizadas por la guía del INVIAS.

Para esto se dispone primeramente una capa del concreto, sobre el cual se sitúan piedras del tipo canto rodado, para nuevamente disponer de más concreto con el cual se cierran los espacios vacíos y se remata la superficie, la Figura 41 por su parte, ilustra el sistema una vez que ha sido fraguado todo el concreto fundido hasta este punto.

Figura 41. Pavimento con cintas, riostras y concreto ciclópeo

Fuente: Autor

Finalmente, se conforman los últimos elementos del sistema, es decir la berma - cuneta y los bordillos para el confinamiento lateral, para esto, se dispone el acero de refuerzo y se encofra nuevamente tal y como es indicado en la Figura 42 (a).

En este sentido, según las especificaciones de las guías, la viga riostra debería haber sido conformada de extremo a extremo del carril, como ha sido ilustrado en la Figura 26, es decir hasta los elementos de la berma-cuneta, lo cual no se ha realizado en este caso. Esto es algo que sucede muy frecuentemente en la mayoría de proyectos Placa-huella de la región.

La Figura 42(b) por su parte, ilustra la berma-cuneta y bordillo una vez que ha sido fraguado el concreto y retirado la formaleta.

Figura 42. Conformación de la berma-cuneta y bordillos (a) Instalación de formaleta (b) Fraguado del concreto



(a)



(b)

Fuente: Autor

De esta manera se ha dado por finalizada la obra, la cual ha tenido un tiempo de duración de 20 días. Obteniendo como resultado el sistema Placa-huella de la Figura 43.

Figura 43. Resultado final del proyecto Placa-huella

Fuente: Autor

A partir de este momento se ha mantenido cerrada la vía durante los 3 días siguientes, después de esto, se ha dado paso al tránsito de motocicletas.

A los 20 días de haber fundido las cintas, las riostras y el concreto ciclópeo, se ha dado paso a los automóviles, y a los 28 días se ha abierto al tránsito de vehículos pesados.

A continuación, la Tabla 18, presenta un resumen de los valores y criterios que engloba un proyecto Placa-huella, indicando las características del diseño constituido para este caso de estudio. Además, indica algunos aspectos de los que no se han realizado consideraciones.

Tabla 18. Resumen de criterios del pavimento Placa-huella implementado

Consideraciones iniciales		
Incidencia del clima	Temperatura	El alabeo es controlado por el acero
	Precipitación	Sin providencia de drenaje transversal, ni otro sistema de redirija el caudal recolectado por la obra lineal
Transito	Ausencia de circulación de vehículos sup al de diseño (C3)	Verificado
Subrasante	Subrasante con CBR > 3%	Sin verificación

	Características del suelo	Aparentemente no expansivo Con buena capacidad de soporte
Subbase	e Preestablecido	En este caso es el suelo natural aplica a las condiciones de disposición directa
Concreto rígido y ciclópeo		
	e preestablecido	0,15 m
Cintas	Ancho	0,90 m
	Piedra pegada	0,90 m
Riostra	Longitud	3,80 m
	Ancho	0,20 m
	Altura	0,25 m
Módulos	Longitud	3,0 m máximo
Sección transversal vía	Ancho	5,20 m
Sobreanchos	Preestablecidos	No aplica
Bordillos	Ancho	0,15 m
Resistencia	A los 28 días	210 kg/ cm ² = 3000 Psi
Armadura de refuerzo		
	Longitudinal	5#3 (3/8") @ 0,20
	Transversal	1#3 @ 0,30
Cintas	Traslape	45 cm mínimo correspondiente a varilla #3
Riostras	longitudinal	4#3 (3/8")
	Estribos	1#3 @ 0,20
	Recubrimiento	7,5 cm inferior y 4,0 cm superior

Fuente: Autor

4.4 Costos del tramo en el sistema Placa huella

A modo de comparación, se ha querido realizar el cálculo del volumen del concreto con las áreas obtenidas a partir de la conformación del eje geométrico de la vía en AutoCAD, para compararlos con los datos suministrados por el responsable del proyecto.

De acuerdo con esto, la Tabla 19, indica los valores calculados del consumo del concreto ciclópeo en todo el tramo, de las dos franjas laterales y la franja central del sistema.

Tabla 19. Consumo de concreto ciclópeo

Elemento	Área(m2)	Espesor(m)	Volumen(m3)
Lateral 1	24,66	0,15	3,70
Lateral 2	25,70		3,86
Interno	41,65		6,25
Σ			13,80

Fuente: Autor

De este volumen total se toma únicamente el 60%, ya que el otro 40% pertenece a la piedra pegada, es decir que el volumen total requerido en concreto es de **8,28 m³**.

La Tabla 20(a), 20(b), 20(c) y 20(d), resume los valores obtenidos en cuanto al consumo de los elementos restantes.

Tabla 20. Consumo de concreto hidráulico (a) Elementos vigas riostras (b) Elementos cintas-huellas (c) Elementos Bermas-cunetas-Bordillos (d) Elemento Rampla de acceso y Bordillo

Área (m ²)	Espesor(m)	Volumen (m ³)
12,19	0,25	3,05

(a)

Área(m ²)	Espesor(m)	Volumen(m ³)
83,28	0,15	12,49

(b)

Área(m ²)	Perímetro(m)	Volumen(m ³)
0,18	49,35	8,88
0,18	49,35	8,88
Σ		17,77

(c)

Área(m ²)	espesor	Volumen(m ³)
3,325	0,15	0,50

(d)

Fuente: Autor

Obteniéndose de esta manera un volumen total de concreto hidráulico de **42 m³**, para el cual, de acuerdo con las cantidades de dosificación calculadas por los ingenieros del proyecto a partir del conocimiento del origen de los agregados, por metro cubico de concreto eran necesarios 7 bultos de cemento, lo que resulta en un total de 294 bultos, sin contar el porcentaje de desperdicio que haya sido determinado para el proyecto.

A continuación, en la Tabla 21, son presentadas las cantidades de obra iniciales que han sido definidas por uno de los ingenieros asesores, las cuales pueden verificarse en el Anexo B. El ítem de los estribos no fue considerado inicialmente, sin embargo, luego se cotizó por separado.

Tabla 21. Cotización inicial de materiales

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	UNITARIO	VALOR
29	M3	Arena de murrio	\$ 100.000	\$ 2.900.000
28	M3	Gravilla 3/4"	\$ 158.000	\$ 4.424.000
3	M3	Gravilla 1/4"	\$ 158.000	\$ 474.000
318	BULTO	Cemento Gris uso general	\$ 29.000	\$ 9.222.000
3	L x 20 Kg	Sikaset	\$ 117.900	\$ 353.700
1	CUNETE x 20 Kg	Sikaset	\$ 447.400	\$ 447.400
193	UNI	Varilla corrugada 1/2"	\$ 28.850	\$ 5.568.050
469	UNI	Varilla corrugada 3/8"	\$ 16.750	\$ 7.855.750
340	UNI	Estribos 3/8"	\$ 3.850	\$ 1.385.000
SUBTOTAL+IMPUESTOS=				\$ 32.629.900 COP
De acuerdo con la Tasa de cambio del día (25/07/2023)				36.947,70 Reales

Fuente: JAC (2023)

Al finalizar la obra fueron contabilizados, un total de 300 bultos de cemento utilizados, es decir que de la compra quedo un sobrante de 18 bultos.

De los valores presentados en la cotización inicial del proyecto, no han sido contemplados en el proyecto final, el item del Sikaset (acelerante), ni tampoco el item de la varilla corrugada de 1/2", si no que se ha trabajado con varilla corrugada de 3/8" en todos los elementos del sistema, con el fin de economizar recursos.

Por otra parte, en vista que los costos de esta cotización inicial sobrepasaban el presupuesto total del proyecto, el responsable realizo una nueva cotización, bajo las consideraciones mencionadas y con precios más económicos, realizando la compra conforme a los nuevos valores indicados en la Tabla 22.

Tabla 22. Costo final de los materiales para la producción del concreto Placa-huella

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	UNITARIO	VALOR
29	M3	Arena de murrio	\$ 100.000	\$ 2.900.000
28	M3	Gravilla 3/4"	\$ 158.000	\$ 4.424.000
3	M3	Gravilla 1/4"	\$ 158.000	\$ 474.000
318	BULTO	Cemento Gris uso general	\$ 27.000	\$ 8.586.000
662	UNI	Varilla corrugada 3/8"	\$ 16.750	\$ 11.088.500
340	UNI	Estribos 3/8"	\$ 3.850	\$ 1.385.000
SUBTOTAL+IMPUESTOS=				\$ 28.857.500 COP
De acuerdo con la Tasa de cambio del día (25/07/2023)				\$ 32.676,11 R

Fuente: JAC (2023)

El restante del presupuesto y las donaciones, es decir, los \$5.643.000 (\$6.283,03 R) han suplido los gastos del transporte de material, alquiler de formaleta, maestro de obra, auxiliar de construcción, y todas las demás actividades que no serán descritas detalladamente.

5. CAPITULO 5: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Este capítulo presentara a continuación los resultados correspondientes a la **Etap**
II de la línea metodológica, definida como Dimensionamiento de Pavimento rígido mediante la metodología AASHTO 93, a partir de los parámetros recopilados para el tramo de estudio durante el desarrollo de la Etapa I.

Al finalizar este capítulo, se presentará todo el proceso de dimensionamiento de un pavimento de concreto simple, considerado para este caso, como la segunda alternativa de pavimentación más accesible hasta ahora en el mejoramiento de vías terciarias.

5.1 Recopilación de los parámetros de diseño del pavimento rígido tradicional

En el dimensionamiento de un pavimento rígido mediante la metodología AASHTO 93, es fundamental el estudio del volumen vehicular y el análisis de las características del suelo. En este caso, se ha dado inicio al dimensionamiento del pavimento a partir de los valores del tránsito característico del tramo identificados en la Tabla 16.

A continuación, se presentará el desarrollo de la metodología planteada a partir del método estadístico aplicado a los datos del aforo vehicular, para conseguir determinar, el Trafico Promedio Diario Anual (TPDA), a partir del Trafico Promedio Diario Semanal (TPDS), tal y como sigue:

$$TPDS = TS/7 = 301/7 = 43 \text{ Vehículos}$$

Posteriormente, a partir de este dato, se obtuvo a su vez el valor de la desviación estándar de la distribución del volumen vehicular (S), tal y como es indicado en la Tabla 23.

Tabla 23. Cálculo de la desviación estándar (S)

DIAS	n	Tdi	TPDS	Tdi - TPDS	(Tdi - TPDS) ²	n-1	$\Sigma (Tdi - TPDS)^2 / n-1$ ^{1/2} S
Lun	7	69	43	-5	25	6	75,01
Mar		72		72	5184		
Mié		67		67	4489		
Jue		73		73	5329		
Vie		77		77	5929		
Sáb		81		81	6561		
Dom		79		79	6241		
Σ		518			33758		

Fuente: Autor

Una vez calculada la desviación estándar muestral, se calculó el estimador de la desviación estándar poblacional (δ), en función del número de días del año (N) y del tamaño de la muestra en número de días del aforo (n), tal y como es indicado en la Tabla 24.

Tabla 24. Cálculo del estimador de la desviación estándar (δ)

S	(n) ^{0,5}	S/(n) ^{0,5}	N-n	N-1	(N-n/N-1) ^{0,5}	δ
75,01	2,65	28,35	358,00	364,00	0,99	28,12

Fuente: Autor

Una vez obtenido el TPDS y el valor del δ , se adoptó un nivel de confiabilidad del 90% en los datos de la distribución normal, para el cual corresponde el valor de 1,64 para la constante K. Reemplazando estos valores en la ecuación 2, se tiene:

$$TPDA = 74 \pm 1,64 * 90\%$$

De esta manera, la Tabla 25 indica el rango de datos obtenidos para el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA). Adoptándose para este caso el valor de 100 vehículos.

Tabla 25. Rango de valores para el TPDA

TPDS	$K * \delta$	$TPDS - K * \delta$	$TPDS + K * \delta$
74	46,11	27,89	120,11

Fuente: Autor

Posteriormente, se realiza el análisis porcentual de los vehículos comerciales dentro del volumen vehicular total, el cual presenta una distribución tal y como es indicado en la Tabla 26.

Tabla 26. Distribución porcentual de vehículos comerciales (A)

Tipo de vehículo	Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	(A) Promedio
% Camiones C2-P	8,70%	16,67%	7,46%	10,96%	12,99%	3,70%	3,80%	9,18%
% Camiones C3	2,90%	5,56%	2,99%	4,11%	5,19%	0,00%	0,00%	2,96%
% Vehículos comerciales	11,59%	22,22%	10,45%	15,07%	18,18%	3,70%	3,80%	12,15%

Fuente: Autor

Es importante mencionar que, a pesar de que los camperos entran en la categoría de vehículos comerciales, estos, aunque cargados en su totalidad, tal y como es ejemplificado en la Figura 44, llegan a pesar entre los 2500 a 2800 Kg.

Figura 44. Vehículo campero con carga típica de la región



Fuente: Autor

En este sentido, el efecto de su peso es considerado como despreciable en el dimensionamiento de pavimentos, pues no alcanzan a entrar en el rango de los vehículos pesados, es decir superiores a los 3000 Kg. Por lo tanto, no fueron considerados dentro del porcentaje de vehículos comerciales.

A continuación, se definió el factor direccional (B) que representa el porcentaje de vehículos comerciales en el carril de diseño, para esto se ha considerado que el tránsito en ambos sentidos es del 50%, y que existe una tasa de crecimiento del tránsito (r) igual al 2%, esto último conforme a los análisis realizados en el comportamiento del tránsito para vías de bajo tráfico según conteos históricos del INVIAS.

En cuanto al valor del periodo de diseño (n), se ha tomado el mismo que en el dimensionamiento del pavimento Placa-huella, es decir n igual a 20 años, con el cual se obtuvo el factor de proyección del tránsito (Fp), conforme indicado en la Tabla 27.

Tabla 27. Cálculo del Factor de proyección (Fp) para el periodo de diseño

$(1+r)^{n-1}$	$\ln(1+r)$	Fp
0,49	0,02	24,54

Fuente: Autor

Una vez obtenido el valor del Trafico Promedio Diario Anual (TPDA), el porcentaje de vehículos comerciales (A), el factor direccional (B), y el factor de proyección (Fp), se reemplaza los valores en la ecuación 8, para lo cual se obtuvo:

$$V_c = 100 \times \frac{12,15}{100} \times \frac{50}{100} \times 365 \times 24,54 = 54.391 \text{ Vehículos}$$

A su vez, la Tabla 28 presenta los resultados de la equivalencia del factor camión, calculados a partir de la ecuación 9, y utilizando los valores del factor daño, de la Tabla 5.

Tabla 28. Cálculo del factor camión (FC)

Camión	F. daño	Distribución (%)	Equivalencia factor camión (FC)
C2-P	1,14	0,76	0,86
C3	3,76	0,24	0,92
Σ			1,78

Fuente: Autor

Finalmente, reemplazando en la ecuación 7, se obtiene:

$$N = W_{18} = 54391 * 1,78 = 96.777 \text{ Ejes equivalentes de 8.2 toneladas}$$

Es decir que, en el pavimento diseñado se espera que pasen 96.777 Ejes acumulados de 8,2 tn, los cuales son equivalentes a los diferentes pesos de los diferentes vehículos que pasaran por la vía durante el periodo de diseño. Este valor equivale al 10% del valor máximo ($<10^6$) que se tiene en los conteos históricos del INVIAS, para vías terciarias.

A continuación, se continuará con el proceso de recopilación de los parámetros, no sin antes mencionar que, debido a la ausencia de un estudio de suelos específico para este caso, se ha considerado trabajar con el valor de CBR igual a 3%, debido a que es el valor mínimo de capacidad de soporte que exige la norma INVIAS en la aplicación de Placa-huella, y por qué además es un valor promedio dentro del rango de valores utilizados en el ensayo del Road test de la AASHTO.

Una vez definido el valor de CBR de proyecto, se determinó el valor del módulo de reacción de la subrasante (K), a partir de la Tabla 6, obteniéndose así un valor aproximado de 28 MPa/m.

Con el fin de unificar unidades y utilizar correctamente la ecuación 1, se convierte a unidades inglesas, obteniendo así, un módulo de reacción **(K) igual a 102,2 Pci** (Psi/in).

Por otra parte, para la definición del módulo de elasticidad del concreto (E_c), de acuerdo con encontrado en la literatura técnica colombiana, los valores para el módulo de elasticidad de un concreto de 3000 Psi rondan los **5×10^6 Psi**, por lo cual este ha sido el valor adoptado para este caso de estudio.

Para el cálculo del módulo de rotura del concreto (S'_c), se ha definido un valor

intermedio de la constante de la Ecuación 10 igual a 10, se obtuvo entonces para un $f'c$ de 3000 Psi, tal y como sigue:

$$S'c = 10 \sqrt{3000} = 547,72 \text{ Psi}$$

Cabe mencionar que, aunque se espera que exista un margen de error, este valor, no se ha encontrado excesivo en relación a los valores encontrados en la literatura de regiones próximas a esta, por lo cual se considera como aceptable.

Para la definición del valor de confiabilidad (R), se considera esta vía terciaria, como una vía de tipo local en una zona rural, de acuerdo con esto, se toma un valor intermedio dentro del rango de valores de la Tabla 7 descrita en la metodología, adoptándose así el valor de **R igual a 70**.

Este valor adoptado tiene en cuenta cierta probabilidad de falla, aun así, es un valor relativamente alto para este tipo de vías, sin embargo, considerando que entre mayor confiabilidad menor probabilidad de falla tendrá el pavimento, lo que repercutirá en mayores costos iniciales, sin embargo, esto garantizara menores costos de mantenimiento por lo que pasará más tiempo hasta que el pavimento necesite una primera reparación.

A partir de esto, se determinó para este valor de confiabilidad, una desviación normal estándar **Zr igual a 0,524**, en conformidad con los valores indicados en la Tabla 8.

En cuanto al Error estándar combinado o desviación estándar total (S_o), se tomó en este caso, **S_o igual a 0,35**, conforme los valores indicados en la Tabla 9 para una construcción nueva.

Seguidamente, considerando que el pavimento será del tipo rígido, en un tipo de vía de menor tránsito, se es determinando el índice de serviciabilidad inicial (P_o) y el índice de serviciabilidad final (P_t), de 4,5 y 2,0, respectivamente conforme los valores indicados en la Tabla 10 y 11.

Para la determinación del Coeficiente de Drenaje (C_d), se analizaron los registros climáticos oficiales de la región del Líbano, para lo cual se encontró que la temperatura de la región varía entre 5°C a 15°C, siendo que, en los periodos de invierno, a pesar de

ser cortos, permanece mojado y nublado durante prácticamente todo el año.

En este sentido, considerando además que la pendiente longitudinal de la vía no es muy alta, para mejorar la velocidad de drenaje, se tomó el valor para el coeficiente de drenaje **(Cd) igual a 1**, conforme a los valores de la Tabla 12, descrita en la metodología, en conformidad con una calidad de drenaje regular y un rango de valores de 5-25% de días próximos a los niveles de saturación.

Finalmente, para la determinación del coeficiente de transferencia de cargas (J), se tomó del rango de valores **de la Tabla 13**, para un pavimento de concreto, con un dispositivo de transmisión de cargas del tipo reforzado con juntas de 2,9.

A continuación, en la Tabla 29, son resumidos los parámetros determinados anteriormente.

Tabla 29. Resumen de parámetros con valores redondeados

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Número de aplicaciones (W18)	Ejes equivalentes de 8,2 tn	97.000
Módulo de reacción (K)	Pci	102
Módulo de elasticidad del concreto (Ec)	Psi	5×10^6
Módulo de rotura del concreto (S'c)	Psi	548
Confiabilidad (R)	%	70
Desviación normal estándar ZR	-	0,524
Error estándar combinado (So)	-	0,35
Índice de serviciabilidad inicial (Po)	-	4,5
Índice de serviciabilidad final (Pt)	-	2,0
Coeficiente de drenaje (Cd)	-	1
Coeficiente de transferencia de cargas (J)	-	2,9

Fuente: Autor

Estos valores, fueron evaluados en la herramienta de solución de la ecuación de la AASHTO-93, tal y como es indicado en la Figura 45(a).

De acuerdo con el resultado, se adopta para este caso de estudio, el mínimo valor recomendado para el espesor de cualquier losa de pavimento de concreto, es decir D igual a 5" (13 cm).

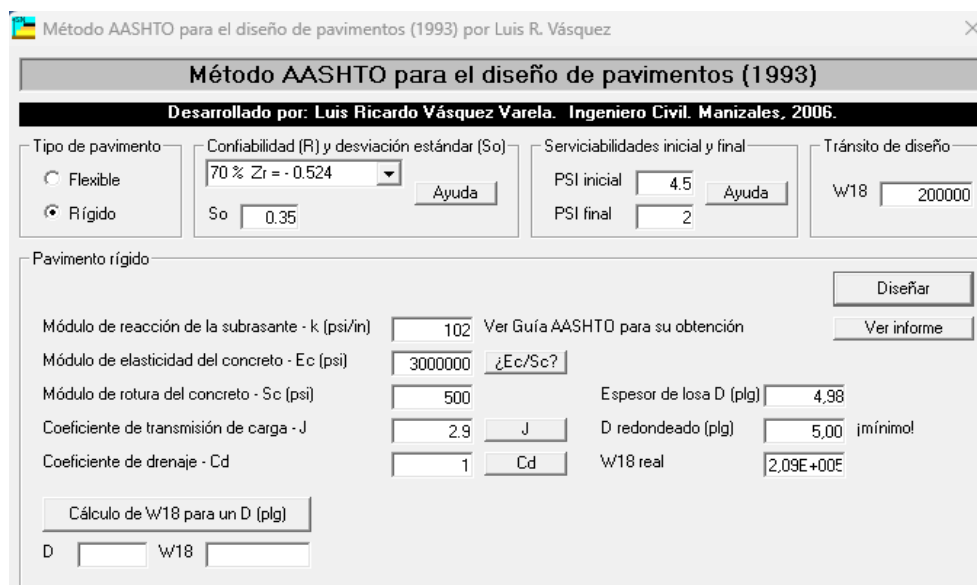
Para efectos de análisis, fue realizada una valoración adicional, para la cual se crearon diferentes combinaciones. Encontrándose de esta manera que, efectivamente el

módulo de rotura ($S'c$), el tránsito de diseño ($W18$), el módulo de elasticidad (E_c) y el módulo de rotura del concreto ($S'c$), son sobre todos los demás parámetros, los más sensibles en la definición del espesor del concreto.

Dentro de las varias combinaciones, se finalizó con el aumento de $W18$, hasta el valor de 2×10^5 ejes equivalentes, es decir el doble del valor de diseño, la disminución del E_c hasta el límite inferior dentro del rango establecido, es decir de 3×10^6 Psi, y la disminución del $S'c$ hasta 500 Psi, tal y como es indicado en la Figura 45(b). Obteniendo bajo estas condiciones, un límite de aceptación para el cual, el espesor adoptado, atiende aun a condiciones más desfavorables.

Figura 45. Cálculo del espesor del pavimento (a) Condiciones reales del tramo (b) condiciones más desfavorables

(a)



(b)

Fuente: Método AASHTO (1993)

En relación al parámetro del módulo de reacción (K), solo podría ir en aumento debido a que el diseño fue realizado para un valor mínimo de la capacidad de soporte, Es decir que si en las condiciones reales del suelo, el valor de CBR es mayor al 3%, esto funcionaría como un factor de seguridad, puesto que el espesor del pavimento disminuye considerablemente con el aumento del módulo de reacción K.

5.2 Costos del tramo en un pavimento rígido simple

A continuación, la Tabla 30 presenta la cantidad del consumo de concreto requerido para la ejecución del pavimento con el espesor calculado. Para esto, fueron utilizadas las áreas encontradas a partir del eje geométrico realizado en AutoCAD, el mismo que ha sido presentado en la Figura 36 (b).

Tabla 30. Volumen de concreto del pavimento con e=13 cm

Elemento	Area(m2)	e(m)	Volumen (m3)
Losa	245	0,13	31,85
Bordillos (2 laterales)	19,00	0,15	5,70
Rampla de acceso	-	-	0,50
Σ			38,05

Fuente: Autor

Para fines de cálculo, se ha adoptado la misma dosificación utilizada en el caso de la Placa-huella, es decir que, para la producción de 1 m³ de concreto se requieren de 7 bultos de cemento para alcanzar una resistencia de 3000 Psi.

Es decir que para un volumen de 38,05 m³ de concreto, considerando también un desperdicio de material en la obra del 5%, son necesarios en total 280 bultos de cemento.

Por otra parte, se ha querido calcular un costo total adoptando un espesor de 15 cm para el pavimento, con el fin de analizar la posibilidad de adoptar este valor y así facilitar el trabajo en obra.

Para esto, se utilizaron los mismos valores de la sección para el bordillo de confinamiento lateral de la Figura 35, es decir que, para este caso, el volumen del concreto entre el pavimento del tipo Placa-huella y un pavimento rígido convencional con espesor de 15 cm, difiere en la disminución de la parte del concreto de la viga riostra que se encuentra a 10 cm más abajo de las cintas, y el aumento del concreto que en el primer caso era ocupado por la piedra pegada.

En este sentido, se tiene entonces que el consumo del concreto total para un pavimento de 15 cm, es de 49,06 m³, tal y como es indicado en la Tabla 31.

Tabla 31. Volumen de concreto del pavimento con $e=15$ cm

Vol inicial (m3)	Vol. Riostras (Parte inferior) (m3)	Vol. Piedra pegada (m3)	Vol total (m3)
42	-1,22	+8,28	49,06

Fuente: Autor

Finalmente, para este nuevo valor, se obtiene entonces que, bajo las mismas condiciones de dosificación y porcentaje de desperdicio de 5%, son necesarios 362 bultos de cemento.

En cuanto a la estimativa del acero, en el caso de las barras de anclaje, dispuesto en la junta longitudinal que divide el pavimento en dos franjas de igual ancho, se obtiene a partir de la Tabla 14, para un espesor de 13 y 5 cm, una barra corrugada de 3/8" con una longitud de 0,45 m y separación de 0,75 m.

Posteriormente, se obtiene entonces, que, para los 50 m de longitud del tramo en estudio, se requieren un total de acero conforme a los valores obtenidos en la Tabla 32.

Tabla 32. Estimativa del consumo de acero de las barras de anclaje para un $e=13$ cm y $e=15$ cm

Longitud (m)	Separación (m)	Barras de 0,45 m	Barras de 6 m
50	0,75	67	6

Fuente: Autor

En cuanto a la estimativa del acero, en el caso de las dovelas, dispuestas en a cada 3 metros en las juntas transversales, se obtiene a partir de la Tabla 15, para un espesor de 13 cm, una barra lisa de 5/8" con una longitud de 0,30 m y separación de 0,30 m, para lo cual se requiere un total de acero conforme a los valores obtenidos en la Tabla 33.

Tabla 33. Estimativa del consumo de acero de las barras transversales del pavimento de e=13 cm y juntas transversales a cada 3 m

ancho (m)	Separación (m)	Barras de 0,30 m	No. de juntas transversales	Barras de 6 m
5,20	0,30	17	16	14

Fuente: Autor

En cuanto a la estimativa del acero, en el caso de las dovelas, para un espesor del pavimento de 15 cm, obtenido también a partir de la Tabla 15, una barra de 3/4" con una longitud de 0,35 m y separación de 0,30 m, para lo cual se requiere un total de acero conforme a los valores obtenidos en la Tabla 34.

Tabla 34. Estimativa del consumo de acero de las barras transversales del pavimento de e=15 cm y juntas transversales a cada 3 m

ancho (m)	Separación (m)	Barras de 0,35 m	No. de juntas transversales	Barras de 6 m
5,20	0,30	17	16	16

Fuente: Autor

Cabe mencionar que el ejemplo de pavimentación de pavimento rígido tradicional, presentado en la figura 8, presenta juntas transversales en valores de 2,5 m a 2,8 m máximo, lo que ha mejorado significativamente el comportamiento del mismo, debido a que, se ha comprobado que entre menor sea la distancia entre losas, más eficiente es el pavimento para resistir los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos.

De acuerdo con esto, se consideró el caso de realizar juntas de dilatación a cada 2,5 m, y estimar con ello, el aumento del acero de refuerzo transversal, tal y como es indicado en la tabla 35.

Tabla 35. Estimativa del consumo de acero de las barras transversales del pavimento de e=15 cm y juntas a cada 2,5 m

ancho (m)	Separación (m)	Barras de 0,35 m	No. de juntas transversales	Barras de 6 m
5,20	0,30	17	20	20

Fuente: Autor

Finalmente, las tablas 36 y 37 resumen las cantidades de obra básicas para la producción del concreto, en el caso de un pavimento con e=13 cm y un pavimento con e= 15 cm, y juntas transversales a cada 3 m, respectivamente. En cuanto a la tabla 38, resume las cantidades de obra básicas para la producción del concreto, en el caso de un pavimento con e= 15 cm, y juntas transversales a cada 2, 5 m. Cabe recordar que la cantidad de arena y gravilla, es ajustada conforme a la dosificación realizada para el proyecto de Placa-huella de 3000 Psi.

Tabla 36. Costo final de los materiales para la producción del pavimento tradicional con e=13 cm y juntas transversales a cada 3 m

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	UNITARIO	VALOR
26	M3	Arena de murrio	\$ 100.000	\$ 2.600.000
27	M3	Gravilla 3/4"	\$ 158.000	\$ 4.266.000
280	BULTO	Cemento Gris uso general	\$ 27.000	\$ 7.560.000
6	UNI	Varilla corrugada 3/8"	\$ 16.750	\$ 100.500
14	UNI	Varilla lisa 5/8"	\$ 55.000	\$ 770.000
SUBTOTAL+IMPUESTOS=				\$ 15.296.500 COP
De acuerdo con la Tasa de cambio del día (25/07/2023)				\$ 17.332,44 R

Fuente: Autor

Tabla 37. Costo final de los materiales para la producción del pavimento tradicional con e=15 cm y juntas transversales a cada 3 m

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	UNITARIO	VALOR
33	M3	Arena de murrio	\$ 100.000	\$ 3.300.000
34	M3	Gravilla 3/4"	\$ 158.000	\$ 5.372.000
362	BULTO	Cemento Gris uso general	\$ 27.000	\$ 9.774.000
6	UNI	Varilla corrugada 3/8"	\$ 16.750	\$ 100.500
16	UNI	Varilla lisa 5/8"	\$ 55.000	\$ 880.000
SUBTOTAL+IMPUESTOS=				\$ 19.426.500 COP
De acuerdo con la Tasa de cambio del día (25/07/2023)				\$ 22.012,14 R

Fuente: Autor

Tabla 38. Costo final de los materiales para la producción del pavimento tradicional con e=15 cm y juntas transversales a cada 2,5 m

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	UNITARIO	VALOR
33	M3	Arena de murrio	\$ 100.000	\$ 3.300.000
34	M3	Gravilla 3/4"	\$ 158.000	\$ 5.372.000
362	BULTO	Cemento Gris uso general	\$ 27.000	\$ 9.774.000
6	UNI	Varilla corrugada 3/8"	\$ 16.750	\$ 100.500
20	UNI	Varilla lisa 5/8"	\$ 55.000	\$ 1.100.000
SUBTOTAL+IMPUESTOS=				\$ 19.646.500 COP
De acuerdo con la Tasa de cambio del día (25/07/2023)				\$ 22157,74 R

Fuente: Autor

De acuerdo con los resultados anteriores, construir un pavimento de concreto rígido simple con un espesor de 15 cm, aumentaría \$4.130.000 PCO (De acuerdo con la Tasa de cambio del día 25 de mayo de 2023 es equivalente a \$4.659,41 R) en los costos de los materiales en relación a los costos que implica construir un pavimento de espesor de 13 cm, sin embargo, por simplificación y facilitar los trabajos en obra, y además como factor de seguridad, se recomienda trabajar con este espesor.

Por otra parte, si se realizara este pavimento de concreto simple con juntas transversales a cada 2,5 metros, se aumentaría el consumo del acero 5/8" en 4 barras de 6 m y lógicamente, en las actividades constructivas, sin embargo, no representa un

aumento significativo en el costo total. En contraste, se obtendría un pavimento mucho más eficiente y, aun así, económico en relación al presupuesto de \$30 millones COP.

5.3 Análisis comparativo

Una vez que han sido finalizadas las dos etapas definidas en la línea metodológica planteada, se da paso al análisis comparativo entre el diseño de las dos metodologías abordadas, lo cual es el objetivo principal de este trabajo. Para esto, se presenta además la tabla 39, la cual resume las informaciones obtenidas anteriormente, y las más relevantes para este estudio.

Tabla 39. Características finales de las dos alternativas de pavimentación

Características	Pav. Placa-huella	Pav. De concreto simple
Espesor de la losa	15 cm	15 cm
Juntas	@ 3 m	@ 2,5 m
Duración ejecución + apertura	45 días	40 días
Costos iniciales (materiales básicos para la producción del concreto)	\$ 28.857.500 COP (\$ 32.676,11 R)	\$ 19.646.500 COP (\$ 22157,74 R)

*De acuerdo con la Tasa de cambio del día (25/07/2023)

Fuente: Autor

En relación a la duración de ejecución del pavimento de concreto simple, se ha estimado un valor de acuerdo con el mismo personal que ha participado en la ejecución de la Placa-huella.

Para este análisis, han sido considerados dos aspectos fundamentales, el primero relacionado a los aspectos y actividades constructivas que se soliciten, para cada una de las dos alternativas, en el mejoramiento de vías terciarias.

El segundo, relacionado a los costos iniciales asociados a la producción de cada tipo de concreto, bajo las mismas condiciones de dimensionamiento del tramo en estudio.

En base a estos aspectos y bajo la luz de los resultados, se ha constatado que, la ejecución de un pavimento Placa-huella, es en una técnica que demanda muchas más actividades constructivas en comparación con las necesarias para la ejecución de un pavimento de concreto simple, esto se debe principalmente a la utilización de dos tipos

de concreto, uno reforzado y otro ciclópeo, además por la incorporación de los elementos vigas riostras. En relación a estos últimos elementos, se tiene que, estos, al imposibilitar la construcción del pavimento por carriles, obligan a realizar un cierre total de la vía, lo que obstaculiza el flujo vehicular en ambos sentidos.

En contraste, el pavimento de concreto simple permite el tránsito parcial de vehículos por uno de los carriles, convirtiéndolo en una alternativa mucho más competente y con mayor aceptación por parte de las comunidades.

En este sentido es importante mencionar que, antes de dar inicio a las obras de un pavimento Placa-huella, debe existir una socialización rigurosa hacia las comunidades relacionadas en el proyecto, con lo que se debe garantizar la plena aceptación por parte de la comunidad, puesto que, para este caso en específico, se encontraron casos en los que las comunidades de diferentes veredas no estaban conformes con la aplicación de la técnica.

Para evitar estos casos, se debe inicialmente concientizar a la comunidad sobre el tiempo en que la vía estará totalmente cerrada, para que de esta manera se realicen en lo posible los suministros necesarios para un tiempo que generalmente oscila entre los 45 días o más, dependiendo de las condiciones específicas de cada proyecto. Además, se sugiere que la comunidad se organice previamente en términos de suministros y planificación de actividades, especialmente aquellas relacionadas con la venta de sus productos.

En cuanto al segundo aspecto, se ha comprobado que, el presupuesto inicial asignado para el pavimento Placa-huella resultaría insuficiente para adquirir los materiales básicos necesarios en la producción del concreto, a menos que se realice una mejor cotización de los mismos, lo cual no puede garantizarse que ocurra en todos los casos.

Por otro lado, se ha evidenciado que, el pavimento de concreto simple con juntas transversales a cada 2,5 m representa el 65% del presupuesto otorgado por el gobierno, lo que asegura que el restante del presupuesto abarque los demás aspectos constructivos que se soliciten, y que se limite la inversión de la comunidad únicamente a la mano de obra.

En resumen, para el caso de estudio, se ha demostrado que la Placa-huella es un

sistema de pavimentación más engorroso y que demanda un mayor tiempo de ejecución y apertura de la obra en comparación con una pavimentación en concreto simple, Esto repercute también en un aumento de los costos globales de la obra.

Por otra parte, el alto consumo de acero de refuerzo, que representa cerca del 40% del costo total de los materiales utilizados, convierte a la Placa- huella, para este caso, en una alternativa menos rentable.

6. CAPITULO 6: CONCLUSIONES

Este trabajo de conclusión de curso ha expuesto las guías vigentes en la reglamentación colombiana del diseño y ejecución propuestos por el DNP y el INVIAS, para los proyectos de mejoramiento de vías terciarias mediante la pavimentación en Placa huella. De las cuales, se han descrito los parámetros de diseño, que deben ser determinados en cualquier otro tipo de proyecto y escenario diferente que contemple la alternativa de pavimentación en este sistema.

Por otra parte, este estudio comparativo ha proporcionado información relevante sobre los aspectos económicos y constructivos del pavimento Placa-huella y además del pavimento rígido tradicional, este último bajo las condiciones de diseño de la metodología AASHTO-93.

De esta manera, este estudio ha puesto en evidencia que el mejoramiento de vías terciarias, requiere de un análisis previo, puesto que la técnica ha sido concebida para tramos específicos, en los que realmente no exista la posibilidad de construir otro tipo de pavimento, en este sentido se ha demostrado que, para este caso, técnica y económicamente, era mucho más eficiente construir un pavimento de concreto simple, y no mediante este sistema.

Con esto, no se está desmeritando la eficiencia del sistema constructivo de la Placa-huella, puesto que, para muchos casos a nivel nacional, ha indicado tener muy buenos resultados a lo largo del tiempo, pero si, al hecho de estar considerándose como la alternativa más eficiente en cualquier tipo de mejoramiento de vías terciarias.

Por otra parte, este ejercicio de otorgar un presupuesto bajo esta modalidad, está generando un uso indiscriminado de la técnica de pavimentación en Placa-huella, esto no significa que se descalifique la modalidad del manejo de los recursos por parte de las propias juntas de acción comunal para reducir los problemas relacionados a las modalidades de contratación y manejo de los recursos por parte de las alcaldías, si no que se hace mención al poco interés que se le da a los estudios preliminares, que demuestren la posible aplicación del sistema constructivo, esto evitaría un uso inadecuado de la técnica, o daría la posibilidad de contemplar otras alternativas que se ajusten mejor a las condiciones propias de la vía, asegurando así, mejores resultados a

futuro.

En relación a esta nueva modalidad de ejecución de proyectos, se ha concluido a partir de la experiencia y de las mismas sugerencias realizadas por parte del presidente de la JAC, que la ejecución de este proyecto no hubiese sido posible, sin haber recurrido a las asesorías de ingenieros Civiles. Por lo anterior, se sugiere que el ministerio del interior, analice las condiciones en las cuales se están entregando los recursos, para que puedan definirse eficientemente los presupuestos entregados, y además para que se proporcione un adecuado acompañamiento técnico.

Los hallazgos presentados en este trabajo de conclusión de curso esperan ser considerados en la toma de decisiones en próximos proyectos de mejoramiento de vías terciarias. A su vez, se espera que este trabajo fomente el estudio previo tanto de los costos como de las necesidades del flujo vehicular propio de cada vía, así como de la accesibilidad a los aspectos constructivos que se requieran.

. Finalmente, se deja abierta la línea de investigación para nuevos análisis que busquen mejorar las limitaciones de los aspectos constructivos de la técnica Placa-huella, en los elementos vigas riostras y del uso del acero de refuerzo. O en su defecto, contemplar y divulgar nuevas alternativas de mejoramiento de vías terciarias, como lo es, la técnica oficial de pavimentación de losas cortas. Técnica que tuvo sus orígenes en el país de Chile, de la cual se han encontrado algunos casos aplicados a las condiciones de vías terciarias en Colombia, mostrando tener óptimos resultados en términos de eficiencia, economía y satisfacción por parte de las comunidades involucradas

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGREDA, NILZA MARIA PANTOJA. **VIAS Terciarias en Colombia: una Encrucijada**. 2018. Presentación del Departamento nacional de planeación. Disponible en: <https://docplayer.es/94474846-Vias-terciarias-en-colombia-una-encrucijada-nilza-maria-pantoja-agreda-coordinadora-sectorial-contratos-plan-departamento-nacional-de-planeacion.html>. Acceso en: 12 julio. 2022
- ALFONSO, Julio Leandro Garzón; MORENO, Oscar Javier Pardo. **ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS Terciarias**. 2021. 146 h. TCC- Programa de Especialización en Ingeniería de Pavimentos. Facultad de Ingeniería- Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C, 2021. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/26386/1/Trabajo%205.pdf>. Acceso en: 23 jun. 2022.
- ARIZA, Manuela Alejandra Acosta; ROMERO, Pedro Alejandro Alarcón. **ANÁLISIS DE LA CANTIDAD Y EL ESTADO DE LAS VÍAS Terciarias en Colombia y la Oportunidad de la Ingeniería Civil para su Construcción y Mantenimiento**. 2017. 181 h. TCC- Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C, 2017. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15205/1/AN%C3%81LISIS%20CANT%20Y%20EST%20V3%20COLOMBIA%20OPORT%20ING%2010%2011%202017.pdf>. Acceso en: 23 jun. 2022.
- ESQUIVEL, Tania Ávila et al. **CALIBRACIÓN DEL MODELO DE SERVICIABILIDAD DE PAVIMENTOS FLEXIBLES DE AASHTO PARA COSTA RICA**. Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR, 2013.
- BUITRAGO, Alejandro Álzate; CASTAÑO, Diana Marcela Giraldo; HERNÁNDEZ, David Felipe Solís. **ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL DE LA CANTERA DE COMBIA, UBICADA EN EL CORREGIMIENTO DE COMBIA, PEREIRA- RISARALDA**. Repositorio Universidad Libre 2018. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/17050>. Acceso en: 23 junio 2022.
- C, Carolina Vidal. **LAS MEJORES ADMINISTRACIONES MUNICIPALES DEL TOLIMA**. 2006. 12 h. Revista El nuevo día. Disponible en: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/121/7681-1.pdf?sequence=1>. Acceso en: 16 de jul, 2022.
- CAL, Rafael; GRISALES, James Cárdenas. **Ingeniería de Transito: fundamentos y aplicaciones**. 8. ed. Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C. V., 2007. 324 p.
- CARRILLO, Samir Alfredo Chamíe. **ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DE RETRASO**

Y SOBRECOSTE EN LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS Terciarias en Colombia. 2021. 151 h. Master en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/175931/Chamie%20-%20Análisis%20de%20las%20causas%20de%20retraso%20y%20sobrecoste%20en%20la%20construcción%20de%20vías%20terciarias%20en%20....pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso en: 16 de julio 2022.

- CEA, Simón Rubiños; ESPINOSA, Sebastián Isidro. **EL ACUERDO DE PAZ Y LAS VÍAS Terciarias en Colombia.** Revista Bitácora Urbano Territorial, v. 32, n. 1, p. 149-160, 2022. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/748/74869574011/74869574011.pdf>. Acceso en: 23 jun. 2022.
- CHINOME, Andrés Camilo Jaimes. **GUÍA PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN VÍAS URBANAS CON APLICACIÓN EN MUNICIPIOS CON POBLACIONES MENORES A 50 000 HABITANTES.** 2020. 89 h. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Tunja. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30448/2020Andresjaimes.pdf?sequence=1>. Acceso en: 14 julio. 2022
- CIFUENTES, Fabian Zabala; DÍAZ, Guillermo Torres. **ESTADÍSTICAS 2011-2014-LÍBANO.** 2020. 129 h. Gobernación del Tolima, secretaria de Planeación y TIC. Disponible en: <https://www.tolima.gov.co/images/tolima/cifras-y-estadisticas/Libano.pdf>. Acceso en: 14 julio. 2022
- CORDO, Oscar V. **DISEÑO DE PAVIMENTOS (AASHTO-93).** 3. ed. La Paz: IBCH, 1998. 246 p.
- DNP- Departamento Nacional de Planeación. **CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN VÍAS URBANAS DE BAJO TRÁNSITO.** 2017. 36 h. V.2 Bogotá D.C. Disponible en: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/pavimento/PTpavimento.pdf>. Acceso en: 16 julio. 2022
- DNP- Departamento Nacional de Planeación. **MEJORAMIENTO DE VIAS Terciarias-VIAS DE TERCER ORDEN.** 2018. 64 h. Bogotá D.C. Disponible en: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/viasterciarias/ptviasterciarias.pdf>. Acceso en: 16 julio. 2022
- DNP- Departamento Nacional de Planeación. **POLÍTICA PARA LA GESTIÓN DE LA RED Terciaria: PRESUPUESTO INFORMADO POR RESULTADOS.** 2016. Presentación de PWP. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Presentaciones/RED%20TERCIARIA%20CIC%20-%20DNP.pdf>. Acceso en: 16 julio. 2022

- ESCOBAR, Brenda. **DE LOS CONFLICTOS LOCALES A LA GUERRA CIVIL: Tolima (Colombia) a finales del siglo XIX**. 2011. 293 h. Tesis doctoral – Filosofía. Universidad Ludwig Maximilians, Munich. Disponible en: <https://edoc.ub.uni-muenchen.de/15481/>. Acceso en: 16 julio. 2022
- ESCOBAR, Gonzalo Duque; ESCOBAR, Eugenio Duque. **FISIOGRAFIA Y GEODINÁMICA DE LOS ANDES DE COLOMBIA**. 2014. 140 h. Curso de maestría en enseñanza de las ciencias y del programa de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2014. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56822>. Acceso en: 14 julio. 2022
- FAJARDO, Angela Paola Martínez. **DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO DE LA CALLE 7 ENTRE CARRERA 7 Y 5 DEL MUNICIPIO DE PUERTO LOPEZ META**. 2019. 39 f. Tesis (especialización) - Curso de Especialización En Ingeniería de Pavimentos, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C, 2019. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/32237>. Acceso en: 23 abr. 2022.
- FONSECA, Alfonso Montejó. **INGENIERÍA DE PAVIMENTOS PARA CARRETERAS**. 2. ed. Bogotá D.C: Ágora Editores, 2002. 733 p. Disponible en: https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejó_Fonseca. Acceso en: 23 abr. 2022.
- GARZON, María Liney O et al. **CAUSAS QUE INCIDIERON EN LA DESACELERACION DEL CRECIMIENTO EN LA INDUSTRIA EN EL LIBANO TOLIMA**. 2004. TCC- Administración de empresas, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). 81h. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/19397>. Acceso en: 23 abr. 2022.
- GRUPO TECNICO - CONVENIO 587. **ESTUDIO E INVESTIGACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LAS OBRAS DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS: MANUAL PARA LA INSPECCIÓN VISUAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS**. 2006. Bogotá D.C. Convenio Universidad Nacional (UN)- Instituto Nacional de Vías (INVIAS). 65 h. V1. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/664-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-rigidos/file>. Acceso en:
- GONZALEZ, Félix Andrés Contreras; HERNANDEZ, Juan Camilo Muñoz. **PLACA HUELLAS PARA RED TERCIARIA UN ACERCAMIENTO PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN**. 2015. 84 h. TCC-Tecnología en Construcciones Civiles, Facultad tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C, 2015. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/4974/ContrerasGonzalezFelixAndr%c3%a9s2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso en: 23 jun. 2022.
- GUEVARA, Linda Yined Castro; ROJAS, Deisy Sabogal. **PRE-DISEÑO**

ESTRUCTURAL DE PLACA HUELLA Y OBRAS DE ARTE PARA LA VÍA Terciaria ENTRE FÓMEQUE Y LA VEREDA LAVADERO. 2018. 183 f. TCC (Graduación) - Curso de Facultad Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C, 2018. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/11920/2018lindacastro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso en: 23 abr. 2022.

- INVIAS- Instituto Nacional de Vías. 2017. **MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO PARA VÍAS CON BAJOS, MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO**
- LIZ, Edward Aldemar; RUGELES, Nadia Fernanda. **CARTILLA DE PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN INFRAESTRUCTURA VIAL PARA PLACA HUELLA EN CONCRETO HIDRAÚLICO PARA BAJOS VOLUMENES DE TRANSITO.** 2018. 36 f. Monografía (Especialização) - Curso de Ingeniería Civil, Ingeniería Civil, Universidad Piloto del Alto Magdalena, Girardot, 2018. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5721/Placa%20Huella%20-%20Arbolito%20Final%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso en: 23 abr. 2023.
- LÓPEZ, Miguel David Rojas; MURIEL, Andrés Felipe Ramírez. **INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL Y SU IMPACTO EN EL CRECIMIENTO ECONÓMICO: APROXIMACIÓN DE ANÁLISIS AL CASO INFRAESTRUCTURA EN COLOMBIA (1993-2014).** Revista de ingeniería universidad de Medellín vol.17 no.32 Medellín Jun/2018
- LOZANO, Christian Santiago Barros; HERNANDEZ, Alejandro Gómez. **ANÁLISIS SUPERFICIAL Y METODOLOGÍAS DE PAVIMENTOS PARA EL MANTENIMIENTO DE VÍAS Terciarias DEL MUNICIPIO DE ESPINAL – TOLIMA.** 2017. 58 h. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Piloto de Colombia, Girardot-Cundinamarca. Disponible en: <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5683/Metodología%20de%20Pavimentos.pdf?sequence=1>. Acceso en: 23 jul. 2022.
- MENDOZA, Caren Viviana Jiménez; MORA, Iván Javier Ruiz. **DISEÑO POR CONFIABILIDAD DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO CONSIDERANDO CORRELACIONES Y ENSAYOS APLICADO A LA VÍA ROVIRA IBAGUÉ.** 2020.181 h. TCC- Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, D.C. Disponible en: https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25937/1/Versi%C3%B3n_2_Proyecto_de_Grado_29_11_2020.pdf. Acceso en: 12 nov. 2022.
- MINTRANSPORTE- Ministerio de Transporte et al. **PLAN VIAS-CC: VIAS COMPATIBLES CON EL CLIMA. PLAN DE ADAPTACION DE LA RED VIAL PRIMARIA DE COLOMBIA.** Bogotá D.C. ANI, Nov 2014. Disponible en:

https://www.ani.gov.co/sites/default/files/u789/plan_viascc_vias_compatibles_con_el_clima.pdf. Acceso en: 23 abr. 2022.

- MURCIA, Diego Fernando Arellano. **REHABILITACIÓN DE VIAS TERCIARIAS CON EL SISTEMA DE PLACA HUELLA**. 2015. 19 h. Curso de Especialista En Ingeniería de Pavimentos, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C, 2015. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13145>. Acceso en: 23 abr. 2022.
- NARANJO, Cipriano Alberto Alvarez; PABÓN, Jorge Alberto Alvarez. **MANUAL DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO: PARA VÍAS CON BAJOS, MEDIOS Y ALTOS VOLÚMENES DE TRÁNSITO**. 2008. Instituto Colombiano de Productores de Cemento, Medellín: ICPC. 114p. Disponible en: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3807-manual-de-diseno-de-pavimentos-de-concreto-para-vias-con-bajos-medios-y-altos-volumenes-de-transito/file>. Acceso en: 25 de julio. 2022.
- PADILLA, Ledy Jazmín Arboleda. **ANÁLISIS ESPACIAL DE FACTORES AGROCLIMÁTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE ZONAS ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO DE PLÁTANO EN EL MUNICIPIO DE LÍBANO, TOLIMA**. 2014. 13 h. Curso de especialista en Geomática, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C, 2014. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11576> . Acceso en: 14 jul. 2022.
- ROSAS, Carlos Mario Rodríguez. **ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA EN COLOMBIA, PARA CREAR ESTRATEGIAS QUE PERMITAN ALCANZAR ESTÁNDARES DE COMPETITIVIDAD E INFRAESTRUCTURA INTERNACIONAL**. 2013. 77 h. TCC - Curso de Administración de Negocios Internacionales, Facultad de Administración, Universidad del Rosario, Bogotá D.C, 2013. Disponible en: <https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4537/RodriguezRosas-CarlosMario-2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acceso en: 23 jun. 2022.
- TELLO, Alberto Núñez. **MAPA GEOLÓGICO DEL DEPARTAMENTO DEL TOLIMA: MEMORIA EXPLICATIVA 2001**. 101 f. Instituto de Investigación e Información Geo-científica, minero-ambiental y nuclear – INGEOMINAS. Disponible en: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010040002195/documento/pdf/0101021951101000.pdf>. Acceso en: 14 de julio 2022.
- VALDERRAMA, Correa Ernesto. **EL ROL DE LAS VÍAS TERCIARIAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN NUEVO PAÍS**. Revista de ingeniería, n. 45, p. 64-71, 2017. Disponible en: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/943/1125>. Acceso en: 23 jun. 2022.
- VÁSQUEZ, María Gabriela Castro; VÁSQUEZ, Luis Alberto Castro; VÁSQUEZ,

Prissila Germania Castro. **APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO AASHTO-93 PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO**. Polo del Conocimiento, [S.L.], v. 5, n. 09, p. 641-663, 07 set. 2020. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1717>. Acceso en: 12 nov. 2022.

- VELÁSQUEZ, Alejo Vargas. **EL CONFLICTO INTERNO ARMADO COLOMBIANO Y SUS EFECTOS EN LA SEGURIDAD EN LA REGIÓN ANDINA**. 2006. Ciencia política Vol 1, No. 2, pág. 168-202. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4781380>. Acceso en: 14 jul. 2022
- World Economic Forum - WEF. **The Global Competitiveness Report 2019**.
- World Economic Forum - WEF. **The Global Competitiveness Report 2016-2017**.

7. ANEXO A- CARTA DE CERTIFICACIÓN DE LA JAC

EL PRESIDENTE DE LA JUNTA ACCION COMUNAL, RESOLUCION No. 1196-20 ENE-2022

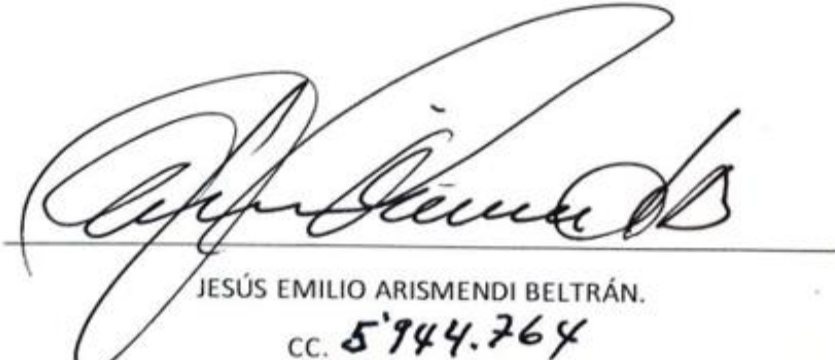
CORREGIMIENTO DE EL CONVENIO – LIBANO, TOLIMA

CERTIFICA

Que a la señora Yésica Bulla con documento de identificación número 1.104.708.485 se le ha suministrado la información y permitido la intervención en el proyecto de mejoramiento de vías terciarias con placa huella de El Convenio-sector rural, mediante visitas de campo, como complemento para su actividad académica, por consiguiente las informaciones plasmadas en su Trabajo de Conclusión de Curso, como datos de ejecución y costos de la placa huella, son reales y verídicos, los cuales a su vez han sido definidos conforme a los estándares impartidos por el gobierno nacional mediante el ministerio del interior.

La presente se expide a solicitud de la interesada para ser presentada ante la Universidad Federal de la Integración Latino-Americana (UNILA), en Brasil.

Firmada a los quince (15) días del mes de Abril del año dos mil veintitrés (2023).



JESÚS EMILIO ARISMENDI BELTRÁN.
CC. 5'944.764

8. ANEXO B- COTIZACIÓN INICIAL DE MATERIALES

17/2/23, 15:10

IMG-20230210-WA0025.jpg

INVERSIONES ZULUAGA OSPINA Y CIA S.A.S. / FERRETERIA LA UNICA

Nit: 900433716-8

CARRERA 12 N° 3-50 CENTRO - Tel: 2560236 - Cel: 321 373 6242 E-mail: ferreteriaunicaibano@hotmail.com

Libano - Tolima - Colombia

COTIZACION A CLIENTES No. _-438267

NOMBRE: CUANTIAS MENORES

NIT: 222222222

DIRECCIÓN: CRA 12 N3-50 - TEL 222222-

CIUDAD: Libano - Tolima

FECHA: febrero 10 de 2023

Referencia	Cant.	Descripción	Unitario	Valor
5403	29	ARENA DE MURRIO MT MT3 A GRANEL	100,000	2,900,000
5278	28	GRAVILLA MT MT3 A GRANEL 3/4	158,000	4,424,000
5278	3	GRAVILLA MT MT3 A GRANEL 1/4	158,000	474,000
0765	318	CEMENTO GRIS CEMEX USO GENERAL X BULTO	29,000	9,222,000
3882	3	SIKASET L X 5 Kg	117,900	353,700
2884	1	CUÑETE SIKASET L X 20 KL	447,400	447,400
1885	193	VARILLA CORR 1/2x1/2mm 5.95K	28,850	5,568,050
1882	469	VARILLA CORR 3/8. 3.36 K	16,750	7,855,750

NOTA: Cotización valida hasta el 17 de febrero del 2023

SUBTOTAL: 26,719,244

-DESCUENTO: 0

+IMPUESTOS: 4,525,656

TOTAL: \$31,244,900

SON: TREINTA Y UN MILLONES DOSCIENTOS CUARENTA Y CUATRO MIL NOVECIENTOS PESOS

FIRMA Y SELLO DE RECIBIDO:

Aprob: Ineserra S.A. 810000484-3 - www.acolsoft.com - www.mellanoro.co

PORCOTUB0305-R.201803

AUXILIAR1 Ineserra 10/02/2023 12:19:48 p.m. - Pág. 1 de 1