OBJETO:

“PAVIMENTACION TRAMO VIAL CARRERA 8H ENTRE CALLE 160 Y 161 BARRIO PROTECHO SALADO COMUNA 7 MUNICIPIO DE IBAGUE - TOLIMA"

INFORME DE DISEÑO ESTRUCTURAL PARA LA CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL BARRRIO PROTECHO SALADO COMUNA 7 MUNICIPIO DE IBAGUE– TOLIMA.

DEPARTAMENTO DEL TOLIMA

JUNIO-2025

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 3
2. OBJETIVOS 4
2.1 OBJETIVO GENERAL 4
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 4
3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 5
4. ESTUDIO DE SUELOS 7
5. ESTUDIO DE TRANSITO 8
6. METODOLOGIA AASTHO 93 PARA EL DISEÑO TRAMO VIAL DEL BARRIO PROTECHO SALADO MUNICIPIO DE IBAGUE. 11
6.1 MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE 11
6.2 INSTALACION GEOTEXTIL 12
6.3 DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE METODO AASHTO - 93 13
6.3.2CALCULO MODULOS RESILIENTES 15
6.3.3 CALCULO NUMERO ESTRCUTURAL 21
6.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO USANDO LA HOJA DE CALCULO CON LA METODOLOGÍA AASTHO 93 24
4.5 PERFIL ESTRUCTURA DE PAVIMENTO METODOLOGIA AASTHO 93 26
6.6 CHEQUEO ESTRUCTURA MEDIANTE METODO RACIONAL 27
6.7 LECTURA DE RESULTADOS INICIALES 29
6.8 CHEQUEO DE RESULTADOS MEDIANTE METODO INTERACTIVO 29
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 31

1. INTRODUCCIÓN

El presente diseño se elabora considerando los parámetros y condiciones establecidas, por la exploración geotécnica y los respectivos ensayos de laboratorio de suelos llevado a cabo por INGEOTOL S.A.S el cual sirve de soporte teniendo en cuenta los datos obtenidos en campo y procesados en el laboratorio, y por el estudio de tránsito mediante fuentes de información secundaria ya que no se puede realizar un aforo real por las condiciones actuales de la vía como se sustenta en el ítem 5.

El objeto del presente informe es la elaboración del proyecto denominado "PAVIMENTACION TRAMO VIAL CARRERA 8H ENTRE CALLE 160 Y 161 BARRIO PROTECHO SALADO COMUNA 7 MUNICIPIO DE IBAGUE - TOLIMA " Presentando el diseño de la estructura de pavimento para la vía que corresponde al municipio de Ibagué – Tolima con el fin de determinar el diseño óptimo para la construcción a realizar.

La metodología empleada para el diseño estructural será AASTHO – 93 y teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma invias (Especificaciones invias 2022).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Diseñar la estructura de pavimento flexible del tramo donde se mejorará la vía en el municipio de Ibagué, Tolima, que conforma el proyecto “PAVIMENTACION TRAMO VIAL CARRERA 8H ENTRE CALLE 160 Y 161 BARRIO PROTECHO SALADO COMUNA 7 MUNICIPIO DE IBAGUE - TOLIMA "

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Recolección y análisis de la información obtenida en los estudios de suelos, estudio de tránsito, condiciones climáticas, materiales disponibles y demás, realizados en los lugares de ejecución del proyecto en mención.
- ✓ Seleccionar el espesor de diseño según el tipo de suelo, CBR y estudio de tránsito mediante la metodología AASTHO – 93 y teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma invias (Especificaciones invias 2022).
- ✓ Determinar y evaluar los materiales de la estructura de pavimento flexible que garanticen la resistencia y Durabilidad del pavimento.

3. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto objeto del presente estudio se encuentra localizado en la zona urbana del municipio de Ibagué (Tolima). A continuación, se presenta el tramo vial a pavimentar CARRERA 8H ENTRE CALLE 160 Y 161 BARRIO PROTECHO SALADO COMUNA 7 MUNICIPIO DE IBAGUE - TOLIMA "

Imagen No 1 *Localización general departamento del Tolima Fuente: Google*



Imagen No 2 *Localización general municipio Ibagué Fuente: Google*



Imagen No 3 *Ubicación tramo vial Fuente: Google Earth*



4. ESTUDIO DE SUELOS

El presente estudio de suelos es suministrado por la secretaría de infraestructura municipal de Ibagué Tolima y ejecutado por INGEOTOL S.A.S.

INGEOTOL S.A.S

RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR INALTERADO) INV E 148 - 13

F - EN - 12 - V01

PAGINA 1 DE 1

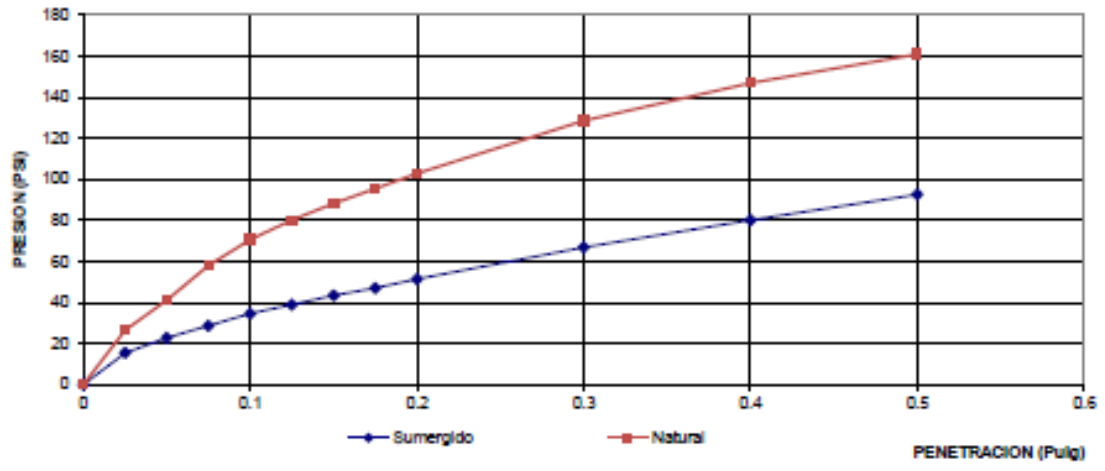
PROYECTO : CBR ALCALDIA DE IBAGUÉ
SOLICITANTE: SOCIEDAD TOLIMENSE DE INGENIEROS
DESCRIPCIÓN : CBR 10
DIRECCION: CARRERA 8H ENTRE CALLE 160 Y 161 - PROTECHO SALADO

FECHA DE RECEPCIÓN : 24/05/2025
FECHA DE EJECUCIÓN : 30/05/2025

W PENETRACION (%)	27.40%
EXPANSION (%)	2.712%

PENETRACION	INALTERADO			SUMERGIDO		
	CARGA (LB)	PRESION (PSI)	CBR (%)	CARGA (LB)	PRESION (PSI)	CBR (%)
0	0.000	0		0.000	0	
0.025	80.65	26.4		47.05	15.4	
0.05	125.46	41.1		69.45	22.8	
0.075	176.99	58.0		87.37	28.6	
0.1	215.07	**70.5**	***7.05%***	105.30	**34.5**	***3.45%***
0.125	244.20	80.1		118.74	38.9	
0.15	268.84	88.1		132.18	43.3	
0.175	291.24	95.5		143.38	47.0	
0.2	313.65	**102.8**	***6.86%***	156.82	**51.4**	***3.43%***
0.3	392.06	128.5		203.87	66.8	
0.4	448.07	146.9		244.20	80.1	
0.5	490.63	160.9		282.28	92.6	

Clasificación Suelo	
Grava (%)	0.7%
Arena (%)	39.1%
P 200 (%)	60.2%
Limite Liquido	47.62%
Limite Plastico	29.35%
Indice de Plasticidad	18.27%
Humedad Nat.	25.93%
USCS	ML
AASHTO	A - 7 - 6



Maria Lucia Ramirez B.

Hector García M.

Observaciones: -

- **Perfil estratigráfico del suelo**

REPORTE DE CAMPO - APIQUES PARA PAVIMENTOS — F - IN - 03 — PAGINA 1 DE 1

PROYECTO: CBR ALCALDIA DE IBAGUE
SOLICITANTE: SOCIEDAD TOLIMENSE DE INGENIEROS — FECHA DE ELABORACION: 24/05/2025
ELABORO : ING. PAULA ANDREA CASTELLANOS SOTELO — CONDICIÓN CLIMATICA: Soleado
DIRECCION: CARRERA 8H ENTRE CALLE 160 Y 161 - PROTECHO SALADO

REGISTRO FOTOGRÁFICO	PERFIL ESTRATIGRÁFICO		CBR	
	ESPESOR	DESCRIPCIÓN	0.1"	0.2"
	0.00 - 0.27	Material granular no clasificado de TM=4" de color gris con matriz de suelo limo arenoso de humedad baja.		
	0.27 - 1.50 m	Suelo limo arcilloso de color gris oscuro con trazas naranjas y gris claro, presenta humedad baja-media y plasticidad media-alta	3.45	3.43
		Pasa No. 4 = 99.3% — Limite Liquido = 47.62		
		Pasa No. 200 =60.2% — Indice de Plasticidad = 18.27		
		AASHTO = A - 7 - 6 — USCS = ML		

Observaciones:

5. ESTUDIO DE TRANSITO

Debido a que la vía objeto de diseño se encuentra en condiciones de deterioro avanzado, con pérdida total de su funcionalidad estructural y sin circulación vehicular activa, no fue posible realizar un aforo vehicular representativo ni establecer un tránsito real mediante medición directa. En consecuencia, se adopta un valor de tránsito estimado con base en el tránsito característico de las rutas principales de buses urbanos cercanas, con el objetivo de garantizar una solución estructural conservadora y sostenible en el tiempo.

Esta decisión se sustenta en lo dispuesto en el Manual de Diseño de Pavimentos para la Red Vial Nacional de INVÍAS, edición 2022, el cual, en su Sección 5.1.3 – Tránsito en ausencia de aforo, establece lo siguiente:

Cuando no se cuenta con aforos de tránsito, se podrán utilizar otras fuentes de información secundaria, tales como estudios previos, proyecciones de tránsito, categorización funcional de la vía o utilización de datos de vías de características

similares. Se recomienda, en estos casos, adoptar un enfoque conservador que garantice la capacidad estructural del pavimento ante escenarios futuros."

En concordancia con lo anterior, y considerando el entorno urbano y la posible futura integración de esta vía a recorridos del sistema de transporte público, se adopta el tránsito correspondiente a buses urbanos como base para el cálculo de los ejes equivalentes (W18). Esta medida permite establecer un diseño acorde con los principios de seguridad vial, durabilidad y sostenibilidad estructural.

SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA

MEJORAMIENTO Y REHABILATACION DE TRAMOS PRIORIZADOS DE LA MALLA VIAL DEL MUNICIPIO DE IBAGUE

CALCULO DEL TRANSITO DE DISEÑO

DIRECCION: CARRERA 8H ENTRE CLL 160 Y 161 | COMUNA: 7 | BARRIO: PROTECHO SALADO

RUTAS DE BUSES;

AFORO RUTAS BUSETAS	
DE LUNES A VIERNES	90
SABADO Y DOMINGO	48

C2P	CAMIONES REPARTIDORES DE ALIMENTOS
C2G	CAMIONES REPARTIDORES DE BEBIDAS Y VOLQUETAS
C3	CAMION MIXER CAMION RECOGEDOR DE BASURA

1. ESTIMACIÓN DE PROBABILIDAD DE TRANSITO ATÍPICO

C2p	min	
	medi	X
	max	

C2-S2	min	
	medi	
	max	

C2g	min	
	medi	X
	max	

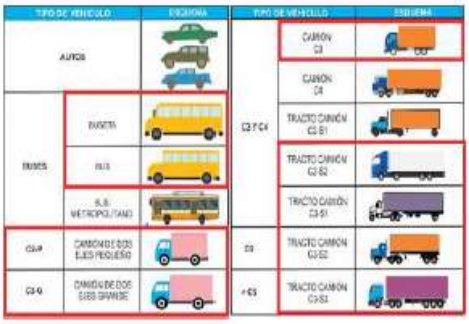
c3 -S1	min	
	medi	
	max	

C3	min	
	medi	X
	max	

c3 -S2	min	
	medi	
	max	

C2-S1	min	X
	medi	
	max	

C3-S3	min	
	medi	
	max	



2. CACULO AFORO VEHICULAR DIARIO 2024

TIPO VEHICULO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	PROMEDIO	PORCENTAJE
BUSETAS	78	78	78	78	78	43	43	69	74.2%
BUS	12	12	12	12	12	5	5	10	10.8%
C2P	3	3	6	6	6	9		5	5.4%
C2G	7	2	5	9	7	4		5	5.4%
C3	2	2	2	2	2	2		2	2.2%
C2-S1	2	2	2	2	2	2		2	2.2%
C2-S2									0.0%
C3-S1									0.0%
C3-S2									0.0%
C3-S3									0.0%
TOTAL	104	99	105	109	107	65	48	93	100.0%

3. PROYECCION ANUAL DEL TPD

N = UN AÑO	1										
AÑO	TASA DE CRECIMIENTO	C2P Y BUSETAS	C2G Y BUSES	C3	C2-S1	C2-S2	C3-S1	C3-S2	C3-S3	TPD	TPD ACUMULADO
2021	2.40%	74.00	15.00	2.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.00	93.00
2022	2.50%	74.88	15.18	2.02	2.02	0.00	0.00	0.00	0.00	94.11	187.11
2023	2.20%	75.82	15.37	2.05	2.05	0.00	0.00	0.00	0.00	95.28	282.39
2024	1.90%	76.65	15.54	2.07	2.07	0.00	0.00	0.00	0.00	96.33	378.72
2025	1.60%	77.37	15.68	2.09	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00	97.24	475.96
2026	1.40%	77.99	15.81	2.11	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00	98.02	573.98
2027	1.20%	78.54	15.92	2.12	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	98.70	672.68
2028	1.00%	79.01	16.01	2.14	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00	99.29	771.97
2029	0.90%	79.40	16.09	2.15	2.15	0.00	0.00	0.00	0.00	99.79	871.76
2030	0.70%	79.76	16.17	2.16	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00	100.24	971.99
2031	0.60%	80.04	16.22	2.16	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00	100.59	1072.58
2032	0.50%	80.28	16.27	2.17	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00	100.89	1173.46
2033	0.40%	80.48	16.31	2.18	2.18	0.00	0.00	0.00	0.00	101.14	1274.60
2034	0.40%	80.64	16.35	2.18	2.18	0.00	0.00	0.00	0.00	101.34	1375.94
2035	0.40%	80.80	16.38	2.18	2.18	0.00	0.00	0.00	0.00	101.54	1477.49
TOTAL		1175.63	238.30	31.77	31.77	0.00	0.00	0.00	0.00	**1477.49**	

4. PROYECCION DE ACUERDO AL TIPO DE VEHICULO PESADO

BUSETA Y C2P	BUS Y C2G	C3	C2-S1	C2-S2	C3-S1	C3-S2	C3-S3
74.88	15.18	2.02	2.02	0.00	0.00	0.00	0.00
75.82	15.37	2.05	2.05	0.00	0.00	0.00	0.00
76.65	15.54	2.07	2.07	0.00	0.00	0.00	0.00
77.37	15.68	2.09	2.09	0.00	0.00	0.00	0.00
77.99	15.81	2.11	2.11	0.00	0.00	0.00	0.00
78.54	15.92	2.12	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00
79.01	16.01	2.14	2.14	0.00	0.00	0.00	0.00
79.40	16.09	2.15	2.15	0.00	0.00	0.00	0.00
79.76	16.17	2.16	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00
80.04	16.22	2.16	2.16	0.00	0.00	0.00	0.00
80.28	16.27	2.17	2.17	0.00	0.00	0.00	0.00
80.48	16.31	2.18	2.18	0.00	0.00	0.00	0.00
80.64	16.35	2.18	2.18	0.00	0.00	0.00	0.00
80.80	16.38	2.18	2.18	0.00	0.00	0.00	0.00
80.96	16.41	2.19	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00

TRANSITO PROMEDIO ANUAL PROYECTADO AÑO 15			
TIPO VEHICULO	TPD ACUMULADO	DIAS AÑO	NUMERO VEH AÑO 15
C2 P Y BUSETAS	1175.63	365	429106.62
BUS Y C2G	238.30	365	86981.07
C3	31.77	365	11597.48
C2-S1	31.77	365	11597.48
C2-S2	0.00	365	0.00
C3-S1	0.00	365	0.00
C3-S2	0.00	365	0.00
C3-S3	0.00	365	0.00

CALCULO EJES EQUIVALENTES EN EL PERIODO DE DISEÑO			
TIPO VEHICULO	NUMERO VEH AÑO 15	FACTOR DAÑO	NUMERO EJES EQUIVALENTES PERIODO DE DISEÑO
C2 P Y BUSETAS	429106.6	0.12	51492.79
BUS Y C2G	86981.07	0.50	43490.54
C3	11597.48	4.82	55899.84
C2-S1	11597.48	3.37	39083.49
C2-S2	0.00	3.42	0.00
C3-S1	0.00	2.22	0.00
C3-S2	0.00	4.40	0.00
C3-S3	0.00	4.72	0.00
TOTAL EAL			189,966.66

4. CALCULO NUMERO DE EJES EQUIVALENTES DE 8.2 TN

W18= EAL*DD*DC

W18= 94,984.00

Tabla 15 - Factor de distribución por dirección

NÚMERO DE CARRILES EN AMBAS DIRECCIONES	DD (% DE CAMIONES EN EL CARRIL DE DISEÑO)
2	0.5
4	45 (35-48)
6 o más	40 (25-48)

Tabla 16 - Factor distribución por carril

NÚMERO DE CARRILES EN UNA SOLA DIRECCIONES	DC (% ESAL EN EL CARRIL DE DISEÑO)
1	1
2	0.80 – 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 – 0.75

6. METODOLOGIA AASTHO 93 PARA EL DISEÑO TRAMO VIAL DEL BARRIO PROTECHO SALADO MUNICIPIO DE IBAGUE.

La metodología para desarrollar en el presente diseño será AASTHO – 93 y teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma invias (Especificaciones invias 2022), abordando los aspectos que se consideran más relevantes sobre el mismo. Encontramos entonces varios parámetros de diseño para dar una óptima y económica estructura de pavimento, los parámetros de diseños son:

- ✓ nivel de tránsito- estudio de tránsito (mediante fuentes de información secundaria ya que no se puede realizar un aforo real por las condiciones actuales de la vía como se sustenta en el ítem 5)
- ✓ análisis del estudio de suelos (suministrado por la secretaría de infraestructura municipal de Ibagué Tolima) y ejecutado por INGEOTOL S.A.S.
- ✓ parámetros de diseño
- ✓ cálculos módulos resilientes de las capas de la estructura
- ✓ cálculos número estructural requerido de las capas de la estructura
- ✓ chequeo de resultados mediante método racional de los comportamientos por fatiga y ahuellamiento

6.1 MEJORAMIENTO DE SUBRASANTE

MEJORAMIENTO SUBRASANTE

El criterio para mejoramiento de la subrasante se implementará si el CBR es menor a 3%; para este caso **NO APLICA**

6.2 INSTALACION GEOTEXTIL

INSTALACION GEOTEXTIL

El criterio para instalación de geotextil se implementaría si:

- CBR < 1 %: suelo extremadamente débil → requiere soluciones especiales, no solo geotextil.
- 1 % ≤ CBR < 3 %: geotextil como separación entre subrasante y rajón; así se implemente el mejoramiento con rajón se debe implementar para evitar que las partículas finas del suelo natural se mezclen con el material del rajón.
- ≥ 3 % CBR < 5 %: geotextil como separación entre subrasante y capas superiores.

Las siguientes consideraciones están ajustadas a la recomendación norma INVIAS (Especificaciones invias 2022) y teniendo en cuenta el tipo de suelo existente, evitando la separación entre el suelo blando y el rajón, migración de finos, conservar el mejoramiento efectivo del mejoramiento, bombeo entre otros.

Para este caso de diseño (CBR 3,43) y teniendo en cuenta el criterio anteriormente mencionado (≥ 3 % CBR < 5 %: geotextil como separación entre subrasante y capas superiores. **APLICA** la implementación de geotextil.

El geotextil no tejido sugerido es **NT2500 O SIMILIAR** para la implementación en la separación de subrasantes cumple según el numeral 520-14 de las especificaciones generales de construcción de carreteras INVIAS (2022).

6.3 DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE METODO AASHTO - 93

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE MÉTODO AASHTO - 93

El desarrollo de la metodología de diseño AASHTO 93 implementa parámetros de confiabilidad, índice de servicio, error normal combinado y desviación estándar; a continuación, se relacionan los valores de los parámetros de diseños.

6.3.1 PARAMETROS DE DISEÑO

- **NIVEL DE CONFIABILIDAD R (%):**

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad *R* (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85.0 – 99.9	80.0 – 99.9
Arterias principales	80.0 – 99.9	75.0 – 95.0
Colectoras	80.0 – 95.0	75.0 – 95.0
Locales	50.0 – 80.0	50.0 – 80.0

R (%)	50	70	75	80	85	90	92	94	95	98	99.99
Zr	0.000	-0.524	-0.674	-0.841	-1.037	-1.282	-1.405	-1.555	-1.645	-2.054	-3.750

- **ERROR NORMAL COMBINADO (So):**

Proyecto de pavimento	S_0	
	Flexible	Rígido
	0.40 – 0.50	0.30 – 0.40
Construcción nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.50	0.40

➢ SERVICIABILIDAD:

$$\Delta PSI = P_0 - P_f$$

Donde:

ΔPSI: Índice de servicio.

P_0: Serviciabilidad inicial.

P_f: Serviciabilidad final.

Tipo de vía	Serviciabilidad final
Autopista	2.5 – 3.0
Carreteras	2.0 – 2.5
Zonas industriales	
Pavimento urbano industrial	1.5 – 2.0
Pavimento urbano secundario	1.5 – 2.0

➢ COEFICIENTE DE DRENAJE:

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	El agua no evacúa

Características del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos del 1%	1 – 5%	5 – 25%	Mas del 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy malo	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Valores de m para corregir los coeficientes estructurales de bases y sub-bases granulares

6.3.2CALCULO MODULOS RESILIENTES

➢ CALCULO MODULO RESILIENTE DE LA SUBRASANTE:

MR: 1500 * CBR ⟶ ECUACIÓN GUÍA AASHTO

MR: 1500 * 5.04

MR: 7560.89 PSI

➢ CALCULO MODULO RESILIENTE Y COEFICIENTE ESTRUCTURAL (a3) DE LA SUBBASE GRANULAR:

Teniendo en cuenta que se definen tres clases de subbase granular en función de la calidad de los agregados (clases A, B Y C) como se indica en el numeral 320.2.2. (Norma INVIAS, Especificaciones invias 2022) se debe de usar el tipo de subbase granular como se indica en la tabla 320-1 (Norma INVIAS, Especificaciones invias 2022) en función del nivel de tránsito del proyecto

Tabla 320 — 1. Uso típico de las diferentes clases de subbase granular

Clase de subbase granular	Nivel de tránsito
Clase A	NT3
Clase B	NT2
Clase C	NT1

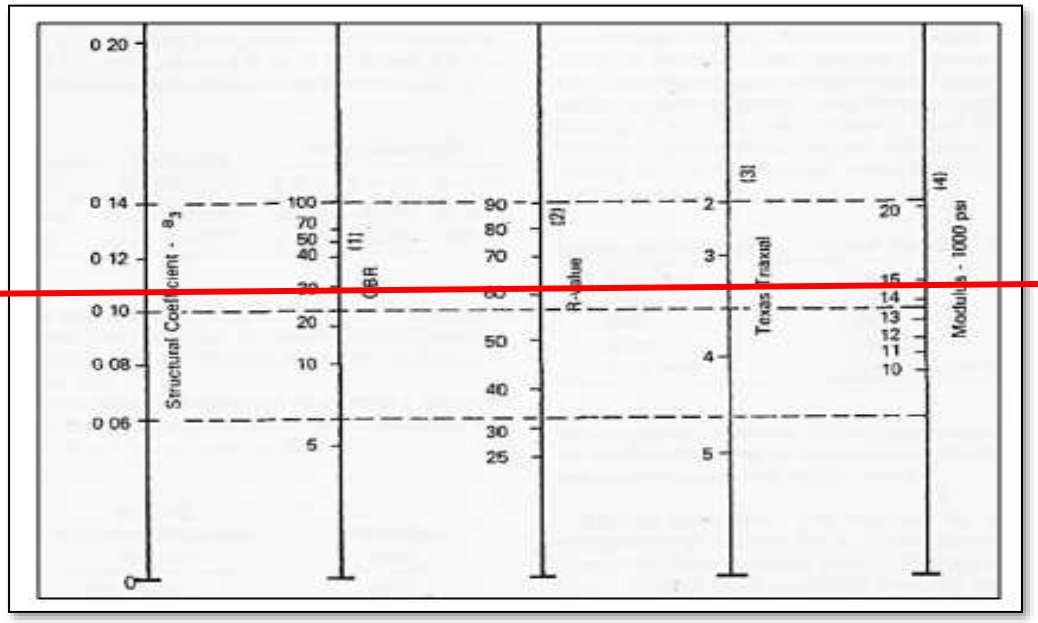
Fuente. Norma INVIAS, Especificaciones invias 2022).

Teniendo en cuenta que la norma indica según el nivel de tránsito una subbase granular clase C en campo se debe garantizar por lo menos un CBR al 30 %; teniendo en cuenta el 30% trazamos la línea en el nomograma para obtener el módulo resiliente y el coeficiente estructural.

Tabla 320 — 2. Requisitos de los agregados para subbases granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Subbase granular		
		Clase A	Clase B	Clase C
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometría A), máximo (%): - 500 revoluciones	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	30	35	-
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota): - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%).	E-125	25	25	25
Índice de Plasticidad, máximo (%).	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznables, máximo (%).	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días (4 d) de inmersión, mínimo.	E-148	40	30	30

Fuente. Norma INVIAS, Especificaciones invias 2022).



Fuente. AASHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

MR: 14800 PSI

a3: 0.227*log (MR BG) -0.839
a3: 0.227*log (14000) -0.839

a3 : 0.108

➢ CALCULO MODULO RESILIENTE Y COEFICIENTE ESTRUCTURAL (a2) DE LA BASE GRANULAR:

Teniendo en cuenta que se definen tres clases de subbase granular en función de la calidad de los agregados (clases A, B Y C) como se indica en el numeral 320.2.2. (Norma INVIAS, Especificaciones invias 2022) se debe de usar el tipo de subbase granular como se indica en la tabla 320-1 (Norma INVIAS, Especificaciones invias 2022) en función del nivel de tránsito del proyecto.

Tabla 330 — 1. Uso típico de las diferentes clases de base granular

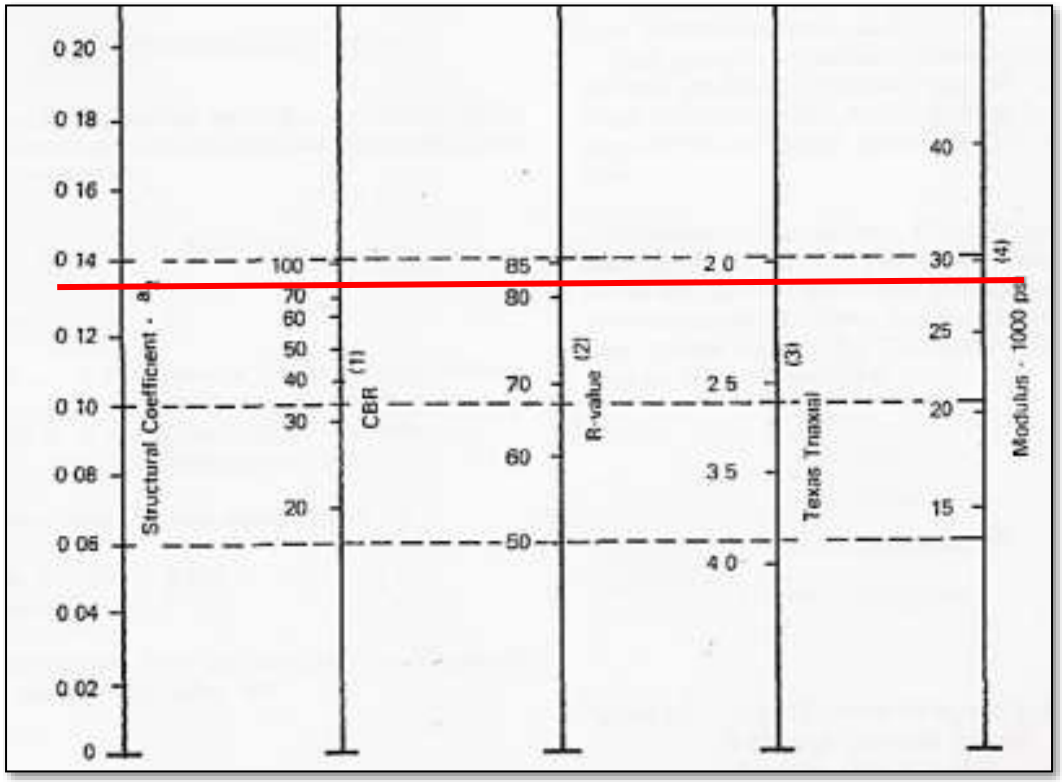
Clase de base granular	Nivel de tránsito
Clase A	NT3
Clase B	NT2
Clase C	NT1

Fuente. Norma INVIAS, Especificaciones invias 2022).

Teniendo en cuenta que la norma indica según el nivel de tránsito una base granular clase C en campo se debe garantizar por lo menos un CBR al 80 %; teniendo en cuenta el 80% trazamos la línea en el nomograma para obtener el módulo resiliente y el coeficiente estructural.

Tabla 330 — 2. Requisitos de los agregados para bases granulares

Característica	Norma de ensayo INV	Base granular		
		Clase A	Clase B	Clase C
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles (Granulometria A), máximo (%): - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	 35 7	 40 8	 40 8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%).	E-238	25	30	-
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos: - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	 90 75	 70 75	 - -
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). (Nota 1): - 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	0	0	3
Equivalente de arena, mínimo (%).	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 2).	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 (%). (Nota 3): - Una cara - Dos caras	E-227	 90 85	 70 50	 50 -
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%).	E-239	35	35	-
Resistencia de material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 330.5.2.2.2); el CBR se debe medir sobre muestras sometidas previamente a cuatro días (4 d) de inmersión.	E-148	≥ 95	≥ 80	≥ 80



Fuente. AASHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

MR: 28800 PSI

a2: 0.249*log (MR BG) -0.977

a2: 0.249*log (28800) -0.977

a2 : 0.133

➢ CALCULO MODULO RESILIENTE DE LA MEZCLA ASFÁLTICA:

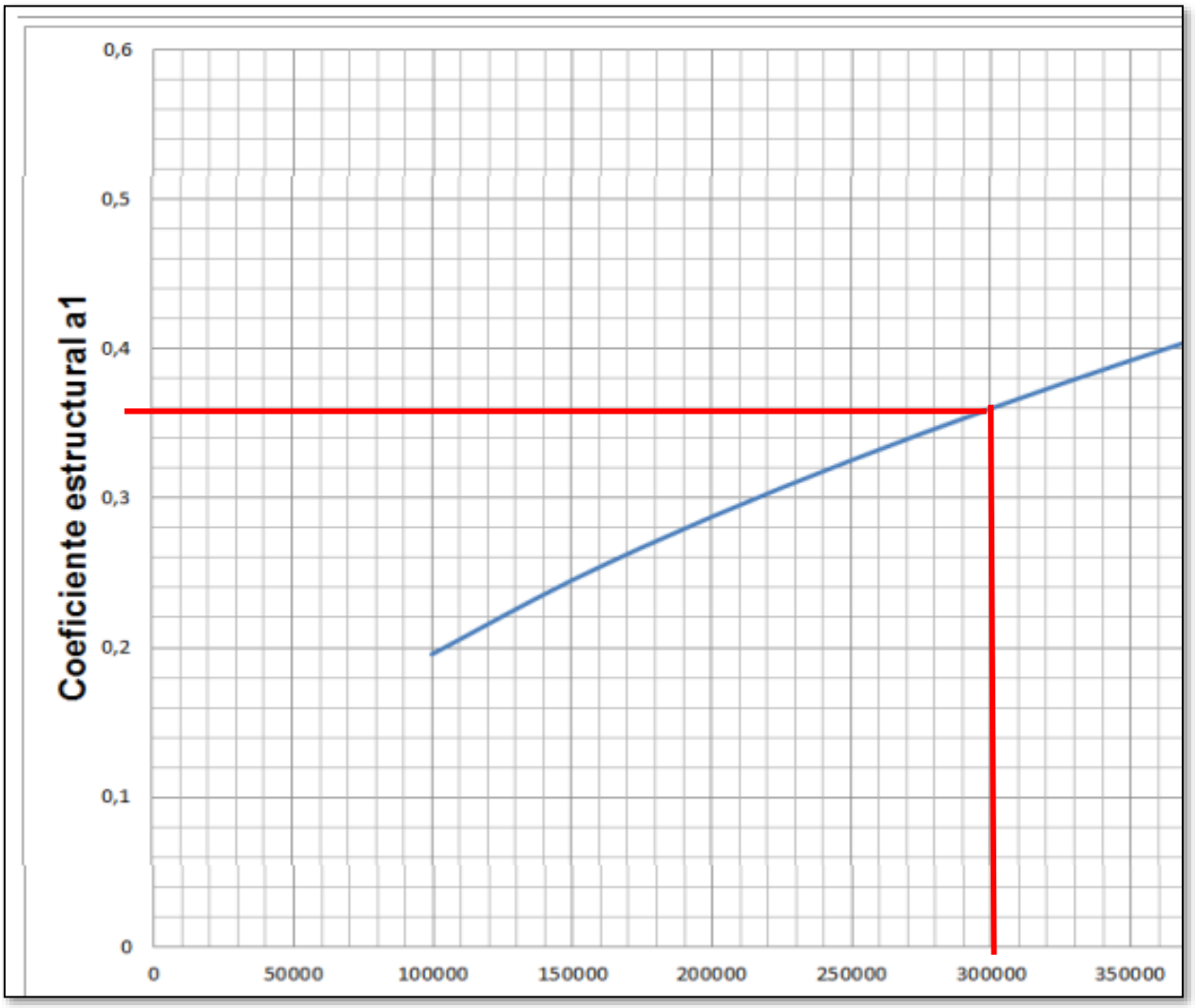
En la capa asfáltica el coeficiente estructural depende del módulo resiliente de la mezcla asfáltica y este módulo resiliente depende de la frecuencia de carga relacionada con la velocidad operación de los vehículos y la temperatura a la cual está la mezcla en la que se debe tener en cuenta la temperatura del aire en la zona donde se valla a realizar la pavimentación por lo tanto, antes de tener el coeficiente estructural de la capa asfáltica se debe conocer la velocidad de operación de los vehículos pesados en km/hora, dato que se determina en el diseño geométrico de la vía, y se debe tener la serie de las

temperaturas promedio en la zona donde se valla a realizar el diseño para la estructura de pavimento.

En el diseño de la carpeta asfáltica para la vía del proyecto se propone una mezcla asfáltica MDC-19 con un Mr = 300000 psi, este valor se asume para el diseño de la estructura y se debe tener en cuenta al momento de aplicar la mezcla asfáltica en campo.

MR: 300000 PSI

- Gráfico para determinar el coeficiente estructural a1 de la mezcla asfáltica.



Fuente. AASHTO Guide for designing of pavement structures 1993.

a1 : 0.36

6.3.3 CALCULO NUMERO ESTRCUTURAL

➢ CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO – CARPETA ASFÁLTICA

- Se tiene en cuenta el MR de la base granular que es su capa de apoyo

$$\log(W_{18}) = Z_r \times S_0 + 9.36 \times \log(SN_i + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.19}}\right)}\right] + 2.32 \times \log(M_r) - 8.07$$

Donde:

W_{18}:	Número de aplicaciones de ejes equivalentes durante el periodo de diseño.
Z_r:	Parámetro estadístico asociado a la incertidumbre del índice de servicio.
S_0:	Desviación estándar total de la distribución normal de errores en variables de diseño.
SN_i:	Número estructural de la capa *i*.
ΔPSI:	Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.
Mr:	Módulo resiliente, en psi.

➢ CALCULO ESPESOR – CARPETA ASFÁLTICA

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1}$$

Donde
h1: espesor capa asfáltica en pulgadas.
SN1: número estructural de la capa del asfalto.
a1: coeficiente estructural de la capa asfáltica.

➢ CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO – BASE GRANULAR

- Se tiene en cuenta el MR de la subbase granular que es su capa de apoyo.

$$\log(W_{18}) = Z_r \times S_0 + 9.36 \times \log(SN_i + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.19}}\right)}\right] + 2.32 \times \log(M_r) - 8.07$$

Donde:

W_{18}:	Número de aplicaciones de ejes equivalentes durante el periodo de diseño.
Z_r:	Parámetro estadístico asociado a la incertidumbre del índice de servicio.
S_0:	Desviación estándar total de la distribución normal de errores en variables de diseño.
SN_i:	Número estructural de la capa *i*.
ΔPSI:	Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.
Mr:	Módulo resiliente, en psi.

➢ CALCULO ESPESOR – BASE GRANULAR

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 \cdot m_2}$$

Donde
h2: Espesor de la base granular en pulgadas.
SN2: Número estructural de la base granular.
a2: Coeficiente estructural de la base granular.
m2: Coeficiente de drenaje de la base granular.

➢ CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO – SUB-BASE GRANULAR

- Se tiene en cuenta el MR de la subrasante mejorada que es su capa de apoyo

$$\log(W_{18}) = Z_r \times S_0 + 9.36 \times \log(SN_i + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.19}}\right)}\right] + 2.32 \times \log(M_r) - 8.07$$

Donde:

W_{18}:	Número de aplicaciones de ejes equivalentes durante el periodo de diseño.
Z_r:	Parámetro estadístico asociado a la incertidumbre del índice de servicio.
S_0:	Desviación estándar total de la distribución normal de errores en variables de diseño.
SN_i:	Número estructural de la capa *i*.
ΔPSI:	Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.
Mr:	Módulo resiliente, en psi.

➢ CALCULO ESPESOR – SUB-BASE GRANULAR

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2^*}{a_3 \cdot m_3}$$

Donde
h3: espesor de la subbase granular en pulgadas.
SN3: número estructural de la subbase granular.
a3: coeficiente estructural de la subbase granular.
m3: coeficiente de drenaje de la subbase granular.

6.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO USANDO LA HOJA DE CALCULO CON LA METODOLOGÍA AASTHO 93

➢ DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO USANDO LA HOJA DE CALCULO CON LA METODOLOGÍA AASTHO 93 Y TENIENDO EN CUENTA LOS PARÁMETROS ANTERIORMENTE JUSTIFICADOS.

- Se ingresa los datos obtenidos mediante las tablas de la metodología de diseño propuesta.

DATOS DE INGRESO		
Transito	W18	94984
Confiabilidad	R%	80
Desviación	Zr [-]	-0,841
Error estándar	So[-]	0,45
Índice de servicialidad final	Pf[-]	2
Índice de servicialidad		2,2
CBR	%	3,43

- Se ingresa los datos obtenidos en los despejes de las fórmulas del método para hallar los módulos resilientes de todas las capas y de igual forma los coeficientes estructurales de las mismas

Modulo resiliente de la subrasante		5145,00
Modulo resiliente de la subbase		14800
Modulo resiliente de la base		28800
Modulo resiliente de la carpeta asfáltica		300000
Coeficiente de drenaje base granular		0,8
Coeficiente de drenaje subbase granular		0,8

Coeficiente estructural SUB-BASE	**(a3)**	0,108
Coeficiente estructural BASE	**(a2)**	0,133
Coeficiente estructural MEZCLA ASFALTICA	**(a1)**	0,36

- Mediante un método interactivo en la hoja de cálculo hallamos en número estructural de la carpeta asfáltica, de igual manera hallamos el espesor inicial de la capa.

		4,9193		
NUMERO ESTRUCTURAL CARPETA ASFALTICA	SN1	1,244		4,9777
H1 PULGADAS /CM		3,00	7,62	

- Obteniendo el espesor inicial de la carpeta asfáltica (3 pulg – 7.62 cm) y teniendo en cuenta los procesos constructivos y la garantía del tramo de vía se decide a realizar la corrección de la carpeta asfáltica a (3.5 pulg – 8.89 cm aprox. 9).

CORRECION DE ESPESOR CARPETA ASFALTICA		
h1	3,5	8,890
a1	0,36	
SN1 CORREGIDO	1,260	

- Mediante un método interactivo en la hoja de cálculo hallamos en número estructural de la base granular, de igual manera hallamos el espesor inicial de la capa.

NUMERO ESTRUCUTURAL BASE GRANULAR	SN2	1,651		4,9776
H2 PULGADAS /CM		4,00	10,16	

- La interacción del método nos arroja un espesor de la capa base granular de (4 pulg – 10.16 cm), el cual por proceso constructivo y teniendo en cuenta la capa que arroja la subbase granular se decide corregir y recalcular el espesor de la base granular.

CORRECION DE ESPESOR CARPETA ASFALTICA		
h2	11,37	28,89
a2	0,133	
SN2 CORREGIDO	2,47	

- Volvemos a realizar la interacción de método mediante la hoja de cálculo utilizando un espesor de capa (11.37 pulg.) y que el espesor de la capa de la subrasante de un valor de cero (0).

NUMERO ESTRUCUTURAL BASE GRANULAR	SN2	2,47		4,9776
H2 PULGADAS /CM		11,37	28,89	

- La interacción antes descrita nos arroja un espesor de capa base granular de 11.37 pulg. Donde lo aproximamos a 29 cm; y corroboramos que el espesor de la subbase granular sea cero.

NUMERO ESTRCUTURAL SUBBASE GRANULAR	SN3	2,47		4,9192
H3 PULGADAS /CM		0,00	0,00	

4.5 PERFIL ESTRUCTURA DE PAVIMENTO METODOLOGIA AASTHO 93

➢ PERFIL ESTRUCTURA DE PAVIMENTO - METODOLOGÍA AASHTO 93 SEGÚN PARÁMETROS ANTERIORMENTE JUSTIFICADOS.

CARPETA ASFALTICA (cm)	**9**
BASE GRANULAR (cm)	**29**
GEOTEXTIL NT2500/SIMILAR	
SUBRASANTE CBR 3.43	

6.6 CHEQUEO ESTRUCTURA MEDIANTE METODO RACIONAL

➢ CHEQUEO DE LA ESTRUCTURA ANTERIOR MEDIANTE MÉTODO RACIONAL APOYADO CON EL PROGRAMA WinDepav.

- La estructura es chequeada mediante método racional apoyado en el programa WinDepav, con el propósito de verificar el comportamiento por fatiga (carpeta asfáltica) y ahuellamiento (capas granulares).

- Se realiza utilizando los parámetros elásticos que se obtiene de los modulo resilientes de cada capa.

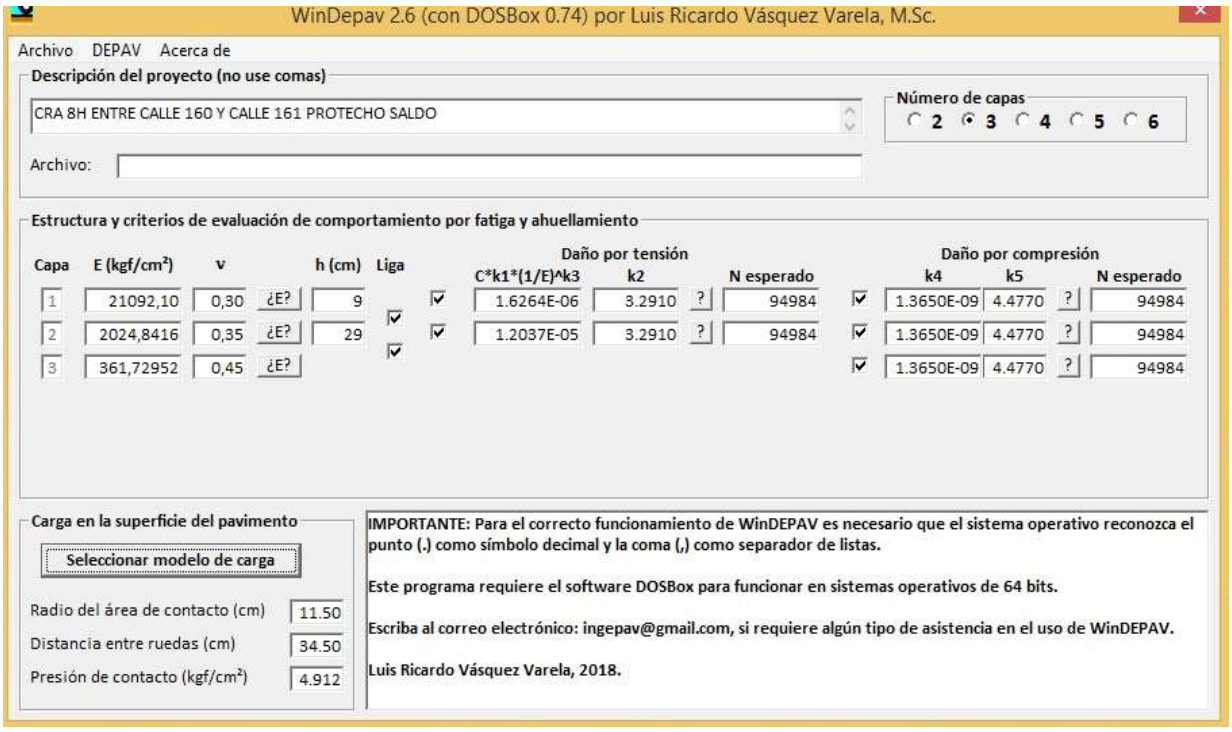
SUBRASANTE		
CBR	3,43	
MR	5145	
	361,72952	kg/cm2

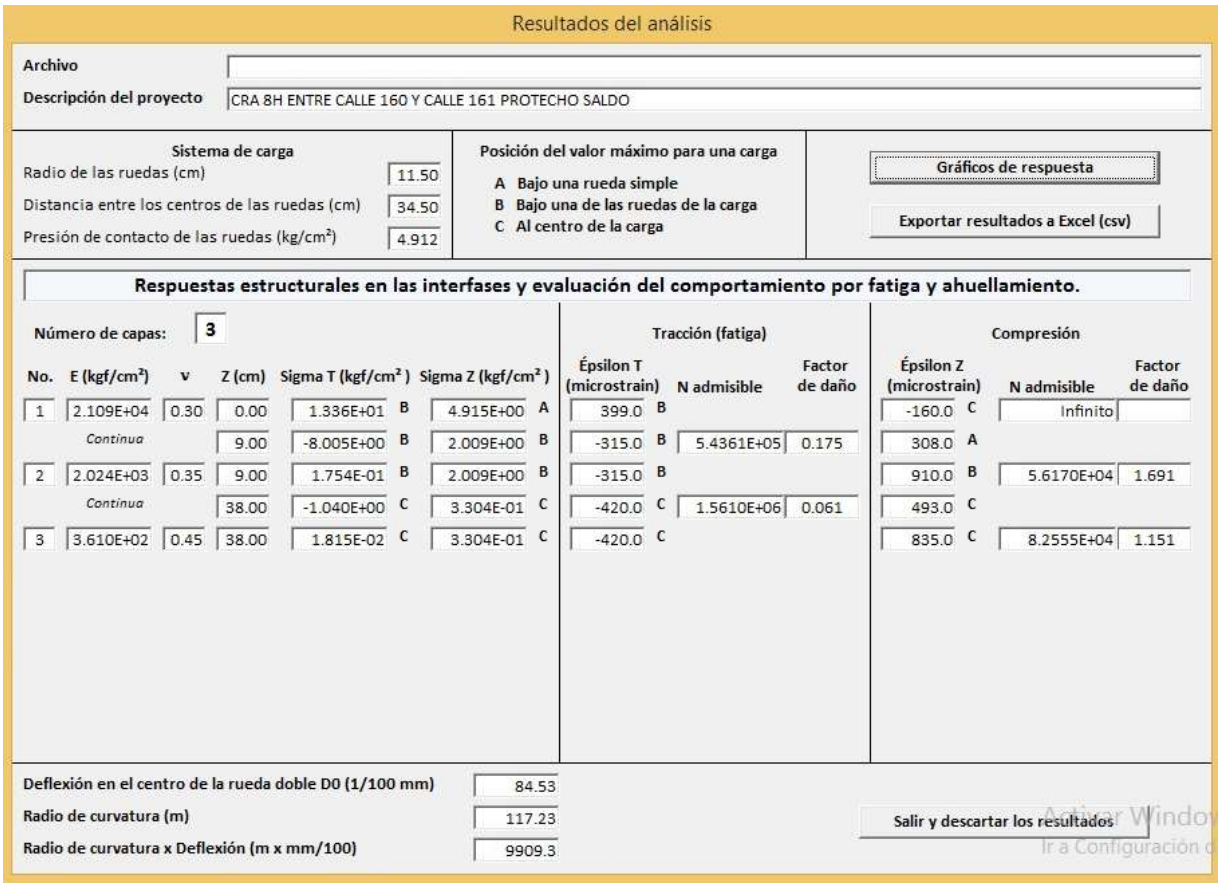
BASE GRANULAR		
MR	28800	
	2024,8416	kg/cm2

CARPETA ASFALTICA		
MR	300000	
	21092,10	kg/cm2

- Se continua con la estimación de la relación de poisson.

ESTIMACION RELACION DE POISSON		
CARPETA ASFALTICA	V =	0,3
BASE GRANULAR	V =	0,35
SUBRASANTE	V =	0,45


WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc.
Archivo DEPAV Acerca de
Descripción del proyecto (no use comas)
CRA 8H ENTRE CALLE 160 Y CALLE 161 PROTECHO SALDO
Número de capas
2 3 4 5 6
Archivo:
Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento
Capa E (kgf/cm²) v h (cm) Liga
Daño por tensión
C*k1*(1/E)^k3 k2 N esperado
Daño por compresión
k4 k5 N esperado
1 21092,10 0,30 ¿E? 9 1.6264E-06 3.2910 ? 94984 1.3650E-09 4.4770 ? 94984
2 2024,8416 0,35 ¿E? 29 1.2037E-05 3.2910 ? 94984 1.3650E-09 4.4770 ? 94984
3 361,72952 0,45 ¿E? 1.3650E-09 4.4770 ? 94984
Carga en la superficie del pavimento
Seleccionar modelo de carga
Radio del área de contacto (cm) 11.50
Distancia entre ruedas (cm) 34.50
Presión de contacto (kgf/cm²) 4.912
IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.
Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.
Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.
Luis Ricardo Vásquez Varela, 2018.


Resultados del análisis
Archivo
Descripción del proyecto CRA 8H ENTRE CALLE 160 Y CALLE 161 PROTECHO SALDO
Sistema de carga
Radio de las ruedas (cm) 11.50
Distancia entre los centros de las ruedas (cm) 34.50
Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²) 4.912
Posición del valor máximo para una carga
A Bajo una rueda simple
B Bajo una de las ruedas de la carga
C Al centro de la carga
Gráficos de respuesta
Exportar resultados a Excel (csv)
Respuestas estructurales en las interfases y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.
Número de capas: 3
Tracción (fatiga)
Compresión
No. E (kgf/cm²) v Z (cm) Sigma T (kgf/cm²) Sigma Z (kgf/cm²) Épsilon T (microstrain) N admisible Factor de daño Épsilon Z (microstrain) N admisible Factor de daño
1 2.109E+04 0.30 0.00 1.336E+01 B 4.915E+00 A 399.0 B -160.0 C Infinito
Continua 9.00 -8.005E+00 B 2.009E+00 B -315.0 B 5.4361E+05 0.175 308.0 A
2 2.024E+03 0.35 9.00 1.754E-01 B 2.009E+00 B -315.0 B 910.0 B 5.6170E+04 1.691
Continua 38.00 -1.040E+00 C 3.304E-01 C -420.0 C 1.5610E+06 0.061 493.0 C
3 3.610E+02 0.45 38.00 1.815E-02 C 3.304E-01 C -420.0 C 835.0 C 8.2555E+04 1.151
Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm) 84.53
Radio de curvatura (m) 117.23
Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100) 9909.3
Salir y descartar los resultados

6.7 LECTURA DE RESULTADOS INICIALES

LECTURA DE RESULTADOS

- El número admisible de ejes equivalentes debe ser mayor que el número que el número de ejes calculados.
- El factor de daño debe ser menor a 1.0

  - ✓ **CHEQUEO POR FATIGA (TRACCIÓN):** La carpeta asfáltica **CUMPLE** ya que el número admisible de ejes equivalentes es mayor (543610) al número de ejes equivalentes del diseño (94984) y el factor de daño es (0.175) que es menor de (1.0).

  - ✓ **CHEQUEO POR AHUELLAMIENTO (COMPRESIÓN):**
    - La capa de la base granular **NO CUMPLE** ya que el número admisible de ejes equivalentes es menor (56170) al número de ejes equivalentes del diseño (94984) y el factor de daño es (1.010) que es mayor de (1.0)

6.8 CHEQUEO DE RESULTADOS MEDIANTE METODO INTERACTIVO

- **CHEQUEO MEDIANTE MÉTODO INTERACTIVO (WinDePav) PARA QUE CUMPLA LAS CAPAS**

- Al realizarse la interacción en el programa WinDePav se decide subir el espesor de la capa de la carpeta asfáltica a 11 cm, y conservar 29 cm de base granular; lo anterior teniendo en cuenta que el método de diseño plantea el espesor de las capas teniendo en cuenta los parámetros de los módulos resilientes de las otras capas de soporte.

  - ✓ **CHEQUEO POR FATIGA (TRACCIÓN):** La carpeta asfáltica **CUMPLE** ya que el número admisible de ejes equivalentes es mayor (738480) al número de ejes equivalentes del diseño (94984) y el factor de daño es (0.129) que es menor de (1.0).

  - ✓ **CHEQUEO POR AHUELLAMIENTO (COMPRESIÓN):**
    - La capa de la base granular **CUMPLE** ya que el número admisible de ejes equivalentes es mayor (131920) al número de ejes equivalentes del diseño (94984) y el factor de daño es (0.72) que es menor de (1.0)

WinDepav 2.6 (con DOSBox 0.74) por Luis Ricardo Vásquez Varela, M.Sc.

Archivo DEPAV Acerca de

Descripción del proyecto (no use comas)

CRA 8H ENTRE CALLE 160 Y CALLE 161 PROTECHO SALDO

Archivo:

Número de capas: ○ 2 ◉ 3 ○ 4 ○ 5 ○ 6

Estructura y criterios de evaluación de comportamiento por fatiga y ahuellamiento

Capa	E (kgf/cm²)	ν		h (cm)	Liga	Daño por tensión C*k1*(1/E)^k3	k2		N esperado	Daño por compresión k4	k5		N esperado
1	21092,10	0.30	¿E?	11	☑	1.6264E-06	3.2910	?	94984	☑ 1.3650E-09	4.4770	?	94984
2	2024,8416	0.35	¿E?	29	☑	1.2037E-05	3.2910	?	94984	☑ 1.3650E-09	4.4770	?	94984
3	361,72952	0.45	¿E?		☑					☑ 1.3650E-09	4.4770	?	94984

Carga en la superficie del pavimento

Seleccionar modelo de carga

Radio del área de contacto (cm)	11.50
Distancia entre ruedas (cm)	34.50
Presión de contacto (kgf/cm²)	4.912

IMPORTANTE: Para el correcto funcionamiento de WinDEPAV es necesario que el sistema operativo reconozca el punto (.) como símbolo decimal y la coma (,) como separador de listas.

Este programa requiere el software DOSBox para funcionar en sistemas operativos de 64 bits.

Escriba al correo electrónico: ingepav@gmail.com, si requiere algún tipo de asistencia en el uso de WinDEPAV.

Luis Ricardo Vásquez Varela, 2018.

Resultados del análisis

Archivo

Descripción del proyecto CRA 8H ENTRE CALLE 160 Y CALLE 161 PROTECHO SALDO

Sistema de carga

Radio de las ruedas (cm)	11.50
Distancia entre los centros de las ruedas (cm)	34.50
Presión de contacto de las ruedas (kg/cm²)	4.912

Posición del valor máximo para una carga

A Bajo una rueda simple
B Bajo una de las ruedas de la carga
C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta

Exportar resultados a Excel (csv)

Respuestas estructurales en las interfases y evaluación del comportamiento por fatiga y ahuellamiento.

Número de capas: 3

No.	E (kgf/cm²)	ν	Z (cm)	Sigma T (kgf/cm²)		Sigma Z (kgf/cm²)		Tracción (fatiga) Épsilon T (microstrain)		N admisible	Factor de daño	Compresión Épsilon Z (microstrain)		N admisible	Factor de daño
1	2.109E+04	0.30	0.00	1.183E+01	B	4.915E+00	A	346.0	B			-158.0	C	Infinito	
	Continua		11.00	-7.332E+00	B	1.591E+00	B	-287.0	B	7.3848E+05	0.129	264.0	B		
2	2.024E+03	0.35	11.00	4.793E-02	A	1.591E+00	B	-287.0	B			752.0	B	1.3192E+05	0.720
	Continua		40.00	-9.086E-01	C	2.916E-01	C	-365.0	C	2.4775E+06	0.038	436.0	C		
3	3.610E+02	0.45	40.00	1.703E-02	C	2.916E-01	C	-365.0	C			739.0	C	1.4263E+05	0.666

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm)	79.04
Radio de curvatura (m)	150.64
Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100)	11906.4

Salir y descartar los resultados

Activar Windows
Ir a Configuración d

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ El presente diseño se ha realizado con la finalidad de rehabilitar el tramo de vía ubicado en la CARRERA 8H ENTRE CALLE 160 Y 161 BARRIO PROTECHO SALADO COMUNA 7 MUNICIPIO DE IBAGUE - TOLIMA
- ✓ Para el presente diseño se utilizó los cálculos de tránsito justificados en el presente informe y los estudios de suelos suministrados por la secretaría de Infraestructura Municipal y ejecutados por INGEOTOL S.A.S.
- ✓ El presente diseño fue calculado mediante la metodología AASHTO 93 (Pavimento flexible) e implementando las recomendaciones de la Norma INVIAS, Especificaciones invias 2022.
- ✓ En el presente diseño estructural de pavimento flexible, se contempla la instalación prioritaria de un geotextil entre la subrasante natural y la capa de base granular, con el fin de cumplir con la función de separación, especialmente con las condiciones de suelos y la capacidad portante (CBR < 5%).
- ✓ El presente diseño cumple en relación a los comportamientos de falla por fatiga y ahuellamiento
- ✓ La estructura de pavimento recomendada para rehabilitar el tramo de vía es la siguiente:

CARRERA 8H ENTRE CALLE 160 Y 161 BARRIO PROTECHO SALADO COMUNA 7



- ✓ Durante la ejecución de la estructura de pavimento se recomienda seguir a cabalidad los procesos constructivos de la norma INVIAS.

Elaboró



SAMUEL IGNACIO USECHE AYERBE
Ingeniero civil
Especialista en diseño y construcción de pavimentos
Contratista secretaría de Infraestructura Municipal de Ibagué