DISEÑO DE PAVIMENTOS



"PAVIMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE VÍAS URBANAS EN EL MUNICIPIO DE FRESNO – TOLIMA".

ANDRES MAURICIO CASTRO MURCIA
ING. CIVIL – ESPECIALISTA DE PAVIMENTOS

FRESNO - TOLIMA
ENERO 2021

1 TABLA DE CONTENIDO

1 TABLA DE CONTENIDO 2
INTRODUCCIÓN 5
OBJETIVOS DEL DISEÑO 6
Objetivo Principal 6
Objetivos Secundarios 6
ALCANCE DEL DISEÑO 7
1 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO 9
1.1 Localización General 9
1.2 Localización Específica 9
1.3 Características del proyecto 10
1.4 Fuentes de Información 10
1.5 Responsabilidad del Diseño 11
2 PARÁMETROS DE DISEÑO 12
2.1 Estudio de Tránsito 12
2.1.1 Carrera 8 entre Calles 8 y 9 13
2.1.2 Carrera 4 entre Calle 2 y 4 16
2.2 Exploración Geotécnica 18
2.1.3 CBR DE DISEÑO 19
2.3 Diseño de la Estructura del Pavimento 21
2.3.1 Modelación Estructural Metodología AASHTO-93 21
2.3.2 Según Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito (INVIAS 2007). 26
2.3.3 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS 32
3 LIMITACIONES DEL DISEÑO 37
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Segmentos viales objeto de estudio 7
Tabla 2 – Variación Horaria del tránsito Carrera 8 13
Tabla 3 – Composición del tránsito por tipo de vehículo carrera 8 13
Tabla 4 – Información Consolidada del aforo vehicular Carrera 8 14
Tabla 5 – Distribución total proyectada de vehículos comerciales Carrera 8 durante el periodo de diseño .. 14
Tabla 6 – Estimación Tránsito de Diseño AASHTO-93 Carrera 8 15
Tabla 7 – Estimación Tránsito de Diseño P.C.A-84 Carrera 8 15
Tabla 8 – Variación Horaria del tránsito Carrera 4 16
Tabla 9 – Composición del tránsito por tipo de vehículo Carrera 4 16
Tabla 10 – Información Consolidada del aforo vehicular Carrera 4 17
Tabla 11 – Distribución total proyectada de vehículos comerciales Carrera 4 durante el periodo de diseño 17
Tabla 12 – Estimación Tránsito de Diseño AASHTO-93 Carrera 4 18
Tabla 13 – Estimación Tránsito de Diseño P.C.A-84 Carrera 4 18
Tabla 14 – Ubicación de apiques del estudio de suelos 18
Tabla 15 – Resumen resultados ensayos de laboratorio realizados 19
Tabla 16 – C.B.R de Diseño 19
Tabla 17 – Modelación IVANOV Carrera 8 20
Tabla 18 – Modelación IVANOV Carrera 4 20
Tabla 19 – Variables de Diseño Según manual INVIAS 27
Tabla 20 – categorías de Tránsito para la selección de espesores 27
Tabla 21 – Valores de Clasificación de la Subrasante 28
Tabla 22 – Valores de Resistencia a la Flexotracción del Concreto 28
Tabla 23– Valores escogidos de los parámetros de diseño 28
Tabla 24 – Diseño Según Modelo INVIAS Carrera 4 29
Tabla 25 – Diseño Según Modelo INVIAS Carrera 8 29
Tabla 26 – Niveles de Tránsito Según Especificaciones INVIAS 2013 – Art 100. 30
Tabla 27 – Clase de Base Granular según el Nivel de Tránsito 31
Tabla 28 – Requisitos de los Agregados para Bases Art. 310 31
Tabla 29 – Especificaciones de Materiales INVIAS NT1 y NT2- 2013 32
Tabla 30 – Características Juntas Transversales. 32
Tabla 31 - Separación de losas en función del espesor. 34
Tabla 32 - Separación de losas en función de su esbeltez 34

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 – Localización general y específica del proyecto 9
Ilustración 2 – Ubicación de las vías objeto de estudio 10
Ilustración 3 – Modelación Cra 8 21
Ilustración 4 – Estructura propuesta Cra 8 22
Ilustración 5 – Modelación Cra 4 23
Ilustración 6 – Estructura propuesta Cra 4 24
Ilustración 7 – Parámetros de Diseño Geotextil de Separación 25
Ilustración 8 – Criterios de Escogencia Geotextil de Separación 25
Ilustración 9 – Parámetros de Diseño Geotextil de Separación 26
Ilustración 10 – Resultados Diseño Manual INVIAS 2007 30
Ilustración 11. Detalle de construcción de juntas y canasta con pasadores de carga 33
Ilustración 12. Protector de junta. 35
Ilustración 13 – Alternativas de Diseño Seleccionadas 38

Introducción

En cumplimiento de los requisitos contractuales para inversión en proyectos de infraestructura vial con recursos del Gobierno Nacional, se hace entrega mediante el presente documento del Diseño de Estructura de Pavimento necesario para la "Pavimentación y Construcción de Vías Urbanas del Municipio del Fresno – Tolima".

Junto con este informe se presentan las memorias de cálculo, las especificaciones y fichas técnicas que han sido tomados como insumo para la elaboración del Diseño de la Estructuras de Pavimento de conformidad con lo establecido en la normatividad colombiana vigente.

El diseño se encuentra regido por los lineamientos y condiciones establecidos normativamente, en primera instancia, por la exploración geotécnica y los respectivos ensayos de laboratorio de suelos, y en segunda instancia, por el estudio de transito suministrado a través de aforos de conteo vehicular.

Se realiza la modelación mediante metodología AASHTO – 93 e Invias 2007.

Nota: El presente documento contiene un resumen del estudio de tránsito, el resumen de la exploración geotécnica y el diseño de la estructura de pavimento, con sus respectivos componentes.

Objetivos del Diseño

Objetivo Principal:

- ✓ Presentar las alternativas técnicas de intervención que permitan realizar la pavimentación en concreto de la Carrera 8 entre Calle 8 y 9, y Carrera 4 entre Calle 2 y 4 como parte del proyecto denominado "Pavimentación y Construcción de Vías Urbanas del Municipio del Fresno – Tolima".

Objetivos Secundarios:

- ✓ Verificar la capacidad de soporte de la subrasante del proyecto y proponer su mejoramiento de ser el caso.

- ✓ Presentar 2 alternativas técnicamente viables que permitan garantizar la estabilidad de la pavimentación en concreto de la Carrera 8 entre Calle 8 y 9, y Carrera 4 entre Calle 2 y 4 como parte del proyecto denominado "Pavimentación y Construcción de Vías Urbanas del Municipio del Fresno – Tolima".

- ✓ Conceptuar sobre la conveniencia técnica de las alternativas propuestas para los diferentes segmentos viales.

- ✓ Realizar las observaciones y/o recomendaciones técnico-constructivas conforme a la normatividad técnica vigente.

Alcance del Diseño

El presente diseño tiene como alcance establecer la estructura de pavimento en concreto que sea técnicamente viable tomando como referencia las condiciones propias de las vías objeto de estudio mediante el cálculo de los componentes de la estructura de pavimento que soporte las condiciones de funcionamiento actual y futura de las vías que se relacionan a continuación:

Segmentos Viales Propuestos a Intervenir	Longitud (ml)
Carrera 8 entre Calles 8 y 9	83,47 m
Carrera 4 entre Calles 2 y 4	81,38 m
Total	**164,85 m**

Tabla 1 – Segmentos viales objeto de estudio
Fuente: *Elaboración Propia*

Como producto del presente diseño y teniendo en cuenta las metodologías establecidas para el mismo, el alcance se limita a los siguientes capítulos y entregables:

- ✓ **Capítulo 1 – Información General del Proyecto:** En este capítulo se presenta la localización general y detallada de la zona objeto del presente diseño, las características de intervención, las fuentes de información y los responsables del presente diseño.

- ✓ **Capítulo 2 - Parámetros de Diseño:** Este capítulo contempla todas aquellas variables necesarias para la elaboración del Diseño adecuado de una estructura de pavimento en concreto rígido.

    - ***Estudio de tránsito:*** En este subcapítulo se presenta un resumen de los registros de los aforos vehiculares realizados en el tramo a intervenir, la distribución y estimación del tránsito actual – TPD, la proyección del tránsito en el periodo de diseño y el cálculo del número de ejes equivalentes.

    - ***Exploración Geotécnica:*** En este subcapítulo se presenta un resumen de los registros de los ensayos de campo y laboratorio realizados en la zona de intervención, así como también la respectiva clasificación y caracterización de las capas que componen la estructura de pavimento actual.

- ***Material de soporte para el pavimento:*** En este subcapítulo se presenta un resumen de las condiciones técnicas que influyen en la elección de la capa de material granular que soportara la capa de rodadura en pavimento rígido.

- ***Características del concreto para el pavimento:*** En este subcapítulo se presenta un resumen de las condiciones técnicas que influyen en la elección de la calidad del concreto hidráulico y su resistencia a la flexo-tracción.

- ✓ **Diseño de la estructura de pavimento:** En este capítulo se presentan los parámetros de diseño establecidos, la implementación de cada una de las metodologías de diseño, el cálculo de la estructura de pavimento, la verificación de las estructuras propuestas y las recomendaciones técnicas de construcción.

- ✓ **Limitaciones del Estudio:** En este capítulo se relacionan las limitaciones consideradas por el equipo consultor durante la elaboración del estudio.

- ✓ **Conclusiones y Recomendaciones:** En este capítulo se presentan las consideraciones técnicas necesarias para el diseño de la estructura de pavimento, así como también para la validez del presente estudio.

- ✓ **Bibliografía:** En este capítulo se relaciona toda la literatura y normatividad de referencia que se usó para la elaboración del estudio.

- ✓ **Glosario:** En este capítulo se presentan los conceptos necesarios para comprender el contenido del estudio.

- ✓ **Anexos:** En este capítulo se relacionan de manera ordenada los anexos que hacen parte del estudio.

1 Información General del Proyecto

1.1 Localización General

El proyecto denominado "ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA LA PAVIMENTACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LAS SIGUIENTES VIAS: CARRERA 8 ENTRE CALLE 8 Y 9, Y CARRERA 4 ENTRE CALLE 2 Y 4 DEL MUNICIPIO DE FRESNO TOLIMA" se encuentra ubicado en el Municipio de Fresno en el Departamento del Tolima.

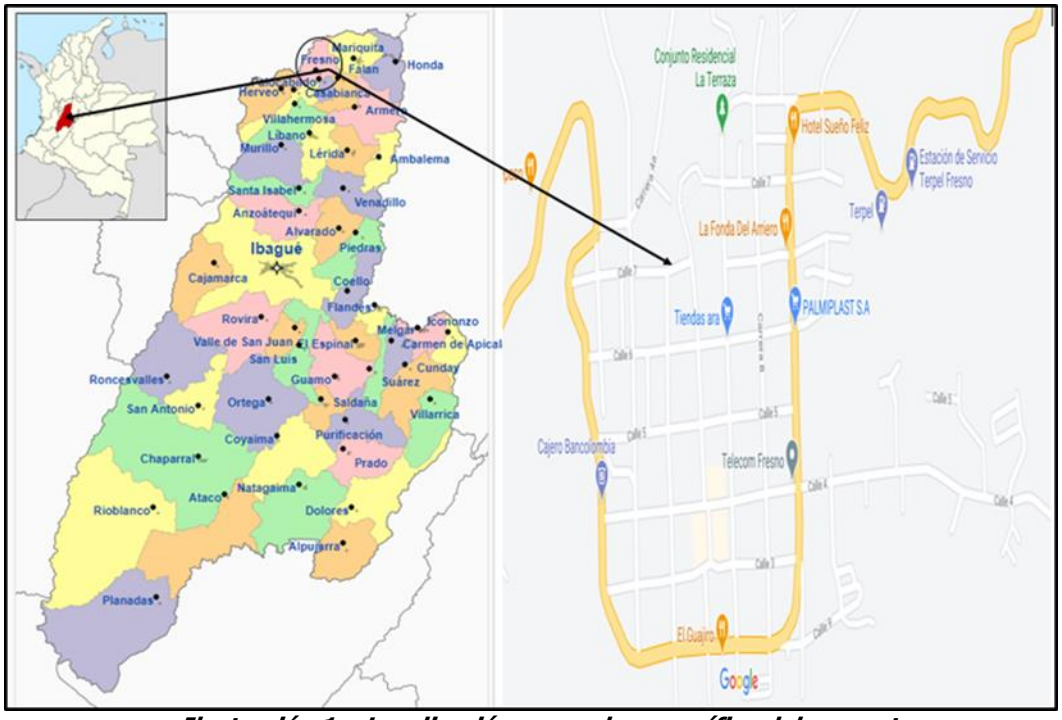


Ilustración 1 – Localización general y específica del proyecto
Fuente: *Elaboración Propia*

1.2 Localización Específica

Las vías propuestas para intervención hacen parte del Barrio centro del casco urbano y corresponden a las siguientes ubicaciones Carrera 8 entre Calles 8 y 9 y la Carrera 4 entre Calles 2 y 4.

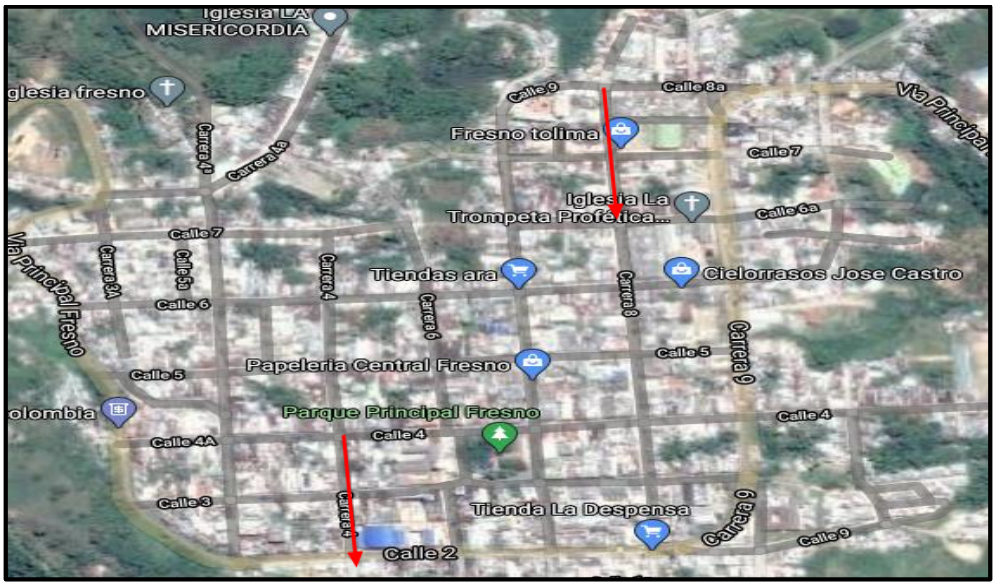


Ilustración 2 – Ubicación de las vías objeto de estudio
Fuente: *Google Earth Pro*

1.3 Características del proyecto

El proyecto contempla el cambio de la estructura de pavimento existente la cual se encuentra en mal estado estructural y funcional, incluye además el cambio de los sardineles, inclusión de rampas en los andenes existentes para mejorar su funcionamiento, integración con la infraestructura vial, estética e integración de personas diversamente hábiles o en condiciones de discapacidad y la respectiva demarcación.

1.4 Fuentes de Información

Se consultó y recopiló información de tipo institucional elaborada por la Secretaría de Infraestructura Municipal de Fresno – Tolima, la cual sirvió como insumo para la elaboración de tablas e ilustraciones por parte del consultor.

De igual forma se ha tomado información primaria en campo durante el periodo de elaboración del diseño de la estructura de pavimento por parte del Especialista de Pavimentos Héctor Manuel Lozada Murcia en la zona de influencia del proyecto.

Adicionalmente se ha hecho uso de información secundaria procedente de internet, principalmente de la página web institucional del Municipio, Wikipedia y otras fuentes que se encuentran relacionadas en el presente documento.

1.5 Responsabilidad del Diseño

La responsabilidad se encuentra a cargo del profesional Especializado que participa en su elaboración (Ingeniero Especialista), quien suscribe el respectivo memorial de responsabilidad que hace parte integral del presente diseño. (Ver Anexo 1)

- ✓ Andrés Mauricio Castro Murcia (Ingeniero Especialista)

2 Parámetros de Diseño

Los pavimentos se diseñan y construyen con el objetivo de prestar el servicio para el cual fue concebido, durante un periodo determinado, manteniendo unas condiciones de seguridad óptimas, con un costo apropiado.

En el diseño del pavimento es necesario tener en cuenta varios elementos, de los cuales los más importantes son la capacidad de soporte del suelo, el tránsito que circulará sobre la estructura durante todo su periodo de diseño y los materiales con que se construirá.

Se presenta de manera precisa la descripción de cada una de las variables que fueron tenidas en cuenta en los análisis para la elaboración del presente diseño.

2.1 Estudio de Tránsito

Teniendo en cuenta que uno de los parámetros más importantes en el diseño de pavimentos corresponde al tránsito de los tramos de vía a intervenir, el diseñador realizó una serie de proyecciones con base en los aforos vehiculares realizados en campo, esto con el fin de determinar el TPD actual y así poder realizar una proyección del tránsito durante el periodo de diseño.

El procedimiento seguido para el análisis de tránsito necesario para el diseño de la estructura de pavimento, consta en realizar un análisis de la distribución de los vehículos que circulan por el tramo a intervenir (Automóviles, Buses y Camiones), su sentido de circulación, y la carga equivalente según su número de ejes.

La determinación del tránsito se puede hacer en forma precisa o con grandes simplificaciones, el criterio depende del grado de importancia de la vía a pavimentar, los recursos al alcance y de los riesgos que se puedan correr en el Diseño del Pavimento.

Para evaluar el comportamiento vehicular, se tomó como insumo el aforo vehicular de 3 días para cada una de las vías obteniendo la siguiente información.

2.1.1 Carrera 8 entre Calles 8 y 9

Aforo Vehicular Carrera 8 Entre Calles 8-9					
Hora	Jueves	Viernes	Sabado	∑	% TPD
6:00 - 7:00	35	27	70	**132**	5.37%
7:00 - 8:00	43	35	55	**133**	5.41%
8:00 - 9:00	60	26	73	**159**	6.46%
9:00 - 10:00	46	38	56	**140**	5.69%
10:00 - 11:00	64	50	64	**178**	7.24%
11:00 - 12:00	72	36	74	**182**	7.40%
12:00 - 13:00	76	76	80	**232**	9.43%
13:00 - 14:00	97	98	108	**303**	12.32%
14:00 - 15:00	81	80	89	**250**	10.16%
15:00 - 16:00	77	78	83	**238**	9.67%
16:00 - 17:00	88	88	88	**264**	10.73%
17:00 - 18:00	83	72	94	**249**	10.12%
TOTAL	**822**	**704**	**934**	**2460**	**100.00%**
	33.41%	**28.62%**	**37.97%**		

Tabla 2 – Variación Horaria del tránsito Carrera 8
Fuente: *Estudio de Tránsito*

Distribucion Vehicular Carrera 8 Entre Calles 8-9					
Hora	Jueves	Viernes	Sabado	∑	% TPD
Auto	750	647	841	**2238**	90.98%
Bus	5	4	6	**15**	0.61%
C2-P	41	34	45	**120**	4.88%
C2-G	26	19	42	**87**	3.54%
C3	0	0	0	**0**	0.00%
C4	0	0	0	**0**	0.00%
C5	0	0	0	**0**	0.00%
>C5	0	0	0	**0**	0.00%
TOTAL	**822**	**704**	**934**	**2460**	**100.00%**
	33.41%	**28.62%**	**37.97%**		

Tabla 3 – Composición del tránsito por tipo de vehículo carrera 8
Fuente: *Estudio de Tránsito*

De la tabla anterior se puede concluir que el 90,98% de los vehículos que circulan por el segmento vial corresponde a automóviles y el 9,02% corresponde a vehículos comerciales (buses y camiones) con una distribución del 0,61% para autobuses, el 4,88% para camiones tipo C2-P y 3,54% para camiones tipo C2-G.

Del total de vehículos comerciales el 6,76% corresponde a Autobuses, el 54,05% a camiones C2-P y el 39,19% a camiones C2-G.

INFORMACION CONSOLIDADA DEL AFORO VEHICULAR CARRERA 8 ENTRE CALLES 8 Y 9								
FECHA	AUTOS (A)	BUSES (B)	CAMIONES (C)					
			C2-P	C2-G	C3	C4	C5	> C5
Jueves	750	5	41	26	0	0	0	0
viernes	647	4	35	19	0	0	0	0
Sabado	841	6	45	42	0	0	0	0
TOTALES	**2238**	**15**	**121**	**87**	**0**	**0**	**0**	**0**
PROMEDIOS	**746**	**5**	**41**	**29**	**0**	**0**	**0**	**0**
TPD	**821**							

Tabla 4 – Información Consolidada del aforo vehicular Carrera 8
Fuente: *Estudio de Tránsito*

Teniendo en cuenta el TPD determinado mediante el análisis de los aforos vehiculares elaborados como insumo, se estima una tasa de crecimiento del 3%. El periodo de Diseño mínimo sugerido para pavimentos en concreto del presente estudio corresponde a 20 años para todos los análisis estructurales, el cual bajo premisas teóricas debe coincidir como mínimo con la vida útil del pavimento, en el caso que exista una buena certidumbre en el análisis de las variables de diseño y su respectiva proyección, se obtuvieron los siguientes resultados.

# VEHICULOS DURANTE EL PERIODO DE DISEÑO	AUTOS (A)	BUSES (B)	CAMION (C2-P)	CAMION (C2-G)	CAMION (C3)
8641010 Vehículos	7851636	52625	431524	305224	0
% DISTRIBUCION VEHICULAR	90,86%	0,61%	4,99%	3,53%	0,00%
CANTIDAD VEHICULOS COMERCIALES DURANTE EL PERIODO DE DISEÑO		**789373**			

Tabla 5 – Distribución total proyectada de vehículos comerciales Carrera 8 durante el periodo de diseño
Fuente: *Estudio de Tránsito*

TIPO DE VEHICULO	# EJES EQUIVALENTES 8.2 TON (FACTOR CAMIÓN)	DISTRIBUCION DIRECCIONAL 80%	TPDS - TPDA (365 Días)
Bus	144	115	41975 Ejes de 8.2 Ton
Camión C2-P	1347	1078	393470 Ejes de 8.2 Ton
Camión C2-G	2876	2301	839865 Ejes de 8.2 Ton
	4367	**3494**	**1275310 Ejes de 8.2 Ton**
	T. Generado durante la Obra (7,5%)		95648 Ejes de 8.2 Ton
	T. Atraido por la Obra (10%)		127531 Ejes de 8.2 Ton
	T. Inducido por la Obra (5%)		63766 Ejes de 8.2 Ton
	TRÁNSITO TOTAL DE DISEÑO		**1562255 Ejes de 8.2 Ton**

Tabla 6 – Estimación Tránsito de Diseño AASHTO-93 Carrera 8
Fuente: *Estudio de Tránsito*

ESTIMACION TRÁNSITO DE DISEÑO SEGÚN METODOLOGÍA P.C.A - 1984				
Tipo Vehiculo	**#Vehiculos**	**Eje de 6 Ton**	**Eje de 11 Ton**	**Eje de 22Ton**
Liviano	7.851.636	0	0	0
Bus	52.625	1	1	0
Camión C2-P	431.524	2	0	0
Camión C2-G	305.224	1	1	0
Camión C3	0	1	0	1
Camión C4	0	1	0	1
# Repeticiones		1.220.897	357.849	0

Tabla 7 – Estimación Tránsito de Diseño P.C.A-84 Carrera 8
Fuente: *Estudio de Tránsito*

Como se puede evidenciar en la tabla 6 debido al número de ejes equivalentes de 8,20 Toneladas que circulan en el periodo de diseño, este segmento vial es clasificado como una vía con nivel de tránsito NT2 (Según clasificación IVIAS-2013), de igual forma se puede evidenciar en la tabla 7 el número de repeticiones por ejes de carga establecida, predominando las repeticiones de ejes de 6 Toneladas sobre los de 11 y 22 Toneladas.

2.1.2 Carrera 4 entre Calle 2 y 4

Aforo Vehicular Carrera 4 Entre Calles 2-4					
Hora	Jueves	Viernes	Sabado	∑	% TPD
6:00 - 7:00	13	17	20	**50**	5.99%
7:00 - 8:00	20	16	19	**55**	6.59%
8:00 - 9:00	22	16	26	**64**	7.66%
9:00 - 10:00	24	21	29	**74**	8.86%
10:00 - 11:00	18	20	29	**67**	8.02%
11:00 - 12:00	19	19	23	**61**	7.31%
12:00 - 13:00	11	11	26	**48**	5.75%
13:00 - 14:00	21	21	27	**69**	8.26%
14:00 - 15:00	23	20	37	**80**	9.58%
15:00 - 16:00	30	31	28	**89**	10.66%
16:00 - 17:00	22	29	34	**85**	10.18%
17:00 - 18:00	25	31	37	**93**	11.14%
TOTAL	**248**	**252**	**335**	**835**	**100.00%**
	29.70%	**30.18%**	**40.12%**		

Tabla 8 – Variación Horaria del tránsito Carrera 4
Fuente: *Estudio de Tránsito*

Distribucion Vehicular Carrera 4 Entre Calles 2-4					
Hora	Jueves	Viernes	Sabado	∑	% TPD
Auto	235	242	313	**790**	94.61%
Bus	0	0	0	**0**	0.00%
C2-P	9	7	15	**31**	3.71%
C2-G	4	3	7	**14**	1.68%
C3	0	0	0	**0**	0.00%
C4	0	0	0	**0**	0.00%
C5	0	0	0	**0**	0.00%
>C5	0	0	0	**0**	0.00%
TOTAL	**248**	**252**	**335**	**835**	**100.00%**
	29.70%	**30.18%**	**40.12%**		

Tabla 9 – Composición del tránsito por tipo de vehículo Carrera 4
Fuente: *Estudio de Tránsito*

De la tabla anterior se puede concluir que el 94,61% de los vehículos que circulan por el segmento vial corresponde a automóviles y el 5,39% corresponde a vehículos comerciales (tipo camiones) con una distribución del 3,71% para camiones tipo C2-P y 1,68% para camiones tipo C2-G.

Del total de vehículos comerciales el 0% corresponde a Autobuses, el 68,89% a camiones C2-P y el 31,11% a camiones C2-G.

INFORMACION CONSOLIDADA DEL AFORO VEHICULAR CARRERA 4 ENTRE CALLES 2 Y 4								
FECHA	AUTOS (A)	BUSES (B)	CAMIONES (C)					
			C2-P	C2-G	C3	C4	C5	> C5
Jueves	235	0	9	4	0	0	0	0
viernes	242	0	7	3	0	0	0	0
Sabado	313	0	15	7	0	0	0	0
TOTALES	**790**	**0**	**31**	**14**	**0**	**0**	**0**	**0**
PROMEDIOS	**264**	**0**	**11**	**5**	**0**	**0**	**0**	**0**
TPD	**280**							

Tabla 10 – Información Consolidada del aforo vehicular Carrera 4

Fuente: *Estudio de Tránsito*

Teniendo en cuenta el TPD determinado mediante el análisis de los aforos vehiculares elaborados como insumo, se estima una tasa de crecimiento del 3%. El periodo de Diseño mínimo sugerido para pavimentos en concreto del presente estudio corresponde a 20 años para todos los análisis estructurales, el cual bajo premisas teóricas debe coincidir como mínimo con la vida útil del pavimento, en el caso que exista una buena certidumbre en el análisis de las variables de diseño y su respectiva proyección, se obtuvieron los siguientes resultados.

# VEHICULOS DURANTE EL PERIODO DE DISEÑO	AUTOS (A)	BUSES (B)	CAMION (C2-P)	CAMION (C2-G)	CAMION (C3)
8641010 Vehículos	7851636	52625	431524	305224	0
% DISTRIBUCION VEHICULAR	90,86%	0,61%	4,99%	3,53%	0,00%
CANTIDAD VEHICULOS COMERCIALES DURANTE EL PERIODO DE DISEÑO		**789373**			

Tabla 11 – Distribución total proyectada de vehículos comerciales Carrera 4 durante el periodo de diseño

Fuente: *Estudio de Tránsito*

TIPO DE VEHICULO	# EJES EQUIVALENTES 8.2 TON (FACTOR CAMIÓN)	DISTRIBUCION DIRECCIONAL 80%	TPDS - TPDA (365 Días)
Bus	0	0	0 Ejes de 8.2 Ton
Camión C2-P	365	292	106580 Ejes de 8.2 Ton
Camión C2-G	502	402	146730 Ejes de 8.2 Ton
	867	**694**	**253310 Ejes de 8.2 Ton**
	T. Generado durante la Obra (7,5%)		18998 Ejes de 8.2 Ton
	T. Atraido por la Obra (10%)		25331 Ejes de 8.2 Ton
	T. Inducido por la Obra (5%)		12666 Ejes de 8.2 Ton
	TRÁNSITO TOTAL DE DISEÑO		**310305 Ejes de 8.2 Ton**

Tabla 12 – Estimación Tránsito de Diseño AASHTO-93 Carrera 4
Fuente: *Estudio de Tránsito*

ESTIMACION TRÁNSITO DE DISEÑO SEGÚN METODOLOGÍA P.C.A - 1984				
Tipo Vehiculo	**#Vehiculos**	**Eje de 6 Ton**	**Eje de 11 Ton**	**Eje de 22Ton**
Liviano	2.703.664	0	0	0
Bus	18.121	1	1	0
Camión C2-P	148.593	2	0	0
Camión C2-G	105.102	1	1	0
Camión C3	0	1	0	1
Camión C4	0	1	0	1
# Repeticiones		420.409	123.223	0

Tabla 13 – Estimación Tránsito de Diseño P.C.A-84 Carrera 4
Fuente: *Estudio de Tránsito*

Como se puede evidenciar en la tabla 12 debido al número de ejes equivalentes de 8,20 Toneladas que circulan en el periodo de diseño, este segmento vial es clasificado como una vía con nivel de tránsito NT1 (Según clasificación IVIAS-2013), de igual forma se puede evidenciar en la tabla 13 el número de repeticiones por ejes de carga establecida, predominando las repeticiones de ejes de 6 Toneladas sobre los de 11 y 22 Toneladas.

2.2 Exploración Geotécnica

Se realizaron 2 perforaciones a cielo abierto por tramo de vía a intervenir, tal como aparece en el estudio de suelos y las exploraciones geotécnicas de campo.

Apique No.	Ubicación	Profundidad	Costado	Coordenada X	Coordenada Y
1	Carrera 8 # 8-72	1,30m	Derecho	05°15,592´	75°02,104´
2	Carrera 4 # 3-70	1,20m	Derecho	05°15,166´	75°03,867´

Tabla 14 – Ubicación de apiques del estudio de suelos
Fuente: *Informe Estudio de suelos elaborado por INGEOCONSULTORES SAS*

Según los apiques realizados por INGEOCONSULTORES SAS entregados como insumo para el diseño, se relacionan los resultados de las exploraciones geotécnicas de campo, realizadas en las vías urbanas objeto de estudio del Municipio de Fresno.

Apique No.	Estrato	C.B.R Inalterado	C.B.R Sumergido	C.B.R Método Cono Dinámico
1	Suelo Natural	2.10%	1.00%	2.90%
2	Suelo Natural	2.00%	0.90%	3.60%

Tabla 15 – Resumen resultados ensayos de laboratorio realizados
Fuente: *Informe Estudio de suelos elaborado por INGEOCONSULTORES SAS*

Nota: Para mayor información referirse al estudio de exploración geotécnica.

2.1.3 CBR DE DISEÑO

Teniendo en cuenta las criticas condiciones encontradas en la subrasante, se determina como CBR de diseño la condición más crítica (estado sumergido) para cada uno de los tramos, así:

Apique No.	Estrato	C.B.R Sumergido
1	Suelo Natural	1.00%
2	Suelo Natural	0.90%

Tabla 16 – C.B.R de Diseño
Fuente: *Informe Estudio de suelos elaborado por INGEOCONSULTORES SAS*

Debido a las deficientes condiciones de soporte del material granular que actuaría como subrasante natural, es criterio del diseñador que se debe realizar un mejoramiento con un material granular que permita mejorar las condiciones actuales, por tal motivo se propone realizar un mejoramiento de la subrasante con un material tipo recebo (fácil de conseguir en la zona de influencia del proyecto), lo anterior con el propósito de optimizar la plataforma de cimentación de la estructura de pavimento, aumentando la resistencia al corte.

Se sugiere utilizar como material seleccionado de mejoramiento, recebo tipo 2, tal que cumpla con los requerimientos consignados en el capítulo 6, articulo 610, de las especificaciones técnicas de construcción de INVIAS-2013.

Con el fin de optimizar la capacidad de soporte de la subrasante actual, se modela mediante la fórmula de IVANOV para determinar el CBR equivalente obtenido utilizando el material de mejoramiento arriba citado, con base en los bajos valores de CBR producto de las exploraciones de campo, lo cual nos permite calcular el espesor del material seleccionado aumentando el CBR.

CÁLCULO ESTIMATIVO DEL CBR EQUIVALENTE EN LA SUPERFICIE DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO (SUELO SELECCIONADO) POR MEDIO DE LA FÓRMULA DE IVANOV

CBR DISEÑO % (PROMEDIO)		$E_{INF.}$	$E_{SUP.}$	n	$n^{3.5}$	h_1(cm)	h_1 / 2a	(I) $\tan^{-1}(n*h_1/2a)$ (rad)	(J) $1-(1/n^{3.5})$	$2/\pi$	$2/\pi*J*I$	E_{equiv} (Kg/cm2)	CBR
SUBRASANTE	MAT. MEJORAM	(kg/cm^2)											
1,00	15,00	100	899	2,41	21,63	33,0	1,08	1,20	0,95	0,64	0,73	373	3,70

SISTEMA EQUIVALENTE
CBR $_{EQUIVALENTE}$ = 3,70 %

CBR DISEÑO % (PROMEDIO)			$E_{INF.}$	$E_{SUP.}$	E_{EQUIV}	n	$n^{3.5}$	(I) $1-(1/n^{3.5})$	$2/\pi$	(K) $2/\pi*I$	(L) $1-(E_{INF}/E_{EQUIV})$	tan(L/K)	h1 (cm)
SUBRASANTE	MAT. MEJORAM	EQUIV.	(Kg/cm^2)										
1,00	15,00	3,70	100	899	370	2,41	21,63	0,95	0,64	0,61	0,73	2,59	32,83

ESPESOR NECESARIO PARA OBTENER
UN CBR EQUIVALENTE DE **3,70%**
ALTURA DEL RELLENO (h_1) = 33,00 cm

$E_{INFERIOR}$ = 100 x CBR CBR<10%
$E_{SUPERIOR}$ = 130 x $CBR^{0,714}$ CBR≥10%

h_1 corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \mathrm{Tan}\left[\frac{\left(1-\frac{E_{inferior}}{E_{equivalente}}\right)}{\frac{2}{\pi}*\left(1-\frac{1}{n^{3.5}}\right)}\right]$$

$$n = \left(\frac{E_{superior}}{E_{inferior}}\right)^{1/2.5}$$

Tabla 17 – Modelación IVANOV Carrera 8

CÁLCULO ESTIMATIVO DEL CBR EQUIVALENTE EN LA SUPERFICIE DE LA CAPA DE MEJORAMIENTO (SUELO SELECCIONADO) POR MEDIO DE LA FÓRMULA DE IVANOV

CBR DISEÑO % (PROMEDIO)		$E_{INF.}$	$E_{SUP.}$	n	$n^{3.5}$	h_1(cm)	h_1 / 2a	(I) $\tan^{-1}(n*h_1/2a)$ (rad)	(J) $1-(1/n^{3.5})$	$2/\pi$	$2/\pi*J*I$	E_{equiv} (Kg/cm2)	CBR
SUBRASANTE	MAT. MEJORAM	(kg/cm^2)											
0,90	15,00	90	899	2,51	25,07	33,0	1,08	1,22	0,96	0,64	0,74	353	3,50

SISTEMA EQUIVALENTE
CBR $_{EQUIVALENTE}$ = 3,50 %

CBR DISEÑO % (PROMEDIO)			$E_{INF.}$	$E_{SUP.}$	E_{EQUIV}	n	$n^{3.5}$	(I) $1-(1/n^{3.5})$	$2/\pi$	(K) $2/\pi*I$	(L) $1-(E_{INF}/E_{EQUIV})$	tan(L/K)	h1 (cm)
SUBRASANTE	MAT. MEJORAM	EQUIV.	(Kg/cm^2)										
0,90	15,00	3,50	90	899	350	2,51	25,07	0,96	0,64	0,61	0,74	2,69	32,79

ESPESOR NECESARIO PARA OBTENER
UN CBR EQUIVALENTE DE **3,50%**
ALTURA DEL RELLENO (h_1) = 33,00 cm

$E_{INFERIOR}$ = 100 x CBR CBR<10%
$E_{SUPERIOR}$ = 130 x $CBR^{0,714}$ CBR≥10%

h_1 corresponde al espesor entre máximo y mínimo del material granular

$$h_1 = \frac{2a}{n} * \mathrm{Tan}\left[\frac{\left(1-\frac{E_{inferior}}{E_{equivalente}}\right)}{\frac{2}{\pi}*\left(1-\frac{1}{n^{3.5}}\right)}\right]$$

$$n = \left(\frac{E_{superior}}{E_{inferior}}\right)^{1/2.5}$$

Tabla 18 – Modelación IVANOV Carrera 4

2.3 Diseño de la Estructura del Pavimento

2.3.1 Modelación Estructural Metodología AASHTO-93

Se modelo la estructura de pavimentos mediante el software Guía AASHTO-1993.

Carrera 8 entre Calles 8 y 9

Parámetros de Diseño:

- CBR (mejorado): 3.7%
- Sub-Base granular: E= 15 cm (sin tratar)
- Módulo de Rotura: 4.0 MPa
- Dovelas: Si
- Bermas: No

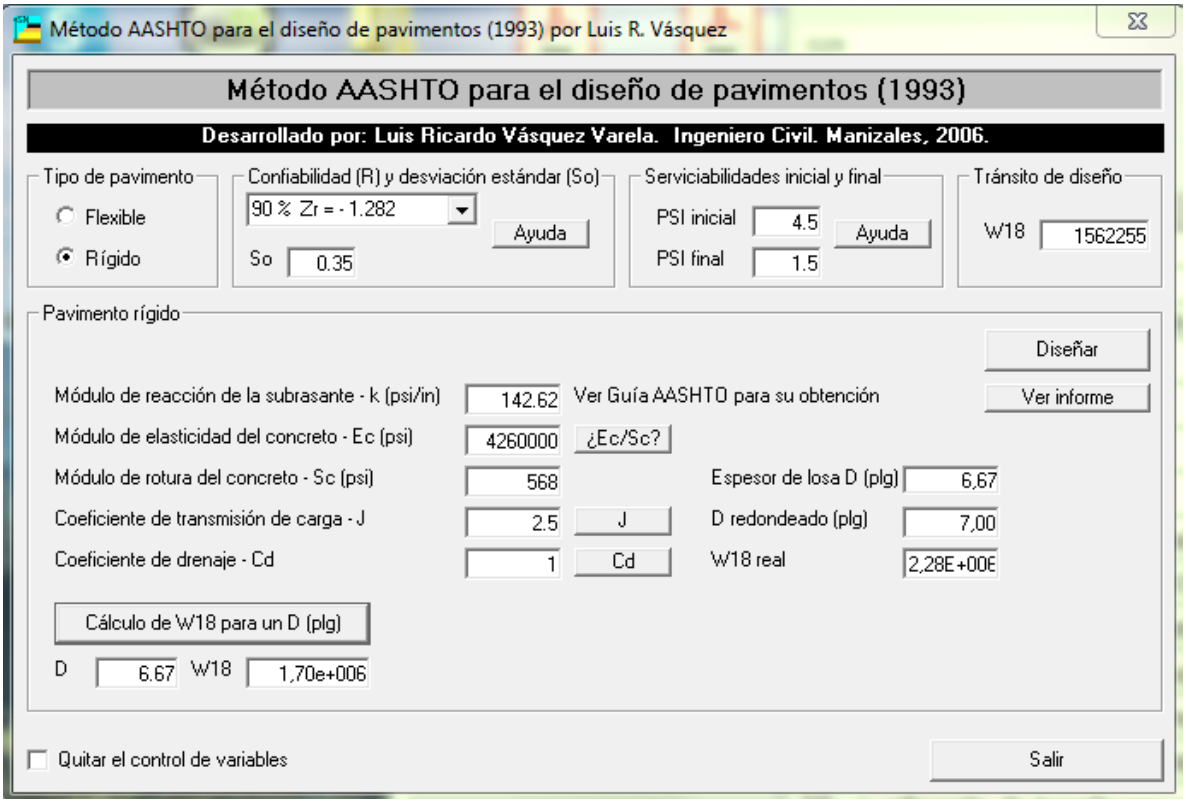


Ilustración 3 – Modelación Cra 8
Fuente: *Propia*

Una vez obtenidos los cálculos de diseño necesarios se procedió a realizar la sensibilización de resultados del software para calcular la proyección del tránsito que soportaría con 6,67 pulgadas, evidenciando que con esta capa cumple con los requerimientos de tránsito proyectado, razón por la cual la estructura propuesta corresponde a la siguiente.

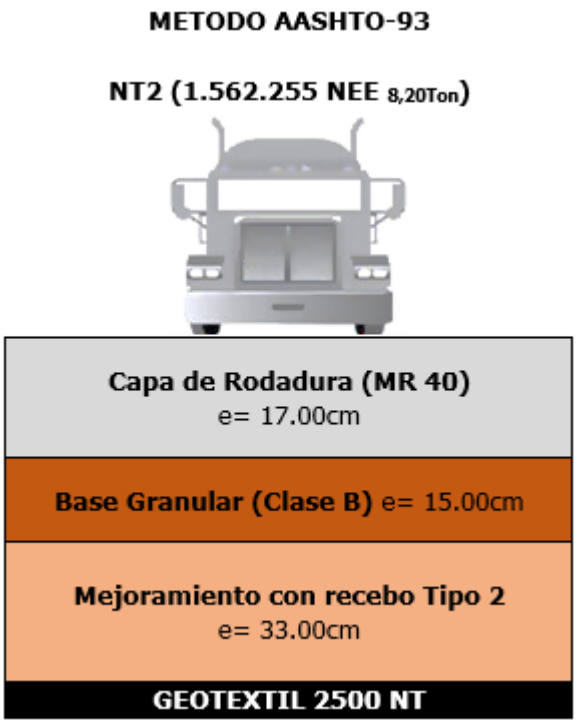


Ilustración 4 – Estructura propuesta Cra 8
Fuente: *Propia*

Carrera 4 entre Calles 2 y 4

Parámetros de Diseño:

- CBR (mejorado): 3.5%
- Sub-Base granular: E= 15 cm (sin tratar)
- Módulo de Rotura: 4.0 MPa
- Dovelas: Si
- Bermas: No

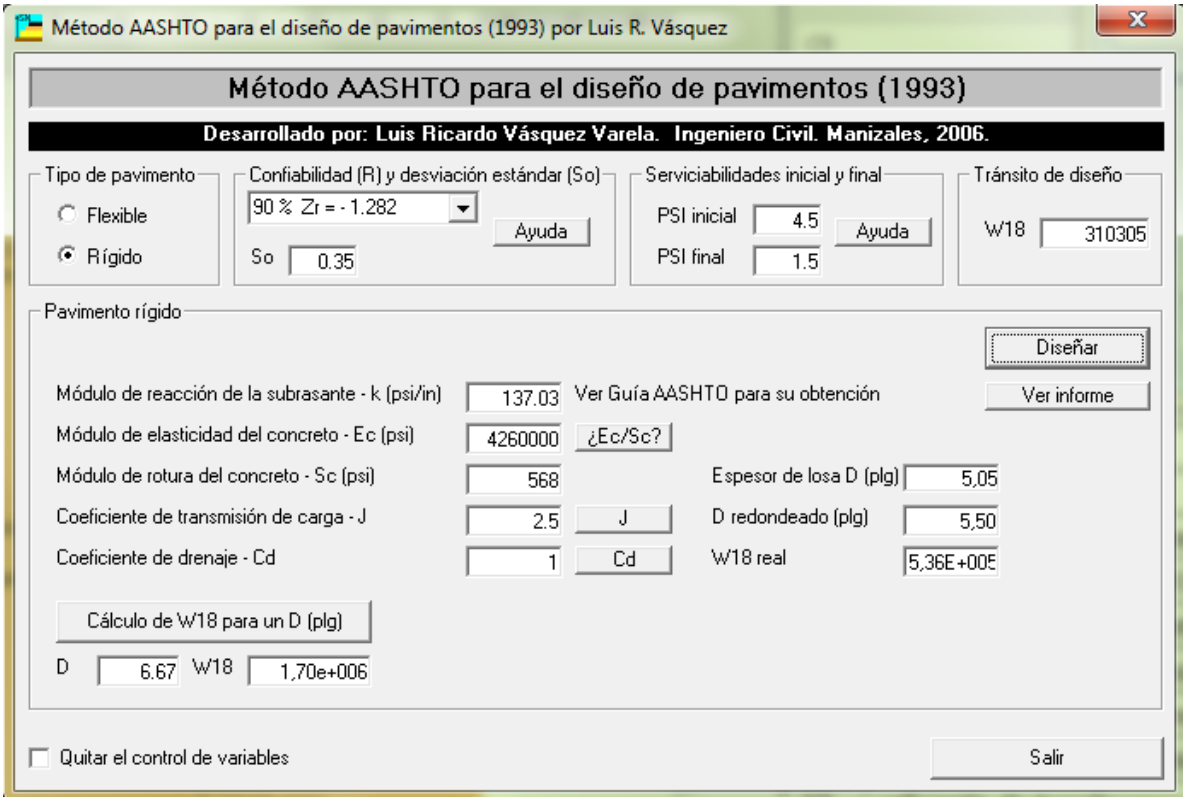


Ilustración 5 – Modelación Cra 4
Fuente: *Propia*

Una vez obtenidos los cálculos de diseño necesarios se procedió a realizar la sensibilización de resultados del software para calcular la proyección del tránsito que soportaría con 6,67 pulgadas (espesor mínimo de losa establecido por el diseñador), evidenciando que con esta capa cumple con los requerimientos de tránsito proyectado, razón por la cual la estructura propuesta corresponde a la siguiente.

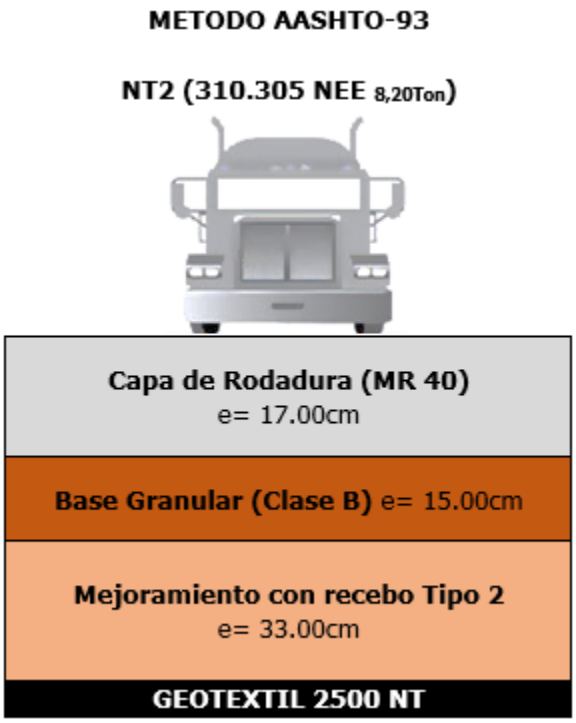


Ilustración 6 – Estructura propuesta Cra 4
Fuente: *Propia*

Cálculo Geotextil

Adicionalmente, la estructura de pavimento requiere un aislamiento o separación de la subrasante, esto con el fin de garantizar la vida útil de la misma conforme a lo proyectado en el periodo de diseño, es por esto que conforme a lo establecido en la norma INVIAS 231-13 se procedió a verificar el tipo de geotextil que puede cumplir esta necesidad.

Para la determinación del geotextil a emplear se usó el software GEOSOFT 3.0 de PAVCO, cuya modelación se presenta a continuación:



Ilustración 7 – Parámetros de Diseño Geotextil de Separación



Ilustración 8 – Criterios de Escogencia Geotextil de Separación



Ilustración 9 – Parámetros de Diseño Geotextil de Separación

Conforme a la normatividad INVIAS y los resultados obtenidos de la modelación en el Software GEOSOFT, se recomieda el uso de un Geotextil NT 2500 para separación de la estructura de pavimento y la subrasante.

2.3.2 Según Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito (INVIAS 2007).

Este método permite dimensionar las diferentes capas por intermedio de variables que se encuentran directamente relacionadas con las condiciones a las que estará sometida durante su vida útil la estructura de pavimento tales como lo son el tránsito, clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia, valores a la flexotracción del concreto y las condiciones de soporte, transferencia y confinamiento.

2.3.2.1 Variables de diseño según manual INVIAS (2007)

Debido a que este método se basa en la determinación del espesor de la capa de rodadura, mediante una serie de variables que se relacionan a continuación:

Variables y su representación				
Suelos	Tránsito	Transferencia y confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR<2)	**T0** (EALS <1x10^6)	**D y B** (Dovelas y Bermas)	**SN** (Subrasante)	**MR1**=38 MPa
S2 (2<CBR<5)	**T1** (1x10^6<EALS <1,5x10^6)	**D y No B** (Dovelas y No Bermas)	**BG** (15 cm BG)	**MR2**=40 MPa
S3 (5<CBR<10)	**T2** (1,5x10^6<EALS <5x10^6)	**No D y B** (No Dovelas y Bermas)	**BEC** (15 cm BEC)	**MR3**=42 MPa
S4 (10<CBR<20)	**T3** (5x10^6<EALS <9x10^6)	**No D y No B** (No Dovelas y No Bermas)		**MR4**=45 Mpa
S5 (CBR>20)	**T4** (9x10^6<EALS <17x10^6)			
	T5 (17x10^6<EALS <25x10^6)			
	T6 (25x10^6<EALS <100x10^6)			

Tabla 19 – Variables de Diseño Según manual INVIAS

Para poder llevar a cabo este método se requiere de establecer con los datos obtenidos previamente los valores de las siguientes variables:

- **Categoría de Tránsito:** Este valor ya fue determinado como parte del presente estudio y corresponde a la proyección del número de vehículos que circularán por la vía durante un periodo de diseño de 20 años, cuyo cálculo se encuentra detallado en el numeral 4.5 del presente informe y corresponde a 149.103 vehículos con un TPDs DE 19 vehículos, siendo esta vía Categoría T2.

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T o	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1´000.000
T 1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1´000.000 a 1´500.000
T 2	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1´500.000 a 5´000.000
T 3	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5´000.000 a 9´000.000
T 4	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9´000.000 a 17´000.000
T 5	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17´000.000 a 25´000.000
T 6	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25´000.000 a 100´000.000

Tabla 20 – categorías de Tránsito para la selección de espesores

- **Clasificación de la Subrasante:** Tomando Como referencia el C.B.R. mejorado de la subrasante mediante el uso de recebo tipo 2 según norma INVIAS, el C.B.R combinado del recebo y la subrasante equivale a 3.50% y 3.70% siendo una subrasante tipo S2".

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm²)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 – 500
S3	5 - 10	500 – 1.000
S4	20 - 10	1.000 – 2.000
S5	> 20	> 2.000

Tabla 21 – Valores de Clasificación de la Subrasante

- **Resistencia a la Flexotracción del Concreto:** Teniendo en cuenta los niveles de tránsito, se consideran Valores de MR para la capa de rodadura entre MR38 y MR42.

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm²)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Tabla 22 – Valores de Resistencia a la Flexotracción del Concreto

- **Parámetros de Diseño adoptados:** Teniendo en cuenta las características propias del segmento a intervenir, a continuación, se presenta el resumen de los valores obtenidos para el diseño del espesor de la losa en concreto.

Variables y su representación				
Suelos	Tránsito	Transferencia y confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR<2)	**T0** (EALS <1x10^6)	**D y B** (Dovelas y Bermas)	**SN** (Subrasante)	**MR1**=38 MPa
S2 (2<CBR<5)	**T1** (1x10^6<EALS <1,5x10^6)	**D y No B** (Dovelas y No Bermas)	**BG** (15 cm BG)	**MR2**=40 MPa
S3 (5<CBR<10)	**T2** (1,5x10^6<EALS <5x10^6)	**No D y B** (No Dovelas y Bermas)	**BEC** (15 cm BEC)	**MR3**=42 MPa
S4 (10<CBR<20)	**T3** (5x10^6<EALS <9x10^6)	**No D y No B** (No Dovelas y No Bermas)		**MR4**=45 Mpa
S5 (CBR>20)	**T4** (9x10^6<EALS <17x10^6)			
	T5 (17x10^6<EALS <25x10^6)			
	T6 (25x10^6<EALS <100x10^6)			

Tabla 23– Valores escogidos de los parámetros de diseño

- **Definición Espesor de la losa de Concreto:** Conforme a lo establecido en el manual, se procede a verificar la tabla de diseño correspondiente a la categoría de tránsito, determinando el espesor con base en el tipo de suelo, superficie de soporte y resistencia del concreto así:

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																				
Tránsito T0																				
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1			24	28	23	27	23	27	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2			23	27	22	26	22	26	20	24	20	24	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3			23	26	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			21	24	20	24	20	24	19	22	19	22	18	21	18	21	18	21	18	21
BG	MR1			23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR2			22	25	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR3			21	24	20	24	20	24	29	22	19	22	19	22	19	22	18	21	18	21
	MR4			20	23	19	23	19	23	28	21	18	21	18	21	18	21	17	20	18	20
BEC	MR1			20	23	19	22	19	22	18	21	18	21	18	20	18	20	17	20	17	20
	MR2			19	22	19	21	19	21	17	20	17	20	17	20	17	20	17	19	17	19
	MR3			18	21	18	21	18	21	17	19	17	19	16	19	17	19	16	19	17	19
	MR4			18	20	17	20	18	20	16	19	17	19	16	18	17	18	15	18	17	18

Tabla 24 – Diseño Según Modelo INVIAS Carrera 4

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
Tránsito T2																					
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	25	29	25	29	24	28	24	28	22	26	22	26	22	25	22	25	21	25	22	25
	MR2	24	28	25	28	24	27	24	27	22	25	22	25	21	24	22	24	21	24	22	24
	MR3	24	27	25	27	24	28	26	28	21	24	22	24	20	23	22	23	20	23	22	23
	MR4	22	26	25	26	23	27	26	27	20	23	22	24	19	22	22	23	19	22	22	23
BG	MR1	24	28	24	28	23	27	23	27	22	25	22	25	21	25	22	25	21	24	21	24
	MR2	23	27	23	27	23	26	23	26	21	24	22	24	21	24	22	24	20	23	21	23
	MR3	22	26	23	26	23	27	25	27	20	24	22	24	20	23	22	23	20	23	21	23
	MR4	21	25	23	25	22	26	25	26	19	23	22	23	19	22	22	23	19	22	21	23
BEC	MR1	21	24	21	24	21	24	21	24	19	22	21	22	19	22	20	22	19	21	20	22
	MR2	20	23	21	23	20	23	21	23	19	21	21	22	18	21	20	22	18	20	20	22
	MR3	19	23	21	23	20	23	23	24	18	21	21	22	18	20	20	22	17	20	20	22
	MR4	18	22	21	23	19	22	23	24	17	20	21	22	17	19	20	22	17	19	20	22

Tabla 25 – Diseño Según Modelo INVIAS Carrera 8

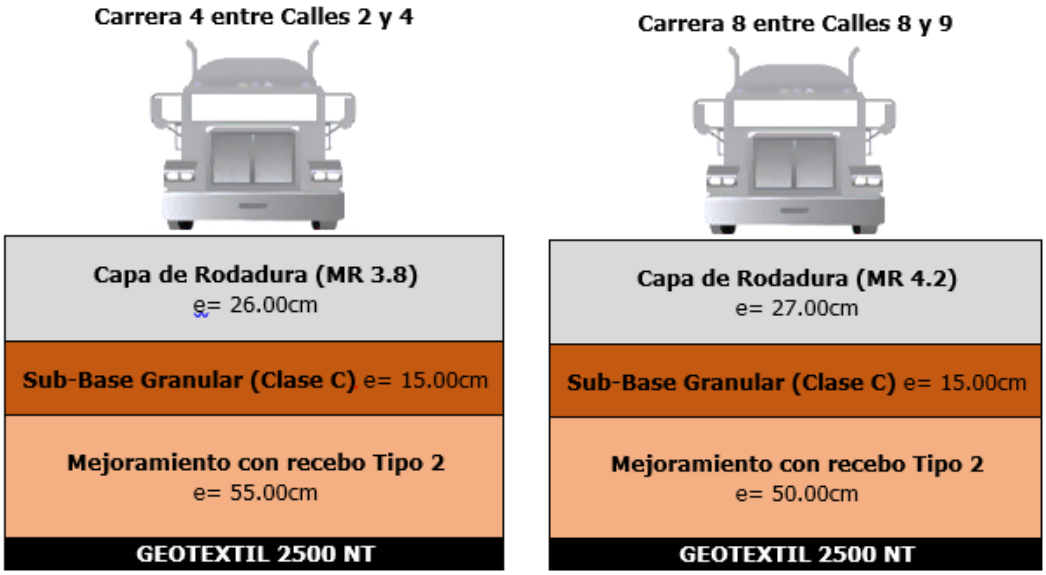


Ilustración 10 – Resultados Diseño Manual INVIAS 2007

Teniendo en cuenta que la normatividad que aplica para el proyecto en mención son las ESPECIFICACIONES GENERALES DE CONSTRUCCION DE CARRETERAS – INVIAS (Versión 2013) se deben analizar las caracteristicas de los diferentes materiales propuestos en el diseño, buscando que se cumplan como mínimo las caracteristicas exigidas en estas.

Dicho análisis requiere que se establezcan de forma inicial parametros como el Nivel de Tránsito al cual corresponde la via en función del Número de Ejes Equivalentes proyectados en el periodo de diseño.

NIVEL DE TRÁNSITO	NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 80 kN EN EL CARRIL DE DISEÑO, N_{80kN}, MILLONES
NT1	$N_{80kN} \leq 0.5$
NT2	$0.5 < N_{80kN} \leq 5.0$
NT3	$N_{80kN} > 5.0$

Tabla 26 – Niveles de Tránsito Según Especificaciones INVIAS 2013 – Art 100.

Definición clase de Base Granular: Teniendo en cuenta el Nivel de Tránsito previamente establecido, el Artículo 330 de las Especificaciones INVIAS-2013 define en su numeral 330.2.1 tres (3) clases de Sub-Base Granular en función de la calidad de los agregados (Clase A, B y C).

CLASE DE SUB-BASE GRANULAR	NIVEL DE TRÁNSITO
Clase C	NT1
Clase B	NT2
Clase A	NT3

Tabla 27 – Clase de Base Granular según el Nivel de Tránsito

Determinación Exigencias de calidad para la Base Granular: Con base en el Nivel de Tránsito de la vía objeto del estudio, se determina que la clase de Base Granular que se debe utilizar según recomendación del INVIAS corresponde a una Base Clase B y C, cuyas exigencias de calidad se presentan a continuación:

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 40 8	 40 8	 35 7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	30	25
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	 - -	 70 75	 90 75
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	 12 18	 12 18	 12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	-	-
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	3	0	0
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10	10	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%)	E-211	2	2	2
Geometría de las Partículas (F)				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35	35	35
Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara - Dos caras	E-227	 50 -	 70 50	 100 70
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	-	35	35
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 330.5.2.2.2); el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión.	E-148	≥ 80	≥ 80	≥ 95

Tabla 28 – Requisitos de los Agregados para Bases Art. 310
(INVIAS 2013)

Teniendo en cuenta lo establecido en el manual se obtiene la siguiente estructura de pavimento.

2.3.3 RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCIÓN

Las especificaciones de materiales para la estructura de pavimento propuesta deben cumplir con lo estipulado en las Especificaciones y Normas Generales de Construcción y Normas de Ensayos Para Materiales de Carreteras, INVIAS 2013. A continuación, se presenta la norma referida para cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento.

Actividad	Especificación
Base Granular, Clase B y C.	Artículo 320-13
Pavimento de Concreto Hidráulico.	Artículo 500-13

Tabla 29 – Especificaciones de Materiales INVIAS NT1 y NT2- 2013

DISEÑO DE JUNTAS PAVIMENTO RÍGIDO

Juntas Longitudinales

Se recomienda emplear barras de acero corrugado de fluencia mínima 4200 kg/cm^2, diámetro de 1/2", espaciamiento cada 1.20m y en longitudes de 0.85m.

Juntas Transversales

A continuación, en las siguientes figuras, se presentan los detalles típicos de la construcción de juntas. Se recomienda emplear barras de acero liso, con los siguientes requisitos mínimos según lo establecido en las normas PCA, para pavimentos de concreto.

Espesor de losa (cm)	Diámetro del pasador (pulg)	Longitud total (cm)	Separación entre centros (cm)
20	1"	35	30

Tabla 30 – Características Juntas Transversales.

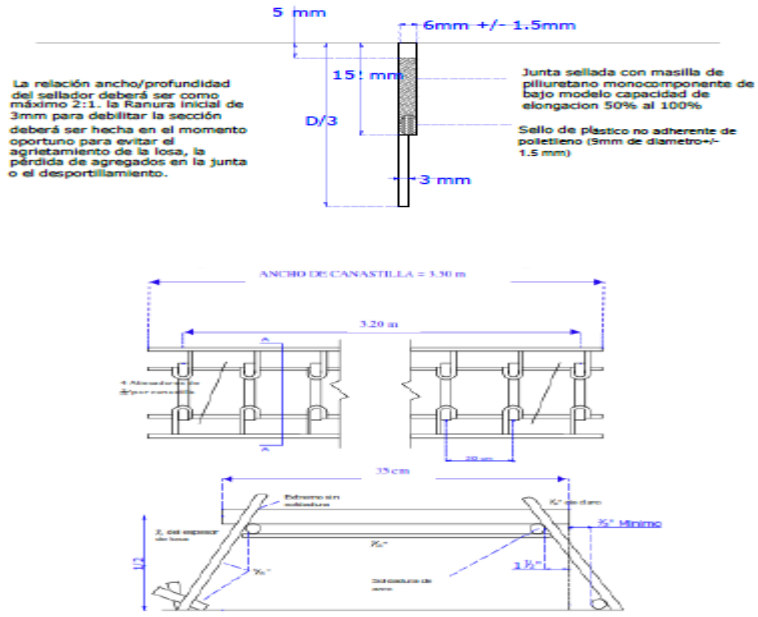


Ilustración 11. Detalle de construcción de juntas y canasta con pasadores de carga

Espaciamiento De Juntas

El concreto hidráulico como superficie de rodadura, se encuentra sujeto a diferentes esfuerzos, entre los cuales se encuentran: cargas de tránsito, contracción y expansión del concreto (el concreto al endurecer ocupa menos volumen que cuando está fresco) y diferencias de temperatura o humedad entre la fibra superior y la inferior, entre otras. Con el fin de contrarrestar estos esfuerzos, no es suficiente el proporcionar un espesor adecuado, sino proyectar juntas longitudinales y transversales que impiden un fisuramiento temprano del concreto, estas juntas deben estar diseñadas técnicamente, mediante el empleo de los siguientes criterios:

- Separación de juntas transversales en función del espesor de la losa:

$$S = (21 \text{ a } 24)\ D$$

Donde,

S : Separación de la junta
D : Espesor del concreto hidráulico
21 : Para valores máximos de fricción entre la subbase y la losa
24 : Para valores normales de fricción entre la subbase y la losa

Según este análisis la separación entre juntas debe ser la siguiente:

Separación (m)	
Mínimo	Máximo
4.20	4.8

Tabla 31 - Separación de losas en función del espesor.

- La relación largo / ancho debe encontrarse entre en un intervalo de 1.00 y 1.30, sin embargo, se recomienda no exceder a 1.2. Según este análisis la separación entre juntas debe ser 3.5 m (ancho de losa igual a 3.00m hasta 3,50m).

Según este análisis la separación entre juntas debe ser el que se muestra en la siguiente tabla. Este es el parámetro adoptado para la separación de juntas recomendado.

SEPARACIÓN (m)
3.00

Tabla 32 - Separación de losas en función de su esbeltez

Recomendaciones de construcción

- Se recomienda reforzar las losas irregulares (geometrías superiores al 8% en su largo y ancho de la losa) con acero de refuerzo corrugado de φ½" cada 25 cm en ambas direcciones, ubicadas a 1/3 del espesor en la fibra superior, como medida de control de autofisuración del concreto. También se recomienda el empleo de este refuerzo en aquellas losas que hacen parte de zonas de paraderos, considerando los efectos de frenado y aceleración de los vehículos.

- La separación entre juntas transversales no debe exceder el criterio del radio relativo de rigidez.

- El proceso constructivo de las juntas transversales reviste enorme cuidado. En primera instancia debe realizarse un primer corte dentro del tiempo oportuno llamado "ventana de corte", de tal manera de realizarlo en el momento justo de forma que ni se haga antes, que el concreto no soporte el peso de los equipos y se deforme, ni después que genere fisuración por retracción del concreto. Esta ventana de corte está sujeta a las condiciones climáticas, velocidad del viento, temperatura del concreto, etc. Es necesario llevar a cabo un tramo de prueba para definir el tiempo de la "ventana de corte" que puede estar entre 6 y 8 horas. Adicionalmente, se debe tener cuidado con la limpieza de la junta, adecuación de la junta y tipo de sello a colocar, factores importantes para garantizar la vida útil del sello.

- Se recomienda hacer control estricto de la superficie o nivelación del material granular con equipo topográfico, antes de instalar el concreto. Lo anterior con el fin de evitar dejar desniveles o depresiones que generen en el concreto esfuerzo de tensión inadmisible para el mismo.

- Se recomienda el empleo de protectores de juntas o sello temporal con el fin de evitar agrietamiento tipo desportillamientos en las juntas que, comúnmente se encuentran en los pavimentos recién construidos



Ilustración 12. Protector de junta.

- Antes de colocar el concreto, se recomienda instalar una capa de arena fina (sin fines estructurales) con el propósito de disminuir la fricción que se genera entre la losa y el material granular.

- Tener cuidado en la fijación de los pasadores transversales de transferencia de carga, de tal manera que, se garantice la nivelación del mismo, para esto podría emplearse una formaleta de madera (reutilizable). Se precisa que este cuidado es de gran importancia, dado las repetidas fallas transversales encontradas en diversos pavimentos recién construidos con pasadores torcidos.

- El comportamiento de una estructura de pavimento ante las solicitudes de carga es función tanto de la calidad de cada uno de los materiales empleados en la construcción, como del sistema constructivo, así como de la metodología de diseño empleada. Sin embargo, es preciso resaltar la importancia en el manejo del drenaje, ya que la saturación de las capas subyacentes a la estructura del pavimento pueden ocasionar saturación de los suelos y generar su colapso; por esta razón es necesario verificar que las medidas adoptadas sean adecuadas, de tal manera que no exista una variación alta en el contenido de humedad, tanto de las capas granulares existentes como de la subrasante.

- Antes de instalar el concreto se recomienda la revisión del Módulo de Reacción K, con el fin de verificar las hipótesis del diseño. Para tal fin se propone realizar ensayos de placa controlada.

- Se recomienda no dar servicio al tráfico hasta que el concreto alcance una resistencia superior al 100% del valor de diseño.

- Se recomienda realizar mantenimiento rutinario y preventivo del pavimento para conservar la estructura hasta el periodo final del pavimento, tales como: sellos de juntas, limpieza, revisión de las obras de drenaje, etc.

3 Limitaciones del Diseño

- ✓ La exploración de campo, ensayos Insitu, ensayos en el Laboratorio e informe están direccionados en la determinación de la Geotecnia vial, con el fin de conocer las propiedades del suelo para el diseño de la nueva estructura de pavimento, por lo tanto, tan solo serán evaluadas estas características.

- ✓ Las proyecciones del tránsito de diseño fueron realizadas con base en conteos realizados en los tramos de vía a intervenir, si esta condición de diseño se ve mayorada por causas externas, se debe evaluar la afectación que esto tendrá sobre el diseño de la estructura de pavimento.

- ✓ En el informe, aunque se mencionen observaciones sobre drenajes existentes, ya que estos afectan las propiedades físico-mecánicas de los materiales, el diseño hidráulico de la vía y recomendaciones no están dentro del alcance de este informe.

- ✓ Con el presente estudio no es posible determinar el peso o carga efectiva por eje, es por esto que las estimaciones se hacen teniendo en cuenta el peso máximo establecido de forma normativa por el Ministerio de Transporte.

- ✓ El presente año (2020) se debe considerar como atípico teniendo en cuenta que la emergencia sanitaria producto del Covid-19 ha afectado el desplazamiento normal de los vehículos, situación que puede afectar directamente el nivel de confiabilidad de las proyecciones realizadas.

- ✓ Pese a que se realizaron aforos vehiculares con una duración de 7 días e intervalos de 12 horas, estos tan solo reflejan la realidad del momento especifico de su ejecución, lo que significa que los resultados obtenidos pueden variar en diferentes épocas del año.

- ✓ A la fecha de realización del presente estudio las vías tienen una orientación del tránsito, por lo que de llegar a cambiarse su sentido de funcionamiento el flujo de vehículos en el periodo de diseño puede variar afectando las estimaciones aquí realizadas.

4 Conclusiones y Recomendaciones

Teniendo en cuenta las características topográficas, de clima y velocidad de la vía a intervenir, se recomienda esta sea pavimentada en pavimento rígido, tomando como referencia los valores obtenidos mediante la metodología AASHTO-93.

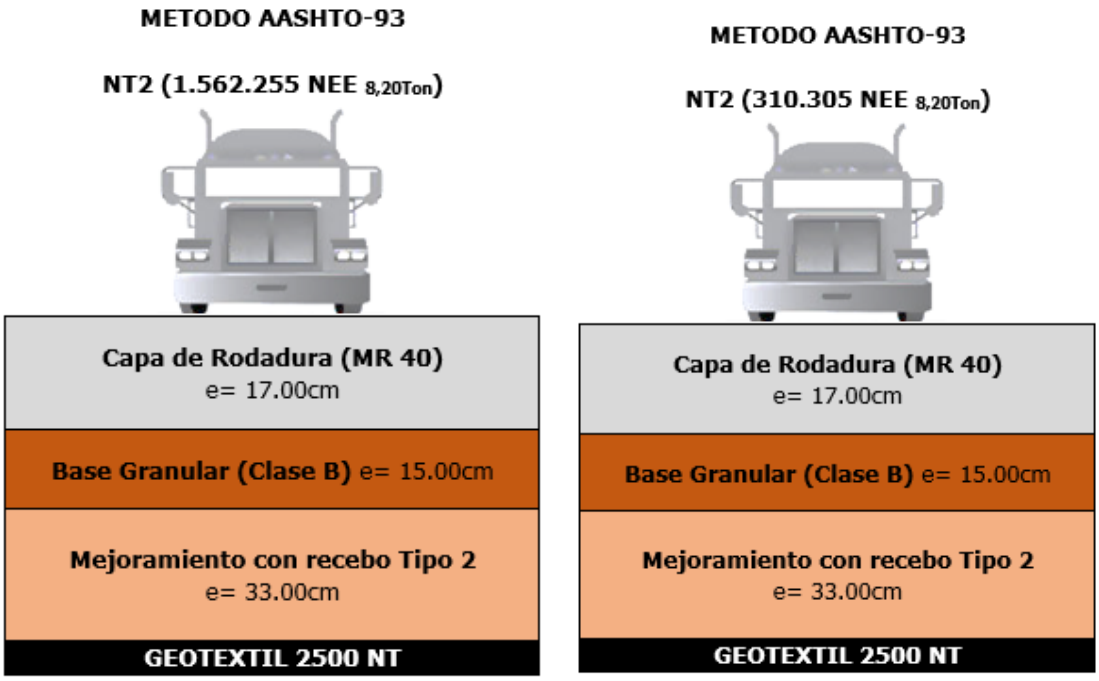


Ilustración 13 – Alternativas de Diseño Seleccionadas

Como se puede evidenciar en los resultados obtenidos el nivel de tránsito de las vías objeto de estudio corresponde a un NT1 y NT2 (según Normatividad INVIAS 2013), razón por la cual se deben considerar las características de los materiales a utilizar en el diseño de la estructura de pavimentos bajo esta consideración.

Es importante realizar aforos vehiculares durante la etapa de operación de las vías objeto de estudio que permitan al Municipio establecer si las proyecciones realizadas son acertadas, o si por el contrario las condiciones han cambiado y se debe ajustar el cronograma de mantenimiento de las mismas.

Se deben tener en cuenta las proyecciones vehiculares y el periodo de diseño establecidos en el presente estudio al momento de realizar variaciones al sentido vehicular, o al asignar

rutas de transporte o de vehículos comerciales que puedan afectar las estimaciones realizadas y por ende disminuir la vida útil de la estructura diseñada con este insumo.

Se deben respetar todas y cada una de las condiciones y parámetros de diseño establecidas en el presente documento, esto con el fin de garantizar la estabilidad de las obras a construir.

En caso de encontrar variaciones entre las condiciones establecidas en los parámetros de diseño y las condiciones del terreno, se debe contactar al consultor para realizar cualquier modificación al diseño, los cambios realizados sin consentimiento por parte del constructor, eximen de responsabilidad al diseñador.

Teniendo en cuenta que la estructura del pavimento en concreto rígido para la vía del Proyecto se diseñó siguiendo las normas técnicas y solicitaciones del método AASHTO-93, la respectiva construcción debe seguir los mismos parámetros, en cuanto a dimensionamiento y tipo de materiales propuestos.

Seguir las pautas descritas en el presente estudio, en cuanto al diseño de espesores de las capas que conforman la estructura de pavimento de concreto rígido, y las especificaciones técnicas de los materiales recomendados para cada una de las capas de la estructura.

Debido a los resultados bajos de CBR menores del 3%, descritos en el estudio de suelos, en el proceso constructivo se deben realizar excavaciones de la subrasante para el mejoramiento del suelo existente, reemplazando suelos de baja resistencia registrados en los perfiles estratigráficos, por material seleccionado recebo tipo 2.

Se recomienda utilizar geotextil no tejido NT-2500 para que cumpla con la función de separación del suelo de subrasante con el material granular propuesto de mejoramiento, evitando la contaminación de este último, ante la factible migración de finos del suelo de subrasante.

El proceso constructivo de la capa de recebo tipo 2, se debe regir por el capítulo 6, artículo 610 de las especificaciones generales de construcción de carreteras de INVIAS, 2013.

El proceso constructivo de las capas de Subbase granular, se debe regir por el capítulo 3, artículo 320 de las especificaciones generales de construcción de carreteras de INVIAS, 2013.

El proceso constructivo de la losa de concreto hidráulico, se debe regir por el capítulo 5, artículo 500 de las especificaciones técnicas de construcción de carreteras de INVIAS, 2013.

Tener en cuenta las apariciones de corrientes de aguas subterráneas durante el proceso de excavación, con el fin de captarlas, controlarlas y evacuarlas mediante la construcción de filtros tipo geodren, en una o ambas márgenes según sea el caso. La localización y el diseño de las obras de sub-drenajes requeridas no hacen parte del presente estudio.

Construir cunetas o sumideros laterales y/o transversales, para la captación, control y drenaje de corrientes de aguas superficiales, para garantizar la durabilidad de la estructura del pavimento.

Estar atentos en el caso que se detecten durante las excavaciones, apariciones de material de relleno producto de suelos orgánicos, recebo o escombros, en zonas donde no se efectuaron perforaciones durante las exploraciones de suelos; en este caso coordinar con el Consultor tal suceso, dado que se puede generar alguna variación del diseño de la estructura de pavimento.

Se solicita en el replanteo del trazado topográfico del perfil del terreno, donde se proyectara la vía objeto del presente estudio, que la pendiente longitudinal de la vía sea mínima del 0,50 %, favorable para la evacuación de las aguas lluvias provenientes por escorrentía superficial, y para evitar el fenómeno de hidroplaneo.

Si en la superficie de apoyo de la estructura de pavimento se evidencian irregularidades, se deben realizar las correcciones necesarias. Para ello, en la preparación de la superficie existente de subrasante, se sugiere el retiro de fallos o colchones, y se debe hacer el respectivo reemplazo mediante mejoramiento de suelo con el material de afirmado seleccionado.

Como medida preventiva para la apertura al tránsito, durante el proceso de preparación de la subrasante y las capas de Subbase y el recebo, se debe prohibir la acción de todo tipo de tránsito, hasta que se haya completado la compactación, con el fin de evitar concentración de ahuellamientos sobre dichas superficies.

En cuanto a la calidad del producto terminado, la capa de Subbase granular una vez construidas, deberán presentar una superficie uniforme, sin agrietamientos, baches, laminaciones, ni segregaciones.

Las capas de subbase y recebo tipo 2 una vez terminadas, se deberán ajustar a las rasantes y a las pendientes establecidas por la topografía del proyecto, sin que existan zonas donde se retenga el agua superficial.

Las capas de la subbase y recebo tipo 2, deben ser compactadas con espesores uniformes, teniendo en cuenta la humedad optima de compactación.

Teniendo en cuenta que se propone el mejoramiento de una capa granular con cemento, esta debe ser diseñada en laboratorio con una muestra del material granular a usar.

Realizar un control permanente durante el proceso constructivo, de los espesores de las capas de recebo y subbase, tal que la estructura coincida con los espesores determinados en este estudio, además aplicar los requisitos técnicos desde la adquisición del material, su acopio, extendida, y en general el proceso constructivo, y control de calidad, que describen los artículos 610 y 320 arriba citados, de las especificaciones generales de construcción de carreteras de INVIAS 2013.

Como garantía del diseño del espesor de la losa de concreto hidráulico, se debe realizar en detalle el control previo, cumplir los requisitos exigidos desde la adquisición o fabricación del concreto hidráulico, la obtención del módulo de rotura propuesto en el presente estudio, el slump, la temperatura de llegada del concreto a obra, el proceso constructivo, el acero en las juntas, el sello de juntas, el curado, y en general su control posterior, descrito en el capítulo 5, artículo 500 de las especificaciones generales de construcción de carreteras de INVIAS 2013.



Andrés Mauricio Castro Murcia
C.C. 14.135.557 de Ibagué
Especialista de Pavimentos
Matricula Profesional: 70202-143548 TLM