GOBERNACIÓN DE CÓRDOBA

DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

PROYECTO: “MEJORAMIENTO URBANÍSTICO PARA EL DESARROLLO DEL TURISMO EN EL MUNICIPIO DE CIÉNAGA DE ORO CÓRDOBA”

MUNICIPIO DE CIÉNAGA DE ORO

DICIEMBRE DE 2025

VERSIÓN 06

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 7

2. OBJETIVO GENERAL 7

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO 7

3.1. Generalidades del Departamento de Córdoba 7

3.2. Generalidades del Municipio Ciénaga de Oro 8

4. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE GEOTÉCNICO 9

4.1. Clasificación primaria 9

4.2. CBR de laboratorio 9

5. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO 11

5.1. Categoría del tránsito de acuerdo con el número de ejes equivalentes 12

5.2. Número de camiones 12

6. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO Y GEOTÉCNICOS 13

6.1. Clasificación del suelo 13

6.2. Determinación del grado de expansión 14

6.3. Presencia del nivel freático 15

6.4. CBR de diseño 15

7. DESCRIPCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE 17

7.1. Condiciones de la subrasante 17

7.2. Metodología de Ivanov para calcular CBR de diseño equivalente 17

8. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DEL CONJUNTO Y ESPESOR DE SUBBASE 20

8.1. Determinación del módulo de reacción de la subrasante 20

8.2. Determinación del módulo del conjunto y espesor de la subbase 22

9. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO 24

10. METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL PAVIMENTO 27

10.1. Módulo de rotura 27

10.2. Espectro de carga 27

10.3. Periodo de diseño 28

10.4. Pre-dimensionamiento de la losa de concreto por el Método de la AASHTO 28

10.4.1. Desviación normal estándar (Zr) 29

10.4.2. Error estándar combinado (SO) 30

10.4.3. Diferencia entre la servicialidad inicial y final ((ΔPSI) 31

10.4.4. Coeficiente de drenaje (Cd) 32

10.4.5. Coeficiente de transmisión de carga (J) 33
10.4.6. Módulo de rotura (S´c) 34
10.4.7. Módulo de elasticidad del concreto (Ec) 34
10.4.8. Módulo de reacción de la subrasante 36
10.4.9. Determinación del espesor de la losa 36
10.5. Pre-dimensionamiento de la losa en concreto por el Método de la Portland Cement Asociation .. 45
10.5.1. Análisis de fatiga 45
10.5.2. Análisis de Erosión 46
10.5.3. Factor de seguridad de carga 46
10.5.4. Determinación del espesor de la losa 47
11. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 50
12. DISEÑO FINAL DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO 52
12.1. Dimensiones de la losa de concreto 53
12.2. Diseño geométrico de las juntas de pavimento 53
12.2.1. Juntas longitudinales 54
12.2.2. Juntas transversales 56
12.2.3. Juntas de contracción 56
12.2.4. Varillas de transferencia dovelas 57
12.2.5. Juntas de dilatación 59
12.2.6. Sellado de juntas 60
13. MODULACIÓN DE LAS LOSAS DE CONCRETO 62
13.1. Losas irregulares y localizadas en intersección 62
14. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS 62
15. CONCLUSIONES 65
16. LIMITACIONES DEL ESTUDIO 66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización del Departamento de Córdoba. 8
Ilustración 2. Ubicación de los apiques en el tramo de intervención. 10
Ilustración 3. Perfiles estratigráficos. 13
Ilustración 4. Modelo estructural del mejoramiento de la subrasante según metodología de IVANOV. 20
Ilustración 5. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K. 21
Ilustración 6. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Sin información - MR = 3.8 Mpa. 37

Ilustración 7. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Sin información - MR = 4.0 Mpa. 38
Ilustración 8. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Sedimentario - MR = 3.8 Mpa. 39
Ilustración 9.Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Sedimentario - MR = 4.0 Mpa. 40
Ilustración 10. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Ígneo - MR = 3.8 Mpa. 41
Ilustración 11. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Ígneo - MR = 4.0 Mpa. 42
Ilustración 12. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen Metamórfico - MR = 3.8 Mpa. 43
Ilustración 13. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen Metamórfico - MR = 4.0 Mpa. 44
Ilustración 14. Software PCA periodo de diseño 20 años..... 49
Ilustración 15. Modelo seleccionado en dimensionamiento periodo de diseño 20 años. 52
Ilustración 16. Estructura de pavimento propuesta periodo de diseño 20 años..... 53
Ilustración 17. Sección típica para la ubicación de las barras de anclaje y construcción de junta. 56
Ilustración 18. Esquema de juntas transversales..... 59
Ilustración 19. Sección típica ubicación de las barras de transferencia y construcción de junta. 59
Ilustración 20. Detalles de construcción de juntas..... 60
Ilustración 21. Resumen de la estructura de pavimento periodo de diseño de 20 años. 61
Ilustración 22. Representación gráfica de del refuerzo de losas irregulares..... 62
Ilustración 23. Representación gráfica de una óptima modulación de losas de concreto..... 63
Ilustración 24. Representación gráfica de fisuras por alabeo. 64
Ilustración 25. Representación gráfica de del refuerzo de losas irregulares..... 64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de los apiques. 10
Tabla 2. Cálculo de número de ejes equivalentes..... 11
Tabla 3. Categorías de tránsito de acuerdo con INVIAS y con IDU (2018). 12
Tabla 4. Proyección del tránsito futuro..... 12
Tabla 5. Correlación entre el potencial expansivo del suelo y alguna de sus características. 14
Tabla 6. Resumen de propiedades físicas de los apiques..... 15
Tabla 7. Percentiles para la determinación del CBR de diseño. 15
Tabla 8. Resumen de los CBR. 15
Tabla 9. Valores CBR ordenados de menor a mayor..... 16
Tabla 10. Clasificación del suelo según el CBR de la subrasante. 18
Tabla 11. Clasificación CBR. 18
Tabla 12. Capacidad de soporte equivalente metodología IVANOV. 19
Tabla 13. Efecto de la subbase granular sobre los valores de K..... 23
Tabla 14. Módulo de reacción y módulo del conjunto de los diferentes tramos viales..... 24
Tabla 15. Uso típico de las diferentes clases de subbase granular..... 24

Tabla 16. Resistencia que debe alcanzar el concreto. 25
Tabla 17. Criterios de diseño para la mezcla de concreto en pavimentos de concreto hidráulico. 25
Tabla 18. Espectro de carga periodo 20 años. 27
Tabla 19. Resumen espectro de carga periodo 20 años. 28
Tabla 20. Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes clasificaciones según función. 29
Tabla 21. Valores Zr en función de la confiabilidad. 30
Tabla 22. Error estándar combinado So según el tipo de pavimento. 31
Tabla 23. Nivel de servicialidad final. 31
Tabla 24. Capacidad del drenaje para remover el agua. 32
Tabla 25. Valores recomendados del coeficiente de drenaje, Cd, para el diseño de pavimentos rígidos 33
Tabla 26. Coeficiente de transferencia de carga recomendado para diferentes tipos de pavimentos y condiciones de diseño. 34
Tabla 27. Correlación entre la resistencia a la comprensión y el módulo de elasticidad. 35
Tabla 28. Resultados de módulo de elasticidad según los tipos de agregados y origen, para un MR = 38 Kg/cm². 35
Tabla 29. Resultados de módulo de elasticidad según los tipos de agregados y origen, para un MR = 40 Kg/cm². 35
Tabla 30. Datos de entrada pavimento software Modified AASHTO Pavement Equation. 36
Tabla 31. Datos de entrada para el módulo elasticidad del agregado sin información. 36
Tabla 32. Datos de entrada para el módulo elasticidad del agregado sedimentario. 38
Tabla 33. Datos de entrada para el módulo elasticidad del agregado ígneo. 40
Tabla 34. Datos de entrada para el módulo elasticidad del agregado metamórfico. 42
Tabla 35. Resultados de los espesores con variación en el tipo de agregado y origen. 44
Tabla 36. Resumen de los espesores de acuerdo al módulo de rotura. 45
Tabla 37. Factor de seguridad de carga. 47
Tabla 38. Datos de entrada pavimento software PCA. 47
Tabla 39. Resultados obtenidos de la estructura del pavimento software PCA periodo de diseño 20 años. 47
Tabla 40. Resumen de las dimensiones de la losa Método PCA. 48
Tabla 41. Estructura del pavimento para el periodo de diseño 20 años. 52
Tabla 42. Recomendación para las barras de anclaje periodo de diseño 20 años. 55
Tabla 43. Resumen características de las barras de anclaje periodo de diseño 20 años. 55
Tabla 44. Espaciamiento de juntas transversales, según el tipo de agregado empleado en el concreto. 56
Tabla 45. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga periodo de diseño 20 años. 57
Tabla 46. Resumen características de los pasadores de carga periodo de diseño de 20 años. 58
Tabla 47. Resumen características de juntas de dilatación periodo de diseño de 15 y 20 años. 60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva representativa del CBR de diseño. 16
Gráfico 2. Correlación CBR - K, según Tabla 2-12. Manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito 22
Gráfico 3. Correlación (F´c) y (MR). 26
Gráfico 4. Erosión % Vs K (Mpa/m), periodo de diseño 20 años. 50
Gráfico 5. Fatiga % Vs K (Mpa/m), periodo de diseño 20 años. 50

Gráfico 6. Erosión % Vs MR (Mpa), periodo de diseño 20 años. 51
Gráfico 7. Fatiga % Vs MR (Mpa), periodo de diseño 20 años. 51
Gráfico 8. Erosión % Vs E (mm), periodo de diseño 20 años. 51
Gráfico 9. Fatiga % Vs E (mm), periodo de diseño 20 años. 52

1. INTRODUCCIÓN

La Alcaldía Municipal de Ciénaga de Oro realizo la solicitud del diseño de pavimento rígido para el proyecto **MEJORAMIENTO URBANÍSTICO PARA EL DESARROLLO DEL TURISMO EN EL MUNICIPIO DE CIÉNAGA DE ORO CÓRDOBA.**

En el presente informe se desarrolla el análisis realizado a la información geotécnica y de tránsito disponible sobre el sector objeto de estudio, con el fin de dimensionar los espesores de las capas necesarias para cumplir con el tránsito al cual va a estar sometido durante el periodo de servicio.

2. OBJETIVO GENERAL

La elaboración del diseño a la estructura de pavimento tiene por objeto definir los espesores y materiales que conformen las capas de la estructura sobre la fundición o subrasante características del tramo, de tal forma, que sean capaces de soportar la solicitación del tránsito actual y a futuro bajo las condiciones climáticas de la zona del proyecto.

3. GENERALIDADES DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra localizado en el Municipio de Ciénaga de Oro Córdoba.

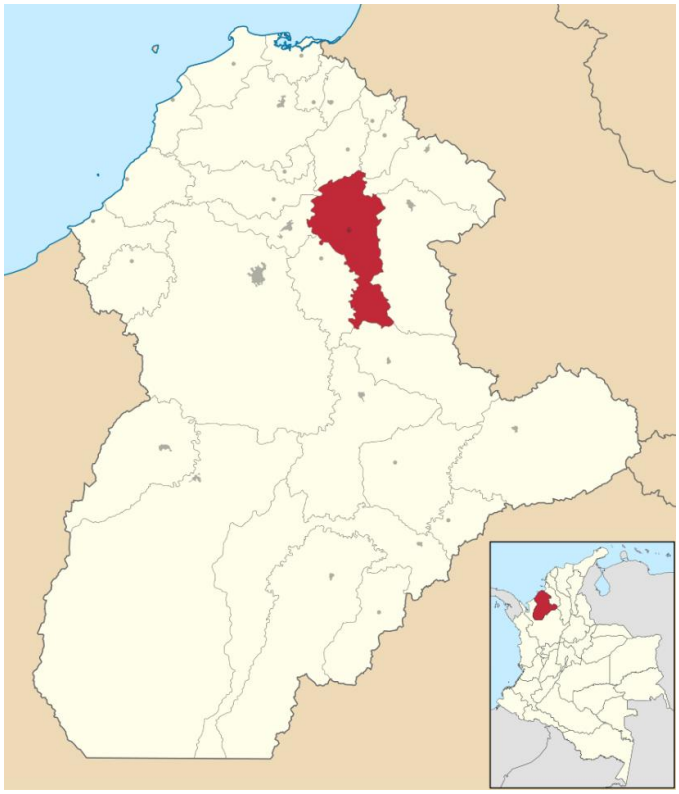
3.1. Generalidades del Departamento de Córdoba

El Departamento de Córdoba está situado en la parte noroccidental de Colombia, sobre la extensa llanura del Caribe, a los 7º 22’ 05’’ y 9º 26’16’’ de latitud norte y a los 74º 47’ 43’’ y 76º 30’ 01’’ de longitud oeste y posee una superficie de 25.020 Km2, área que representa el 18,95% de dicha llanura. Limita por el norte con el mar Caribe, por el oeste, sur y suroriente con Antioquia y al este con Bolívar y Sucre, su capital es Montería, conocida también por los nombres de “Capital Ganadera de Colombia”, “La Perla del Sinú” y la “Ciudad de las Golondrinas”. La línea de costa cordobesa cubre 124 km, y va desde Arboletes, en límites con Antioquia, hasta Punta de Piedra en límites con el departamento de Sucre.

En su división político-administrativa, el departamento de Córdoba ha estado conformado en los últimos años por 28 municipios (Montería, Ayapel, Buenavista, Canalete, Cereté, Chimá, Chimú, Ciénaga de Oro, Cotorra, La Apartada, Lorica, Los Córdobas, Monín, Montelíbano, Moñitos, Planeta Rica, Pueblo Nuevo, Puerto Escondido, Puerto Libertador, Purísima, Sahagún, San Andrés de Sotavento, San Antero, San Bernardo del Viento, San Carlos, San Pelayo, Tierralta y Valencia). A partir de junio 20 del 2007 la Asamblea de Córdoba aprobó la creación de dos municipios (Tuchín y San José de Uré).

Córdoba es uno de los 32 departamentos que, junto con Bogotá, Distrito Capital, forman la Republica de Colombia, ubicado al norte de país, en la región Caribe, limitando al norte con el mar Caribe (océano Atlántico), al este con los departamentos de sucre y bolívar y al sur con el departamento de Antioquia; fue creado por medio de la ley 9 de 18 de diciembre de 1951, reglamentada el 18 de junio de 1592.

Ilustración 1. Localización del Departamento de Córdoba.



Fuente: Colombia – Córdoba.

3.2. Generalidades del Municipio Ciénaga de Oro

Ciénaga de Oro es un municipio colombiano ubicado en el departamento de Córdoba. Parte de la Subregión del Medio Sinú. El nombre de Ciénaga de Oro surge del hecho en que, en tiempos de su fundación, y en épocas de lluvias torrenciales, descendían de los cerros situados al oriente abundantes pepitas de oro que después eran recogidas por sus habitantes en los distintos puntos de la población. Ciénaga de Oro se encuentra ubicada a 35 kilómetros aproximadamente de Montería, capital del departamento de Córdoba, rodeado de colinas que vienen a ser una desmembración de la Serranía de San Jerónimo. Se sienta al costado del Caño de Aguas Prietas o del Floral, que baja de las serranías de San Carlos, después de recibir las aguas de varias ciénagas que le hacen aumentar su caudal, va a confundirse con las aguas del río Sinú frente a Lorica.

La serranía de San Jerónimo que lo penetra por el oriente y el occidente forma dos zonas diferentes; la primera al norte: plana baja y cenagosa, bañada por una gran cantidad de corrientes menores; y la segunda al sur, relativamente montañosa con alturas que no alcanzan a 300 metros sobre el nivel del mar. Por esta misma conformación topográfica, la jurisdicción municipal dispone solamente del piso térmico cálido.

Se encuentra localizado al oriente del departamento, a 35 kilómetros de Montería. El municipio de Ciénaga de Oro tiene una extensión de 50.100 hectáreas que corresponde a un 2% de la extensión de departamento de Córdoba, de las cuales el 15% son terrenos planos, es decir, 7.515 hectáreas; el 5% de terrenos quebrados, con 2.505 hectáreas. Limita por el norte con San Andrés de Sotavento y Chimá; por el sur, con Pueblo Nuevo; por el oriente, con los municipios de Chinú y Sahagún y por el occidente, con los municipios de Cereté, San Carlos y San Pelayo.

4. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE GEOTÉCNICO

La información obtenida del informe geotécnico se utilizó como base para llevar a cabo el análisis y diseño del pavimento.

4.1. Clasificación primaria

Con la finalidad de caracterizar el suelo de soporte fue necesario realizar 5 apiques tomando diferentes muestras por cada apique. En el informe geotécnico se puede observar los resultados de la clasificación primaria, para el diseño del pavimento. De esta clasificación se tomarán características geotécnicas que serán mencionadas y descritas más adelante.

4.2. CBR de laboratorio

Para el diseño de un pavimento rígido, la condición de la subrasante juega un papel fundamental para poder desarrollar un diseño óptimo, por tal motivo es necesario conocer su potencial expansivo y su capacidad portante; la cual es expresada por medio de la resistencia al corte o rigidez bajo carga cíclica. Para este diseño se utiliza el ensayo desarrollado por Stanton y Porter en 1929 “CBR Californian Bearing Ratio”. En Colombia este ensayo se realiza bajo los lineamientos que se especifican por INVIAS (INV. E-148-13), basado en AASHTO 193-72. En este ensayo el CBR se determina como parámetro mecánico y puede ser realizado in situ o en laboratorio. Cabe resaltar que, para caracterizar la subrasante en laboratorio, se debe realizar sobre muestras inalteradas, dicho de otra forma, no se puede cuantificar de manera directa este parámetro mecánico sobre suelos friccionantes o gruesos (gravas y arenas).
De los 5 apiques realizados en campo, se obtuvieron 5 CBR distribuidos espacialmente a lo largo de la vía, los cuales se tomaron para el cálculo del CBR de diseño, así se logró valorar el comportamiento de la subrasante a la compresión en función del módulo resiliente.

Tabla 1. Coordenadas de los apiques.

APIQUE No.	PROFUNDIDAD ALCANZADA (M)	COORDENADAS	
		NORTE/SUR	ESTE/OESTE
AP-1	150	8°52'21.13"N	75°37'33.48"W
AP-2	150	8°52'21.68"N	75°37'31.62"W
AP-3	150	8°52'24.17"N	75°37'31.71"W
AP-4	150	8°52'25.30"N	75°37'28.70"W
AP-5	150	8°52'25.87"N	75°37'25.26"W

Fuente: Informe geotécnico Vs 02, realizado por el Ing. Daniel José Almanza Mercado, en el mes de julio de 2025.

Ilustración 2. Ubicación de los apiques en el tramo de intervención.



Fuente: Informe geotécnico Vs 02, realizado por el Ing. Daniel José Almanza Mercado, en el mes de julio de 2025.

5. EVALUACIÓN DEL TRÁNSITO

A partir del Estudio de tránsito Versión 5 realizado por el Ingeniero Jorge Enrique Nieves Mejía se tiene que el tránsito de diseño a 20 años para el Tramo del proyecto en mención es de **141.320 ejes equivalentes 8.2 Ton**.

Tabla 2. Cálculo de número de ejes equivalentes

CÁLCULO DEL NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES MEJORAMIENTO URBANÍSTICO PARA EL DESARROLLO DEL TURISMO EN EL MUNICIPIO DE CIÉNAGA DE ORO CÓRDOBA				
AÑO	EJES EQUIVALENTES TRÁNSITO AFORADO	EJES EQUIVALENTES TRÁNSITO GENERADO	EJES EQUIVALENTES TRÁNSITO ATRAÍDO	TOTAL DE EJES EQUIVALENTES 8.2 Ton
2025	2213	879	1102	3092
2026	4540	1803	2260	8604
2027	6988	2775	3479	13243
2028	9563	3798	4761	18122
2029	12271	4873	6109	23254
2030	15120	6004	7527	28651
2031	18116	7194	9019	34329
2032	21267	8445	10588	40300
2033	24581	9762	12238	46581
2034	28067	11146	13974	53187
2035	31734	12602	15799	60135
2036	35591	14134	17719	67444
2037	39647	15744	19739	75130
2038	43914	17439	21863	83215
2039	48401	19221	24097	91719
2040	53121	21095	26447	100663
2041	58086	23067	28918	110071
2042	63307	25140	31518	119966
2043	68800	27321	34252	130373
2044	**74576**	**29615**	**37128**	**141320**

Fuente: ESTUDIO DE TRÁNSITO – MALECÓN CIÉNAGA DE ORO Vs 5.

5.1. Categoría del tránsito de acuerdo con el número de ejes equivalentes

Tabla 3. Categorías de tránsito de acuerdo con INVIAS y con IDU (2018).

Número de ejes equivalentes de 80KN que circulen en el carril y periodo de diseño x 10^6					
INVIAS			IDU (2018)		
NT1	NT2	NT3	T1	T2	T3
< 0.5	0.5 – 5.0	> 5.0	< 2	≥ 2 - < 8	≥ 8

Fuente: Tabla 2.1 Pavimentos, materiales, construcción y diseño, Hugo Alexander Rondón Quintana & Freddy Alberto Reyes Lizcano; Segunda edición.

De acuerdo con el número de ejes equivalentes a 8.2 Ton el nivel de tránsito corresponde a un **NT1**.

5.2. Número de camiones

Tabla 4. Proyección del tránsito futuro.

TRAMO	PROYECCIÓN TRÁNSITO FUTURO						
	Año	Número	AUTO	BUS	C2-P	C2-G	Total
Año actual	2025	0	23	4	14	3	44
	2026	1	24	5	16	5	50
	2027	2	25	6	17	6	53
	2028	3	27	6	17	6	56
	2029	4	28	6	18	6	59
	2030	5	30	6	19	6	62
	2031	6	31	7	20	7	65
	2032	7	33	7	21	7	68
	2033	8	34	7	22	7	72
	2034	9	36	8	24	8	76
	2035	10	38	8	25	8	80
	2036	11	40	9	26	9	84
	2037	12	42	9	27	9	88
	2038	13	44	10	29	10	93
	2039	14	47	10	30	10	97
	2040	15	49	11	32	11	102
	2041	16	52	11	34	11	108
	2042	17	54	12	35	12	113
	2043	18	57	12	37	12	119
Acumulado 20 años	**2044**	**19**	**60**	**13**	**39**	**13**	**125**

Fuente: ESTUDIO DE TRÁNSITO – MALECÓN CIÉNAGA DE ORO Vs 5

De acuerdo con la información visualizada en la tabla anterior, se tiene que el número de camiones es de: 52 vehículos diarios para el periodo de los 20 años.

6. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO Y GEOTÉCNICOS

Los resultados de los parámetros evaluados son tomados del informe geotécnico realizado para el presente proyecto y se resume a continuación:

6.1. Clasificación del suelo

La clasificación del suelo se debe realizar según las especificaciones de la norma INV E-180-13 "sistema AASHTO" para mezclas de suelos y agregados de construcción y la norma INV E-181-13 "sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)" para clasificación de suelos con base en determinar en laboratorio la distribución granulométrica, límites e índice de plasticidad.

El suelo evaluado se compone de diferentes estratos con variaciones entre los apiques. ***Apique 1.*** En este se halló un estrato de Arcilla con bajo contenido de gravas y arenas ***CH*** de alta plasticidad, en toda la profundidad de la excavación. ***Apique 2.*** En este se halló un estrato de Grava limosa con arena ***GM*** no plástica, desde el inicio hasta los 30cm de profundidad, sobre una Limoarenoso ***ML*** no plástica de 30 a 150cm. ***Apique 3.*** En este se halló un estrato de Arcilla con bajo contenido de gravas ***CL*** de alta plasticidad, en toda la profundidad de la excavación. ***Apique 4.*** En este se halló un estrato de Arena limosa con bajo contenido de grava ***SM*** no plástica, en toda la profundidad de la excavación. ***Apique 5.*** En este se halló un estrato de Limoarenoso ***ML*** no plástica, desde el inicio hasta los 50cm de profundidad, sobre una Arcilla con arena ***CH*** de alta plasticidad de 50 a 150cm.

Ilustración 3. Perfiles estratigráficos.

APIQUE 1			
Prof. (cm)		NAF	Tipo de suelo USC
0 - 150			CL

Tabla 2. Estratigrafía Apique 1.

APIQUE 2			
Prof. (cm)		NAF	Tipo de suelo USC
0 - 30			GM
30 - 150			ML

Tabla 3. Estratigrafía Apique 2.

APIQUE 3			
Prof. (cm)		NAF	Tipo de suelo USC
0 - 150			CL

Tabla 4. Estratigrafía Apique 3.

APIQUE 4			
Prof. (cm)		NAF	Tipo de suelo USC
0 - 150			SM

Tabla 5. Estratigrafía Apique 4.

APIQUE 5			
Prof. (cm)		NAF	Tipo de suelo USC
0 - 50			ML
50 - 150			CL

Tabla 6. Estratigrafía Apique 5.

Fuente: Informe geotécnico Vs 02, realizado por el Ing. Daniel José Almanza Mercado, en el mes de julio de 2025.

6.2. Determinación del grado de expansión

Una vez realizada la clasificación del suelo por el método de la AASHTO y el método unificado USC, se evalúa el potencial de expansión de la subrasante, ya que en función de esta variable se puede decidir si se realiza mejoramiento de la subrasante para controlar los cambios volumétricos. Generalmente la expansión se presenta en suelos limo-arcillosos donde se debe controlar la estabilidad volumétrica ya que tienden a ser colapsables.

La metodología planteada en la norma INV E-132-13, presenta la importancia de tratar suelos que se expanden y contraen a medida que pasan del estado seco a húmedo o viceversa, generando cambios volumétricos creando movimientos diferenciales en las estructuras del pavimento que se ven transformadas en agrietamiento de placas.

Se hallaron materiales susceptibles a fenómenos expansivos contractivos en los tramos de vía analizados, registro potencial moderado. El análisis se realizó según la Tabla 5. Correlación entre el potencial expansivo del suelo y alguna de sus características. Norma INV E132-13 INVÍAS.

Tabla 5. Correlación entre el potencial expansivo del suelo y alguna de sus características.

Grado de expansión	Hinchamiento	Índice de plasticidad	Expansión libre
No expansiva	<2	<10	<50
Moderada	2 – 4	10 - 20	50 – 100
Altamente expansiva	> 4	>20	>100

Fuente: Tabla 2-11. Manual de diseño de pavimentos en concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito, INVIAS.

Tabla 6. Resumen de propiedades físicas de los apiques.

APIQUE	PROFUNDIDAD		PROPIEDADES FÍSICAS									
	Inicio	Final	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice Plástico	Humedad	% Gravas	% Arenas	% Finos	Tipo de suelo		Potencial de Expansión
	cm	cm	%	%	%	%	%	%	%	SUCS	AASTHO	
1	0	150	32,90	14,10	18,80	21,03	0,60	24,60	74,90	CL	A-6	No Expansiva
2	0	30	-	-	-	8,18	33,20	26,80	40,00	GM	A-4	No Expansiva
2	30	150	-	-	-	17,75	4,50	41,60	53,90	ML	A-4	No Expansiva
3	0	150	41,80	19,70	22,10	18,33	7,50	2,50	90,00	CL	A-7-6	Moderada
4	0	150	-	-	-	11,40	7,90	59,40	32,70	SM	A-2-4	No Expansiva
5	0	50	-	-	-	14,34	3,70	36,80	59,50	ML	A-4	No Expansiva
5	50	150	36,50	18,30	18,20	22,78	4,00	39,50	56,50	CL	A-6	No Expansiva

Tabla 7. Propiedades físicas. (Fuente. Realizado por el autor).

Fuente: Informe geotécnico Vs 02, realizado por el Ing. Daniel José Almanza Mercado, en el mes de julio de 2025.

6.3. Presencia del nivel freático

No se halló superficie o nivel estático de agua en las perforaciones que se puedan considerar freáticas.

6.4. CBR de diseño

La necesidad de utilizar el CBR sumergido obedece a que los niveles freáticos son superficiales en épocas de invierno, adicional a esto se busca contemplar el escenario más desfavorable al cual puede llegar a ser sometida la estructura.

Tabla 7. Percentiles para la determinación del CBR de diseño.

N° de ejes de 8.2 Ton en el carril de diseño (N)	Percentil para seleccionar el CBR de diseño (%)
$<10^4$	60
10^4 - $<10^6$	75
$>10^6$	87.5

Fuente: Asphalt Institute, 1970.

Tabla 8. Resumen de los CBR.

N° Apique	%CBR Inmersión
AP1-2025	0.40
AP2-2025	0.70
AP3-2025	1.30
AP4-2025	1.60
AP5-2025	0.40

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los valores de CBR sumergidos se halla el CBR de diseño con el método del percentil, para los tramos de intervención con el procedimiento que se describe a continuación:

- Se ordena los valores de CBR obtenidos de menor a mayor.
- Para cada CBR se calcula el número y el porcentaje de valores de CBR que son mayores o iguales que él, como se muestra a continuación:

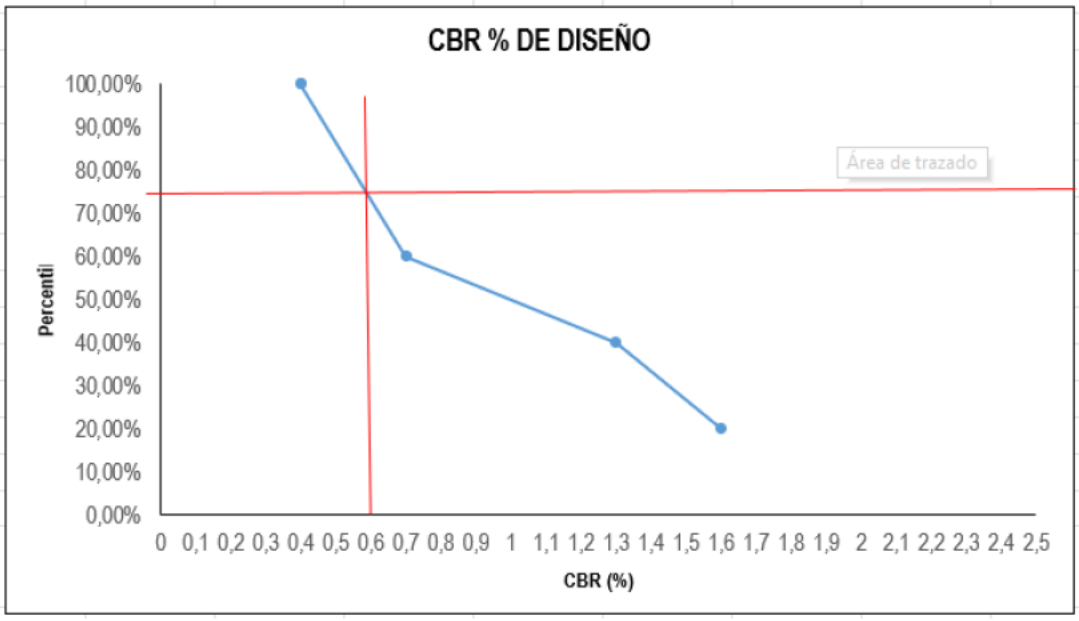
Tabla 9. Valores CBR ordenados de menor a mayor.

CBR (%)	N° Iguales o mayores	%Valores iguales o mayores
0,40	5	100,00%
0,40	5	100,00%
0,70	3	60,00%
1,30	2	40,00%
1,60	1	20,00%

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de la anterior tabla se gráfica el CBR vs Percentiles, en la cual, según el nivel de tránsito que para este caso es NT1, se elige el percentil de diseño correspondiente al 75%:

Gráfico 1. Curva representativa del CBR de diseño.



Fuente: Elaboración propia.

El CBR de diseño seleccionado para ser usado en la longitud del tramo objeto de estudio es 0.60%.

7. DESCRIPCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE

Según el informe geotécnico y lo descrito en el numeral anterior, el suelo de la vía de estudio presenta problemas de capacidad de soporte por baja resistencia al corte, un grado de expansión moderada en el apique 3, por lo cual se considera necesario realizar un mejoramiento de la subrasante.

7.1. Condiciones de la subrasante

Este parámetro es de gran importancia a la hora de evaluar condiciones de mejoramiento o reemplazo de la subrasante, definir si son suelos granulares de los cuales nos interesa conocer la resistencia o si son suelos finos de los cuales nos interesa la estabilidad volumétrica.

Generalmente los suelos de subrasante son suelos arcillosos, limosos o materiales finos con alta plasticidad, los cuales tienden a ser colapsables. Los resultados geotécnicos, permiten observar dentro del análisis granulométrico de las muestras estudiadas en función del porcentaje que pasa el tamiz No 200 que tipo de material en los tramos es: Gravas limosa por presencia de arena (GM), Grava limosa pobremente graduada (GMGP), Arcilla de mediana plasticidad con presencia de arena (CL), Arcilla arenosa de mediana plasticidad (CH), Arcilla arenosa de alta plasticidad (CH), Arcilla de alta plasticidad con presencia de arena (CH), Arcilla limosa con presencia de grava (SM).

A continuación, se presenta una metodología para calcular CBR de diseño equivalente para cumplir la relación en función del espesor del material de mejoramiento y CBR del material de mejoramiento que en este caso sería el mínimo valor del CBR mínimo de 10%.

7.2. Metodología de Ivanov para calcular CBR de diseño equivalente

Esta metodología permite determinar el espesor necesario para el refuerzo de mejoramiento de la subrasante. En este caso, dicho espesor se calcula en función de las sobrecargas, lo que permite obtener un CBR de diseño equivalente que garantice que, a lo largo de todo el tramo vial, se cumplan los valores requeridos tanto de espesor como de CBR del material de mejoramiento. La metodología se basa en una ecuación que relaciona el espesor del material de mejoramiento y su módulo, el módulo de resiliencia de las condiciones actuales de la subrasante y el radio del área cargada.

Es fundamental asegurar que, en todo el tramo vial, el material presente en campo cumpla con el valor mínimo exigido para una subrasante en condiciones óptimas. De acuerdo con el promedio de CBR sumergido obtenido de los apiques, y con base en la Tabla 10. Clasificación del suelo según el CBR de la subrasante. , es posible realizar una clasificación general de los valores obtenidos en laboratorio, identificar su idoneidad estructural dentro del pavimento y determinar, en consecuencia, si es necesario aplicar procesos de mejoramiento del suelo.

Tabla 10. Clasificación del suelo según el CBR de la subrasante.

CBR (%)	CLASIFICACIÓN GENERAL	USOS
0 – 3	Muy pobre	Subrasante
3 – 7	Pobre a regular	Subrasante
7- 20	Regular	Afirmados y Subbase
20 - 50	Bueno	Subbase y base
> 50	Excelente	Base

Fuente: Asphalt Institute, 1970.

Con el propósito de establecer los tipos de estructuras de pavimento más compatibles con la capacidad de soporte de la subrasante se han definido las categorías que se indican a continuación:

Tabla 11. Clasificación CBR.

Categoría	CBR (%)	Comportamiento como subrasante
S1	CBR ≤ 3	Malo
S2	3 < CBR ≤ 5	Regular
S3	5 < CBR ≤ 10	Bueno
S4	CBR > 10	Muy bueno

Fuente: MinTransporte 2007, pág. 73

De acuerdo con las tablas anteriores, los valores de CBR obtenidos para el tramo son inferiores al rango correspondiente a la primera clasificación (0 – 3%) de la Tabla 10, lo que indica que estos suelos presentan una capacidad de soporte muy pobre. En consecuencia, y según los criterios establecidos en la Tabla 11 de clasificación del suelo por CBR, es necesario implementar un proceso de mejoramiento de la subrasante, con el fin de garantizar condiciones adecuadas para la estructura del pavimento.

Siendo así, para determinar el módulo resiliente de la subrasante y del material de mejoramiento se utilizó la correlación con el valor de CBR cuya expresión es Mr = 2555*(CBR^0.64)*0.070307, adicional a esto para obtener el CBR de diseño equivalente se plantea el cálculo del modelo resiliente equivalente, mediante la formulación propuesta por IVANOV:

$$E_e = \frac{E_0}{1 - \frac{2}{\pi}\left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right)\tan^{-1}\left(\frac{ns}{2a}\right)}$$

$$n = \sqrt[2.5]{\frac{E_1}{E_0}}$$

Donde:

E_e = Módulo resiliente equivalente (kg/cm²),

E_0 = Módulo resiliente del material de la subrasante (kg/cm²),

E_1 = Módulo resiliente del material de mejoramiento (kg/cm²),

n = Módulo ponderado de las capas,

s = Espesor del material de mejoramiento (cm),

a = Radio del área cargada (cm).

La ecuación permite encontrar una equivalencia del módulo de resiliencia y CBR de diseño, el cual según especificaciones y experiencia debe estar limitado a 4.0%, para lo cual se considera que el CBR del material de reemplazo equivale a 10% según el resultado del informe geotécnico, de esta forma podemos conservar la relación a la compresión entre el módulo del material de reemplazo y el módulo equivalente. En la tabla siguiente se analiza la capacidad de soporte para el tramo a partir, de la metodología IVANOV.

Tabla 12. Capacidad de soporte equivalente metodología IVANOV.

CBR de Subrasante (%):	**0,60**	1843	129,54071	Kg/cm²
CBR del Mejoramiento (%):	**10,00**	11153	784,132531	Kg/cm²

CBR de SBR (%)	Esr (kg/cm²)	Ege (kg/cm²)	Hge (cm)	Eeq (kg/cm²)	CBR eq (%)	n	2a
0,60	129,54	784,13	5,00	160,28	0,84	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	10,00	199,11	1,17	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	15,00	242,28	1,60	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	20,00	286,65	2,08	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	25,00	330,4	2,59	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	30,00	372,62	3,13	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	35,00	412,91	3,67	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	40,00	451,16	**4,22**	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	45,00	487,34	4,76	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	50,00	521,55	5,29	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	55,00	553,87	5,81	2,05	30,14
0,60	129,54	784,13	60,00	584,43	6,32	2,05	30,14

Fuente: Elaboración propia a partir del Informe geotécnico Vs 02, realizado por el Ing. Daniel José Almanza Mercado, en el mes de julio de 2025.

Como se puede observar en los resultados que se obtuvieron en los estudios de suelo, el suelo de soporte cumple con el valor mínimo requerido de una subrasante (CBR > 4%) ya que el **CBR de diseño hallado es 4.22%** ≈ Mr = 451.16 Kg/cm², correlación obtenida de la ecuación Mr = 2555*(CBR^0.64) *0.070307), presentada por Lister y Powell (1987), la cual es la utilizada en la metodología mecánico - empírica para el método de diseño INVIAS 2013. De acuerdo con la metodología de IVANOV el espesor de mejoramiento es de **40 cm.**

Ilustración 4. Modelo estructural del mejoramiento de la subrasante según metodología de IVANOV.

Reemplazo con espesor de 40 para mejoramiento de la subrasante (Piedra rajón), CBR 10%
Material existente en campo según estudio geotécnico

Fuente: Elaboración propia.

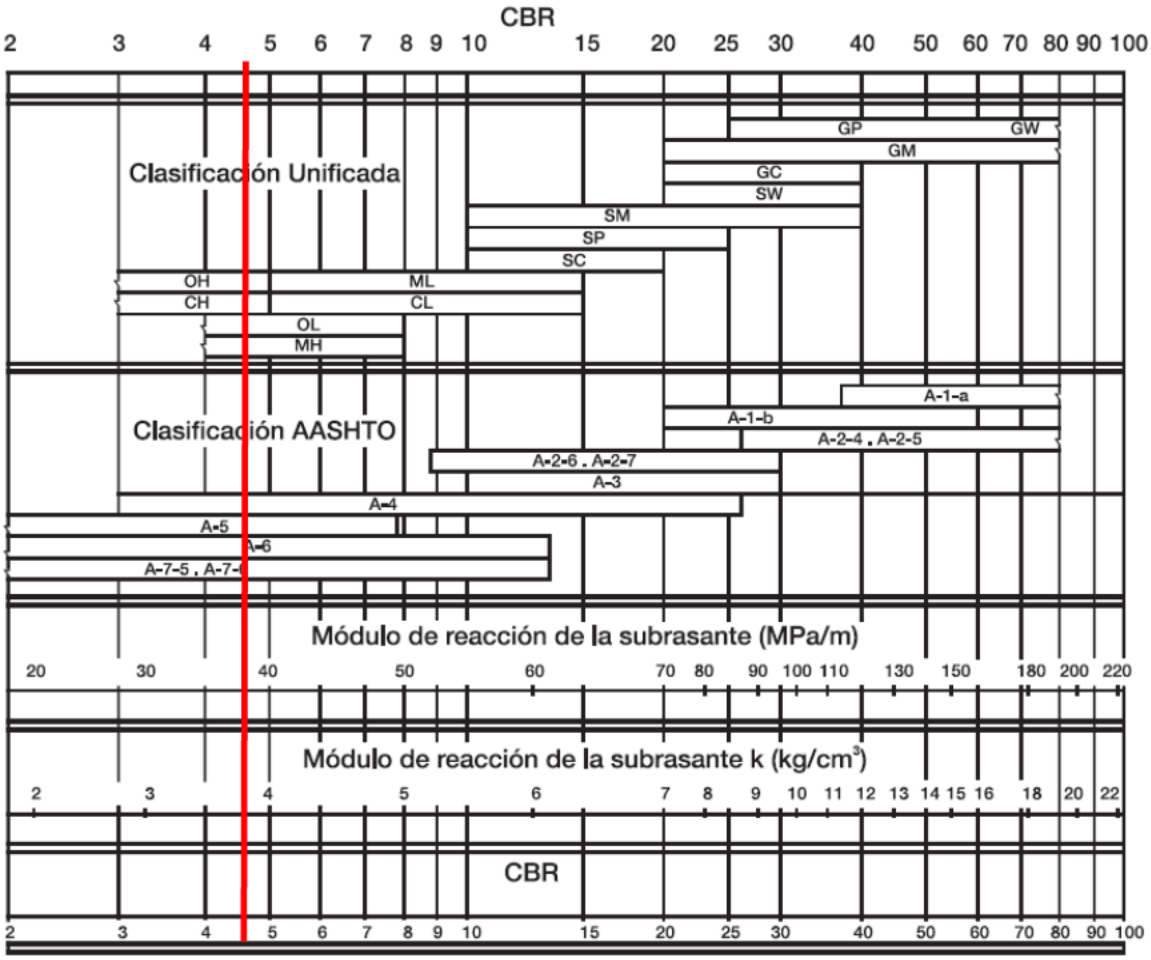
De lo anterior se infiere que el espesor del material encontrado en campo que actuará como mejoramiento de la estructura de pavimento para el tramo es de **40 cm**, además de presentar un CBR de **10%**, para garantizar un **CBR de Diseño Equivalente mínimo de 4.22%**.

8. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DEL CONJUNTO Y ESPESOR DE SUBBASE

8.1. Determinación del módulo de reacción de la subrasante

Dada la dificultad de realizar el ensayo de placa para determinar el módulo de reacción de la subrasante, y teniendo en cuenta que para el diseño de los pavimentos de concreto se admiten aproximaciones en la determinación de la capacidad de soporte del suelo, se puede recurrir a correlaciones entre el valor K con el del CBR.

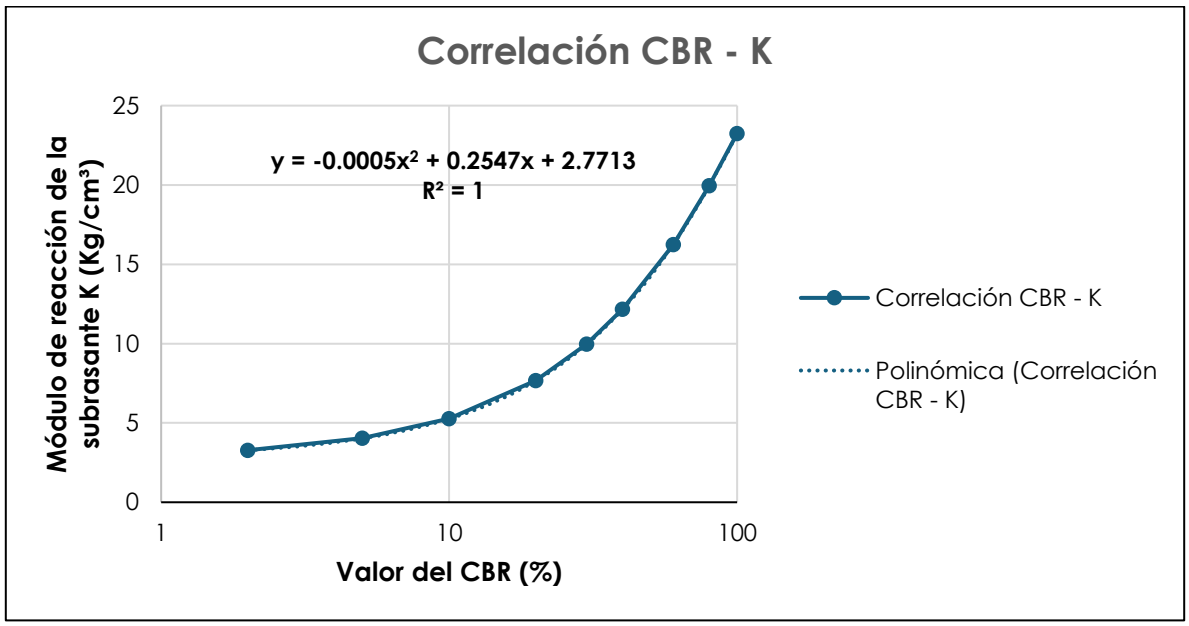
Ilustración 5. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K.



Fuente: Tabla 2 -12 Manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

Ante lo anterior y partiendo de la Ilustración 5. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K., se plantea una gráfica logarítmica de la información contenida en la misma, para con base en el CBR equivalente determinar el valor del módulo de reacción (K) de la subrasante según correlaciones. La ecuación que más se ajustó a la serie de datos fue la polinómica de segundo orden cuya forma es:

Gráfico 2. Correlación CBR - K, según Tabla 2-12. Manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito



Fuente: Elaboración propia.

Los valores corresponden a los correlacionados los cuales fueron graficados para hallar un modelo que permita calcular el valor del módulo de reacción de la subrasante de forma analítica y más precisa por medio de la ecuación.

$$K = -0.0005CBR^2 + 0.2547CBR + 2.7713$$

Donde:

- CBR corresponde al CBR de diseño,
- K corresponde al módulo de reacción de la subrasante.

El valor calculado del módulo de reacción K de la subrasante para un CBR equivalente de 4.22% es igual a (**K = 3.8372 kg/cm³ ≈ 38.372 Mpa/m**).

8.2. Determinación del módulo del conjunto y espesor de la subbase

Una vez calculado el módulo de reacción de la subrasante, se calcula el módulo de reacción del conjunto para el cual se debe seleccionar el espesor de la subbase granular.

Tomando como base la Tabla 13. Efecto de la subbase granular sobre los valores de K. se presenta módulos de reacción de la subrasante (K) que oscilan ente 20 Mpa/m a 80 Mpa/m. Considerando que

en el numeral 8.1 se establece un valor de **K =38.372 Mpa/m**; siendo así, se realiza una interpolación entre los valores para hallar los módulos K combinados para la subbase.

Tabla 13. Efecto de la subbase granular sobre los valores de K.

Módulo K Subrasante		Módulo K para Subbase Capa granular no tratada											
		100 mm		150 mm		200 mm		225 mm		250 mm		300 mm	
Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci	Mpa/m	pci
20.00	73.00	23.0	85.0	26.0	96.0	30.0	110.0	32.0	117	34.0	124.7	38.0	140.0
38.37	**140.97**	43.2	158.5	47.1	173.1	**52.3**	**192.7**	55.0	202.4	58.0	213.8	63.7	236.4
40.00	147.00	45.0	165.0	49.0	180.0	54.3	200.0	57.0	210	60.1	221.7	66.0	245.0
60.00	220.00	64.0	235.0	66.0	245.0	72.7	268.3	76.0	280	81.3	296.7	90.0	330.0
80.00	295.00	87.0	320.0	90.0	330.0	96.7	356.7	100.0	370	106.8	390.0	117.0	430.0

Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 31. Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto, Ing. Civil Cipriano A. Londoño N y la Tabla 13.18. Pavimentos, materiales, construcción y diseño, Hugo Alexander Rondón Quintana & Freddy Alberto Reyes Lizcano; Segunda edición.

Para este caso será seleccionado un espesor de subbase granular **de 20 cm** para verificar los esfuerzos y deflexiones equivalentes de la losa de concreto en función del consumo vehicular. El espesor seleccionado de subbase granular es de **20 cm**. El cálculo se realiza con base en la Ilustración 5. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K. en cada tramo vial.

En la Tabla 14. Módulo de reacción y módulo del conjunto de los diferentes tramos viales. se observa el resumen del módulo del conjunto para cada espesor de subbase y para cada tramo de vía.

Tabla 14. Módulo de reacción y módulo del conjunto de los diferentes tramos viales.

Módulo de Reacción (K)					Espesor de subbase (cm)
Subrasante Mejorada (K) (Kg/cm3)	Subrasante Mejorada (K) (Mpa/m)	Subrasante Mejorada (K) (pci)	Conjunto (Mpa/m)	Conjunto (pci)	
3.8372	38.372	140.97	52.3	192.7	20

Fuente: Elaboración propia.

Se define un **NT1**, para un número de vehículos esperados según el estudio de tránsito **(141.319 ejes equivalentes de 8.2 Ton)**. Las referencias de selección de subbase se muestran en la Tabla 15. Uso típico de las diferentes clases de subbase granular.

Tabla 15. 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: Tabla 320 - 1 Artículo 320 - 2022 INVIAS.

9. DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO

La resistencia a la flexión o módulo de rotura es utilizada en pavimentos rígidos ya que los esfuerzos a la compresión generados por las diferentes cargas en la superficie del pavimento son equivalentes a la presión de inflado, por lo cual la resistencia a la compresión se considera muy baja. De lo mencionado anteriormente se deduce que el parámetro de control en un pavimento rígido es la resistencia a la flexión influenciada por la temperatura, la geometría de las losas y principalmente el paso de los vehículos. Sin embargo, existen correlaciones que permiten calcular el módulo de rotura en función de la resistencia a la compresión, siendo la más utilizada la presentada en la ecuación.

$$S'c = MR = k\sqrt{Fc}$$

Donde:

MR = Módulo de rotura (Kg/cm²),

k = Coeficiente que varía entre 2.0 y 2.7, siendo 2.67 el más aproximado,

Fc = Resistencia a la compresión (Kg/cm²).

Para la determinación del módulo de rotura se tendrán en cuenta para el diseño cuatro niveles de resistencia a la flexión de acuerdo con el nivel de tránsito, según lo indica la Tabla 16. Resistencia que debe alcanzar el concreto. Una vez calculado el TPD se debe conocer el número de camiones que pasan por día sobre la vía en estudio, con base en este valor se determina el módulo de rotura del concreto; por lo que para 82 camiones en un periodo de 20 años; de acuerdo con el numeral 5.2 se tiene una resistencia:

Tabla 16. Resistencia que debe alcanzar el concreto.

Calidad del concreto	Número de camiones por día			
	> 300	150 – 300	25 - 150	< 25
A flexión (Mpa)	4.5	4.2	4.0	3.8

Fuente: Tabla 3-1 Manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

Sin embargo, con la Tabla 17. Criterios de diseño para la mezcla de concreto en pavimentos de concreto hidráulico., se puede también definir el criterio de diseño para el módulo de rotura dependiendo del nivel de tránsito.

Tabla 17. Criterios de diseño para la mezcla de concreto en pavimentos de concreto hidráulico.

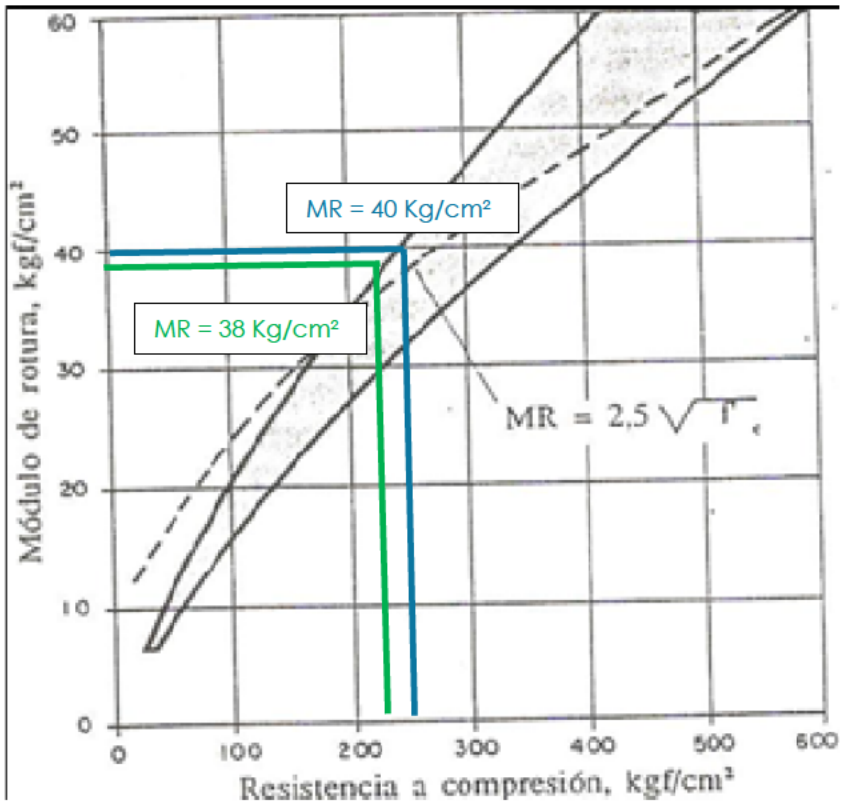
Característica	Norma de ensayo	Valor sugerido
Módulo de rotura a veintiocho días (28 d), mínimo (MPa): - Tránsito NT1 - Tránsito NT2 - Tránsito NT3 (Nota)	INV E – 414/NTC 2871	 3.8 4.0 4.2
Asentamiento (mm): - Formaleta deslizante - Flota motorizada - Regla vibratoria - Rodillo vibratorio - Cimbra de rodillo - Fast track	INV E – 404/NTC 396	 0 ±25 ±25 0 0 ±25
Nota: Si el proyecto especifica el uso de concretos de fraguado rápido, los documentos deben definir la edad a la cual se debe alcanzar la resistencia de diseño.		

Fuente: Tabla 500 - 8 Artículo 500 - 2022 INVÍAS.

Una vez calculado el tránsito promedio diario y apoyado con las tablas anteriores, se puede determinar que para un tránsito diario de 82 camiones (Periodo de 20 años) el módulo de rotura de la losa es **MR**

= 4.0 Mpa = 40 Kg/cm² o un tránsito NT1 el módulo de rotura de la losa de concreto es **MR = 3.8 Mpa = 38 Kg/cm².**

Gráfico 3. Correlación (F´c) y (MR).



Fuente: ICPC (199).

El módulo de rotura con un valor de:

MR = 3.8 Mpa = 38 Kg/cm², = F'c = 231 kgf/cm²

MR = 4.0. Mpa = 40 Kg/cm², = F'c = 256 kgf/cm²

Según la AASHTO para obtenerla en PSI se usa la siguiente formula:

$$S´c = 32\ x\ (F´c)^{1/2}$$

Aplicando la ecuación:

El módulo de ruptura es igual:

MR = 3.8. Mpa = **S´c = 486.36 PSI.**

MR = 4.0. Mpa = **S´c = 512 PSI.**

10. METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL PAVIMENTO

Para la estimación de la estructura del pavimento se utilizarán dos metodologías: el **método de la PCA** y el **método AASHTO**. Con el método AASHTO se realizará un **predimensionamiento de la losa**, cuyo valor servirá como referencia para su aplicación en el método de la PCA.

A continuación, se presenta algunos parámetros que se deben tener en cuenta en la metodología de diseño.

10.1. Módulo de rotura

Valor previamente hallado en el numeral 9.

10.2. Espectro de carga

Esta variable se obtuvo en el análisis de tránsito específicamente en el numeral 5.

Tabla 18. Espectro de carga periodo 20 años.

	VEHÍCULOS ACUMULADOS	EJES SIMPLES RUEDA SIMPLE			EJES SIMPLE RUEDA DOBLE		
		2.5 (T)	3.5 (T)	6 (T)	6 (T)	7.5 (T)	11 (T)
BUS	16498		16498			16498	
CAMIONES							
C2-P	18176	18176			18176		
C2-G	106646			106646			106646
TOTAL		18176	16498	106646	18176	16498	106646

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Resumen espectro de carga periodo 20 años.

TRÁNSITO DE DISEÑO ESPECTRO DE CARGA				TRÁNSITO DE DISEÑO EN EJES EQUIVALENTES	
EJE	**Carga**	**Número de repeticiones**	**Carga Kn**	**Carga**	**Repeticiones**
SRS	**2.5 (T)**	18176	**24,52 kN**	8,2 Ton	141319
	3.5 (T)	16498	**34,32 kN**		
	6 (T)	106646	**58,84 kN**		
SRD	**6 (T)**	18176	**58,84 kN**		
	7.5 (T)	16498	**73,55 kN**		
	11 (T)	106646	**107,87 kN**		

Fuente: Elaboración propia.

10.3. Periodo de diseño

Esta variable se obtuvo en el estudio de tránsito, obteniéndose un periodo de diseño de 20 años.

10.4. Pre-dimensionamiento de la losa de concreto por el Método de la AASHTO

Este método fue desarrollado por la AASHTO en 1986 y tiene como esencia la determinación del espesor de un pavimento de concreto rígido que pueda soportar el número de ejes equivalentes sin producir una disminución en la capacidad de servicio. El espesor de la losa de concreto se determina por medio de la ecuación.

$$log_{10}(W18) = Z_R * S_o + 7.35 * log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right]}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D+1)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.32 * p_t) * log_{10}\left[\frac{S'c * C_d * (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * J * \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(\frac{Ec}{k})^{0.25}}\right]}\right]$$

Donde:

W18 = Número de ejes equivalentes de 8.2 Ton,

Z_R = Desviación normal estándar,

S_o = Erro estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento,

D = Espesor del pavimento de concreto,

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final,

p_t = Índice de servicio final,

S´c = MR = Resistencia a la flexión a los 28 días (Módulo de rotura),

C_d = Coeficiente de drenaje,

J = Coeficiente de transmisión del concreto en (Mpa),

Ec = Módulo de elasticidad del concreto en (Mpa),

K = Módulo de reacción del conjunto en (Mpa/m).

A continuación, se define el valor de las diferentes variables mencionadas para luego ser ingresadas al software BS-PCAA (diseño de pavimentos rígidos).

10.4.1. Desviación normal estándar (Zr)

La desviación normal estándar se define en función de la confiabilidad y considerando una serie de variables como espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje y el transito que pueda soportar. Todo lo mencionado en función de la serviciabilidad de la vía.

Tabla 20. Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes clasificaciones según función.

Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes clasificaciones según función		
Clasificación según función	**Niveles de confiabilidad recomendados**	
	Urbano	**Rural**
Autopistas y multicarriles	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 – 95
Colectoras o secundarias	80 – 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 – 80
Nota: Resultados basados en una encuesta del grupo de trabajo de AASHTO.		

Fuente: Tabla 2.2 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

De la Tabla 20. Niveles de confiabilidad sugeridos para diferentes clasificaciones según función. Se define para el tramo, locales, por lo que el nivel de confianza seleccionado es **80%**.

Tabla 21. Valores Zr en función de la confiabilidad.

Valores de desviación estándar normal correspondientes al nivel de confiabilidad seleccionado	
Confiabilidad, R (Porcentaje)	**Desviación estándar normal, Zr**
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Tabla 4.1 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Para un nivel de confiabilidad del **80%**, se tiene un **Zr = -0.841**.

10.4.2. Error estándar combinado (SO)

Se combina la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito, con la desviación estándar de la ley de comportamiento del pavimento.

Los rangos de valores para error estándar combinado (S_O), dependiendo del tipo de pavimento.

Tabla 22. Error estándar combinado So según el tipo de pavimento.

Valores error estándar combinado (S_O) según el tipo de pavimento	
0.30 – 0.40	Pavimento rígido
0.40 – 0.50	Pavimentos flexibles

Fuente: Elaboración propia según AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Este parámetro se define como el error de la predicción del tránsito y la predicción del comportamiento estructural, este valor varía de 0.30 a 0.40 para pavimentos rígidos, específicamente 0.35 para una construcción nueva y 0.40 para construcción sobre capas existentes. Adicional a esto tiene en cuenta los errores o desviaciones de diseño debido a:

- Variaciones en propiedades de los materiales.
- Variaciones en las propiedades de la subrasante.
- Variaciones en la estimación del tránsito.
- Variaciones en las condiciones climáticas.
- Variaciones en la calidad de la construcción.

En cuanto al desvío standard de las variables, S_O se recomienda para pavimentos rígidos un valor de 0.34 para el caso en que se considere la varianza del tránsito futuro y $S_O = 0.39$ para el caso en que esta no esté considerada.

Para efectos de este diseño se tomará un valor de **So=0.35**.

10.4.3. Diferencia entre la servicialidad inicial y final ((ΔPSI)

Tabla 23. Nivel de servicialidad final.

Nivel de servicialidad final	Porcentajes de personas que lo consideran inaceptable
3.0	12
2.5	55
2.0	85

Fuente: Elaboración propia según AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Para carreteras menores, donde las consideraciones económicas dictan que la inversión inicial se mantenga al mínimo, se sugiere que esto se logre reduciendo el período de diseño o el volumen total de tráfico, en lugar de diseñar para un nivel de servicio terminal inferior a 2.0.

Dado que el momento en que una estructura de pavimento alcanza su nivel de servicio terminal depende del volumen de tráfico y del nivel de servicio inicial (p_0), se debe considerar también el valor

de p_0 durante el diseño. (Debe reconocerse que los valores de p_0 observados en la prueba de carreteras de AASHO fueron 4.2 para pavimentos flexibles y 4.5 para pavimentos rígidos).

Entonces, para conocer la diferencia de serviciabilidad se debe conocer inicialmente el índice de serviciablidad inicial el cual depende de la calidad de la construcción; el valor obtenido en los ensayos realizados por la AASHTO es de **4.5** en pavimentos de concreto rígido.

El valor del índice de serviciabilidad final se considera como el índice más bajo antes que la vía deba ser intervenida para algún tipo de rehabilitación o refuerzo estructural; para este tipo de vía la cual cuenta con un tránsito medio y se espera un tránsito medio de vehículos pesados a futuro se considera un valor **2.5**. Por último, el diferencial de la serviciabilidad final con la inicial es igual a **2.0 = (ΔPSI).**

10.4.4. Coeficiente de drenaje (Cd)

Los valores de los coeficientes de drenaje dependen de la calidad de drenaje la cual está en función del tiempo en que demora el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento y del porcentaje del tiempo a lo largo del año en que está expuesto el pavimento a la humedad o a niveles cercanos de saturación; este último parámetro depende de la ubicación del proyecto y de la presencia o niveles freáticos. A continuación, se relaciona la calidad del drenaje con el tiempo para remover el agua. Ver Tabla 24. Capacidad del drenaje para remover el agua.

Tabla 24. Capacidad del drenaje para remover el agua.

Calidad de drenaje	Tiempo en que el agua es eliminada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no es drenada

Fuente: AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Tabla 25. Valores recomendados del coeficiente de drenaje, Cd, para el diseño de pavimentos rígidos

Valores recomendados del coeficiente de drenaje, Cd, para el diseño de pavimentos rígidos				
Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación				
Calidad de drenaje	**Menos del 1%**	**1 – 5%**	**5 – 25%**	**Más del 25%**
Excelente	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
Pobre	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
Muy pobre	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Fuente: Tabla 2.5 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

De acuerdo con la clasificación del drenaje como “Bueno”, se considera que el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación no supera el 25%. Bajo estos criterios, y conforme a los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje (Cd), se adopta un valor de **Cd = 1.00**, correspondiente a una calidad de drenaje "buena" con exposición a humedad entre el **5% y el 25%** del tiempo.

10.4.5. Coeficiente de transmisión de carga (J)

Según la AASHTO, el uso de bermas de hormigón vinculadas a calzadas o trochas exteriores ensanchadas reducen las tensiones y deformaciones en una losa. Es por lo que se usan valores menores de J. Para pavimentos de hormigón armado continuo, el rango de J es entre 2.3 y 2.9 con un valor recomendable de 2.6. Para pavimentos con juntas, el valor de J varía entre 2.5 y 3.1, pudiéndose optar por cualquier valor en este rango basándose en la' experiencia local. La razón para tomar J menores en pavimentos con bermas de hormigón vinculada es porque se supone que los vehículos no transitarán por la misma. Es necesario tener en cuenta que la zona crítica de la losa es la esquina y con esta premisa las cargas se alejan de ella, permitiendo una reducción de espesores.

Tabla 26. Coeficiente de transferencia de carga recomendado para diferentes tipos de pavimentos y condiciones de diseño.

Coeficiente de transferencia de carga recomendado para diferentes tipos de pavimentos y condiciones de diseño				
Berma	**Asfáltico**		**Concreto**	
Dispositivos de Transferencia de Carga	Si	No	Si	No
Tipo de pavimento				
1. Pavimentos no reforzado o reforzado con junta	3.2	3.8 – 4.4	2 .5 – 3.1	3.6 – 4.2
2. Pavimento de Concreto Reforzado Continuamente (CRCP)	2.9 – 3.2	N/A	2 .3 – 2.9	N/A

Fuente: Tabla 2.6 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Para estimar el coeficiente de transferencia de carga J, se debe determinar si se tiene en cuenta o no las bermas de concreto unidas o losas ensanchadas las cuales reducen las tensiones y deformaciones en una losa. Es por eso por lo que se usan valores menores de J. La razón para tomar J menores en pavimentos con bermas de concreto unida es porque se supone que los vehículos no transitarán por ellas, en este caso como se proyectan vías estrechas este efecto no se tendrá en cuenta.

Este parámetro se considera para tener en cuenta la capacidad del concreto para transmitir las cargas a través de las discontinuidades, dicho de otra forma, la capacidad de transmitir cargas según la modulación de las losas de concreto. Para este proyecto se considera un valor de **J = 3.1**, siendo este valor el máximo para este tipo de pavimentos.

10.4.6. Módulo de rotura (S´c)

Este parámetro se estima como se describe en el numeral 9.

10.4.7. Módulo de elasticidad del concreto (Ec)

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura.

Se determina de acuerdo con el procedimiento descrito en la Norma ASTM C469, o en su defecto correlacionándolo con otras características del material como lo es la resistencia a la compresión.

Tabla 27. Correlación entre la resistencia a la comprensión y el módulo de elasticidad.

Tipo de agregado y origen	Módulo de elasticidad Ec (Mpa – Kg/cm²)
Sin información	$Ec = 3.900\sqrt{f'c} - 12.500\sqrt{f'c}$
Grueso – Sedimentario	$Ec = 3.600\sqrt{f'c} - 11.500\sqrt{f'c}$
Grueso – Ígneo	$Ec = 5.500\sqrt{f'c} - 17.500\sqrt{f'c}$
Grueso – Metamórfico	$Ec = 4.700\sqrt{f'c} - 15.000\sqrt{f'c}$

Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 29. Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto, Ing. Civil Cipriano A. Londoño N.

Dónde:

f'c: Resistencia a la compresión del concreto (Mpa – Kg/cm²).

Para un concreto de módulo de rotura igual a 38 Kg/cm², lo cual equivale a 231 Kg/cm² de resistencia a la compresión, se tiene lo siguiente:

Tabla 28. Resultados de módulo de elasticidad según los tipos de agregados y origen, para un MR = 38 Kg/cm².

Tipo agregado y origen	Módulo de elasticidad (Kg/cm²)	Módulo de elasticidad (PSI)
Sin información	189983.5519	2702201.28
Grueso – Sedimentario	174784.8678	2486025.18
Grueso – Ígneo	265976.9727	3783081.79
Grueso – Metamórfico	227980.2623	3242641.54

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que para un concreto de módulo de rotura igual a 40 Kg/cm², lo cual equivale a 256 Kg/cm² de resistencia a la compresión, se tiene lo siguiente:

Tabla 29. Resultados de módulo de elasticidad según los tipos de agregados y origen, para un MR = 40 Kg/cm².

Tipo agregado y origen	Módulo de elasticidad (Kg/cm²)	Módulo de elasticidad (PSI)
Sin información	200000	2844668.66
Grueso – Sedimentario	184000	2617095.17
Grueso – Ígneo	280000	3982536.13

Tipo agregado y origen	Módulo de elasticidad (Kg/cm²)	Módulo de elasticidad (PSI)
Grueso – Metamórfico	240000	3413602.39

Fuente: Elaboración propia.

10.4.8. Módulo de reacción de la subrasante

Se han propuesto algunas correlaciones de K a partir de datos de CBR de diseño de la subrasante, siendo una de las más aceptadas por AASHTO las expresiones siguientes:

$$K = 2.55 + 52.5 * (log\ CBR)\ Mpa/m\ \ CBR \leq 10$$

$$K = 46.0 + 9.08 * (log\ CBR)^{4.34}\ Mpa/m\ \ CBR > 10$$

Para el caso del proyecto se tiene K es igual **35.38 Mpa/m = 129.1 pci.**

10.4.9. Determinación del espesor de la losa

Para obtener el espesor de la losa, depende de las variables consignadas en la Tabla 30. Datos de entrada pavimento software Modified AASHTO Pavement Equation. Sin embargo, el espesor también varía de acuerdo con el módulo de elasticidad del tipo de agregado y su origen.

Tabla 30. Datos de entrada pavimento software Modified AASHTO Pavement Equation.

MR =	3.8 Mpa 4.0 Mpa
S'c =	486.36 PSI 512 PSI
Ejes equivalentes 8.2 Ton	141.319

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta los cálculos de los espesores según los diferentes tipos de agregados y su origen.

1. **Cálculo del espesor de losa con los siguientes datos:**

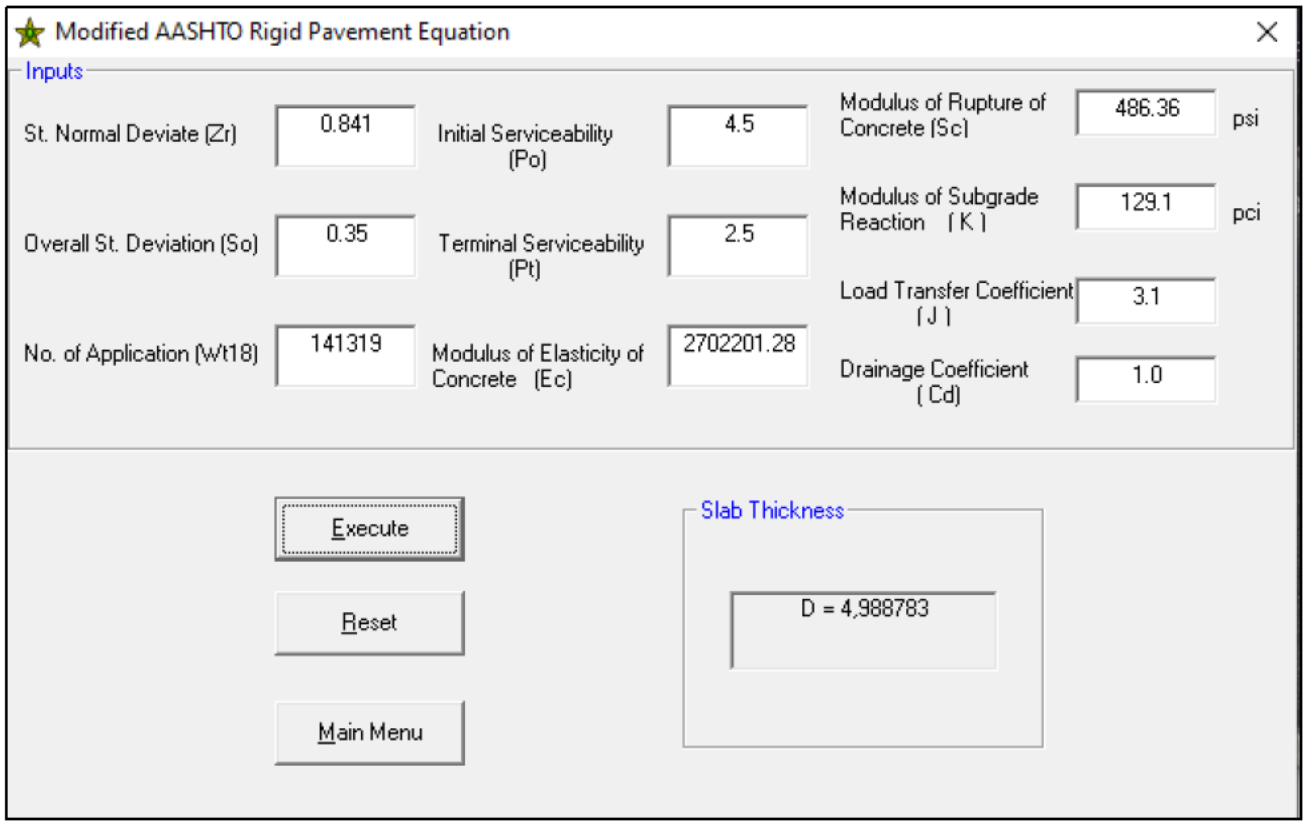
Tabla 31. Datos de entrada para el módulo elasticidad del agregado sin información.

MR =	3.8 Mpa 4.0 Mpa
S'c =	486.36 PSI 512 PSI

Módulo de reacción de la subrasante	129.1 pci
Ejes equivalentes 8.2 Ton	141.319
Módulo de elasticidad del agregado sin información para MR = 3.8 Mpa	2702201.28 PSI
Módulo de elasticidad del agregado sin información para MR = 4.0 Mpa	2844668.66 PSI

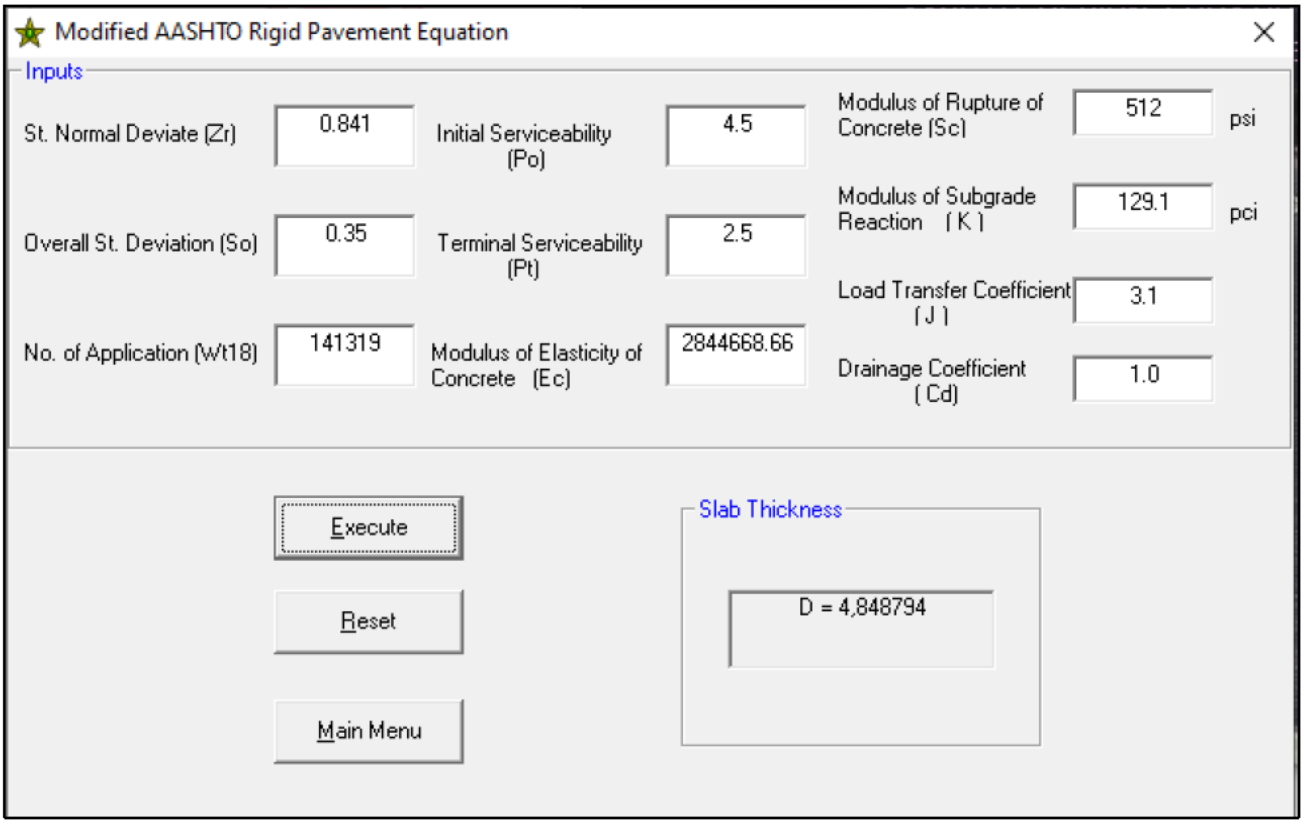
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 6. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Sin información - MR = 3.8 Mpa.



Fuente: University of IDHO.

Ilustración 7. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Sin información - MR = 4.0 Mpa.



Fuente: University of IDHO.

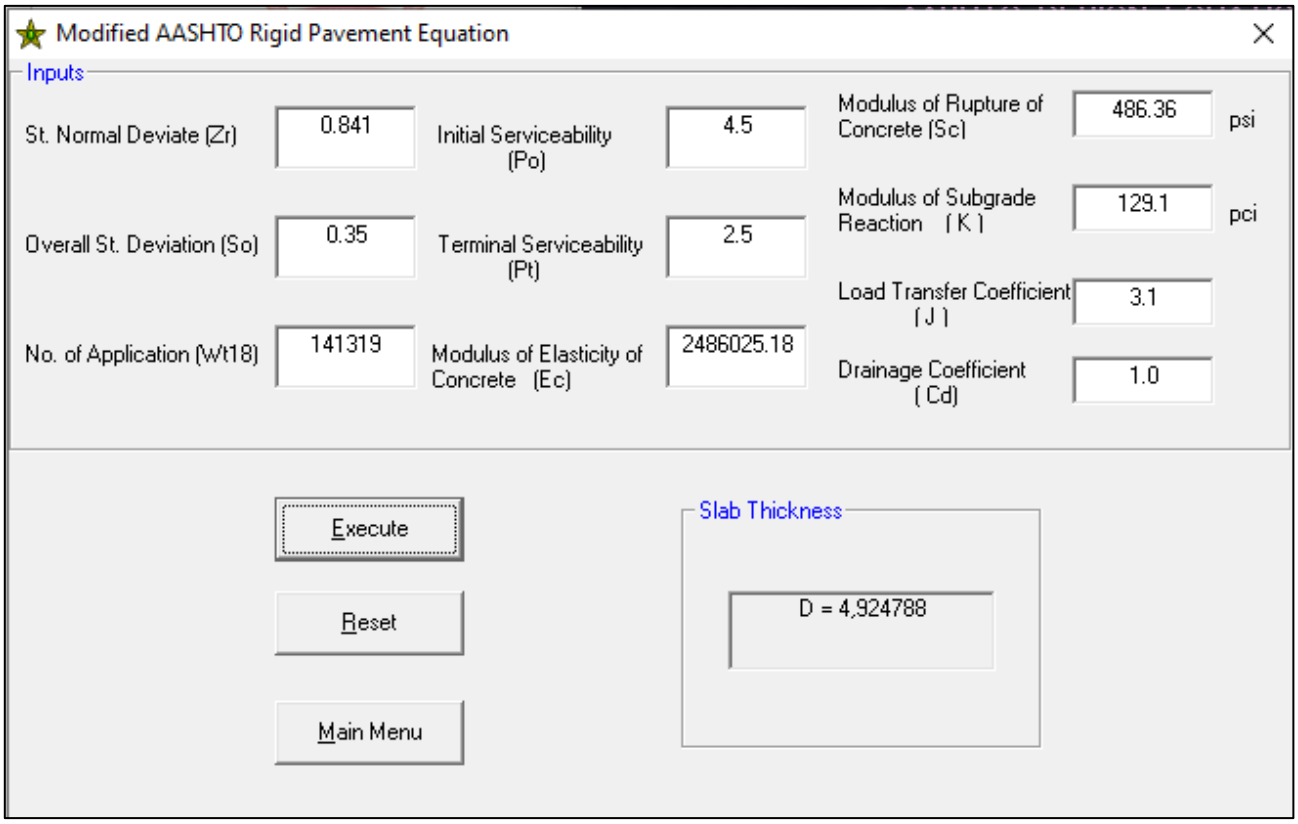
2. Cálculo del espesor de losa con los siguientes datos:

Tabla 32. Datos de entrada para el módulo elasticidad del agregado sedimentario.

MR =	3.8 Mpa 4.0 Mpa
S'c =	486.36 PSI 512 PSI
Módulo de reacción de la subrasante	129.1 pci
Ejes equivalentes 8.2 Ton	141.319
Módulo de elasticidad del agregado sedimentario para MR = 3.8 Mpa	2486025.18 PSI
Módulo de elasticidad del agregado grueso – sedimentario para MR = 4.0 Mpa	2617095.17 PSI

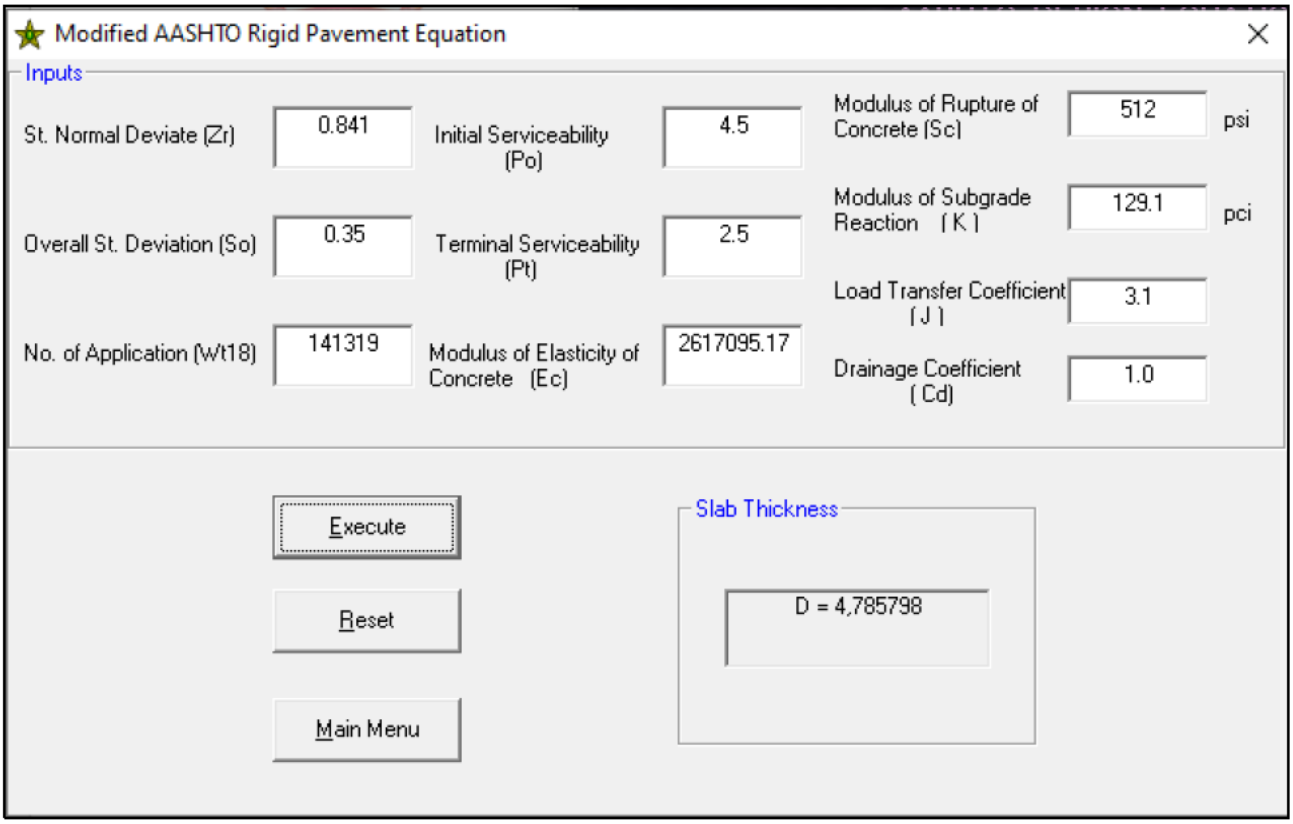
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 8. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Sedimentario - MR = 3.8 Mpa.



Fuente: University of IDHO.

Ilustración 9.Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Sedimentario - MR = 4.0 Mpa.



Fuente: University of IDHO.

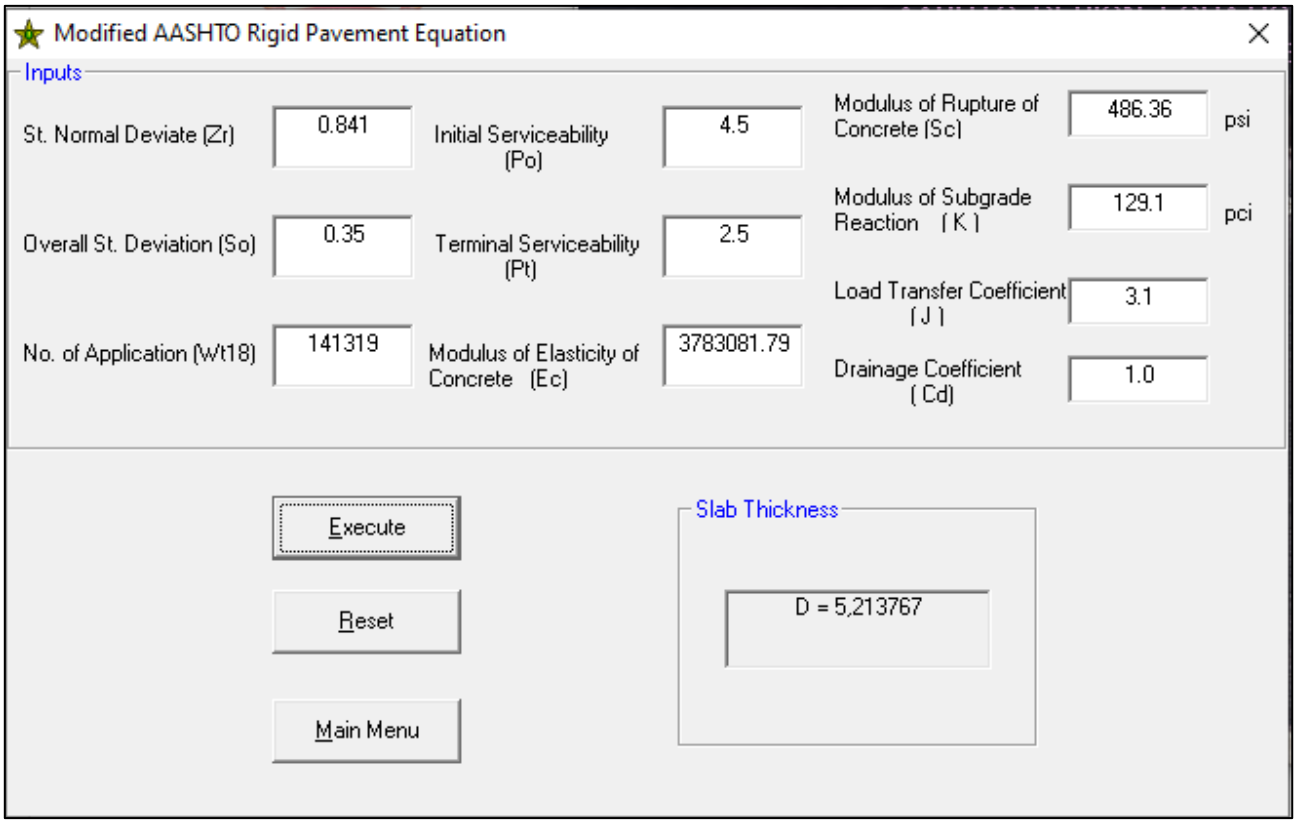
3. Cálculo del espesor de losa con los siguientes datos:

Tabla 33. Datos de entrada para el módulo elasticidad del agregado ígneo.

MR =	3.8 Mpa 4.0 Mpa
S'c =	486.36 PSI 512 PSI
Módulo de reacción de la subrasante	129.1 pci
Ejes equivalentes 8.2 Ton	141.319
Módulo de elasticidad del agregado grueso – ígneo para MR = 3.8 Mpa	3783081.79 PSI
Módulo de elasticidad del agregado grueso – ígneo para MR = 4.0 Mpa	3982536.13 PSI

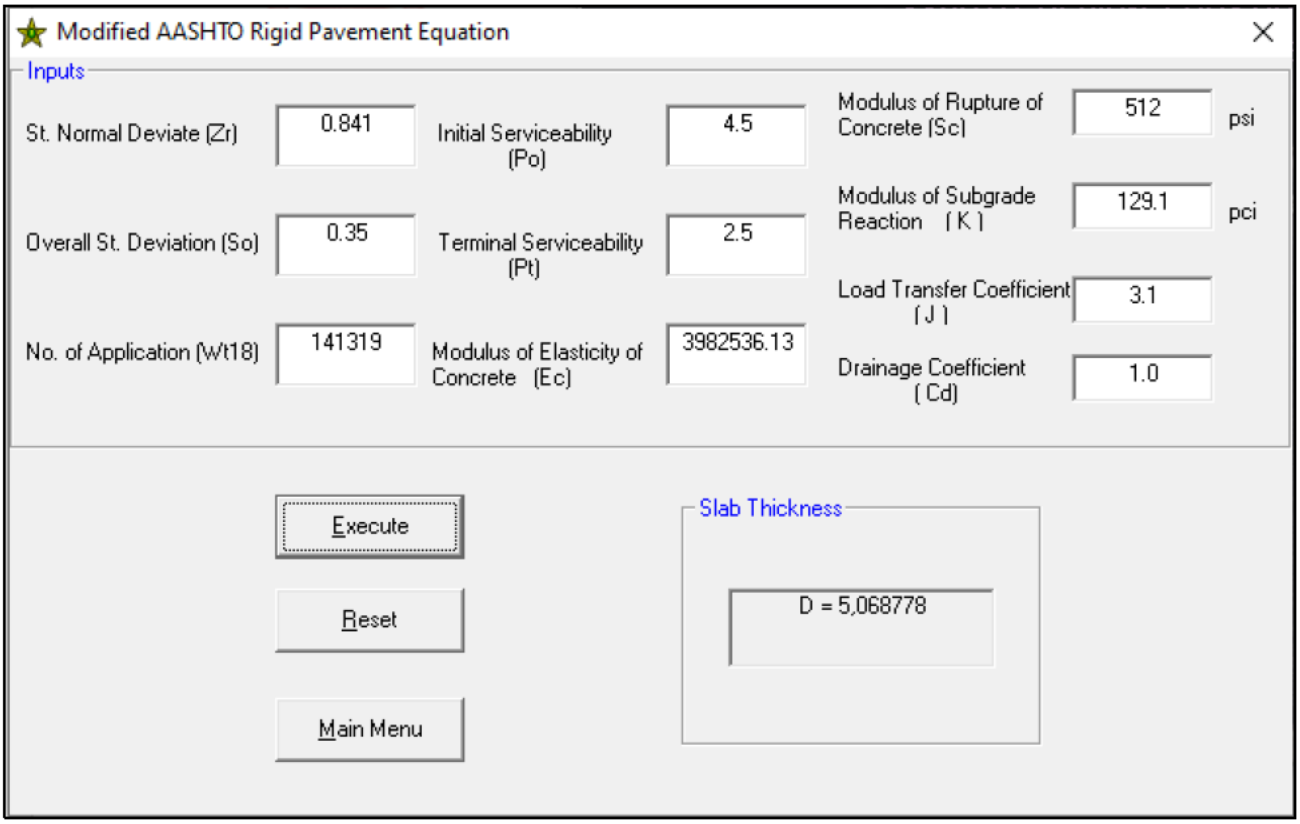
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 10. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Ígneo - MR = 3.8 Mpa.



Fuente: University of IDHO.

Ilustración 11. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen, Ígneo - MR = 4.0 Mpa.



Fuente: University of IDHO.

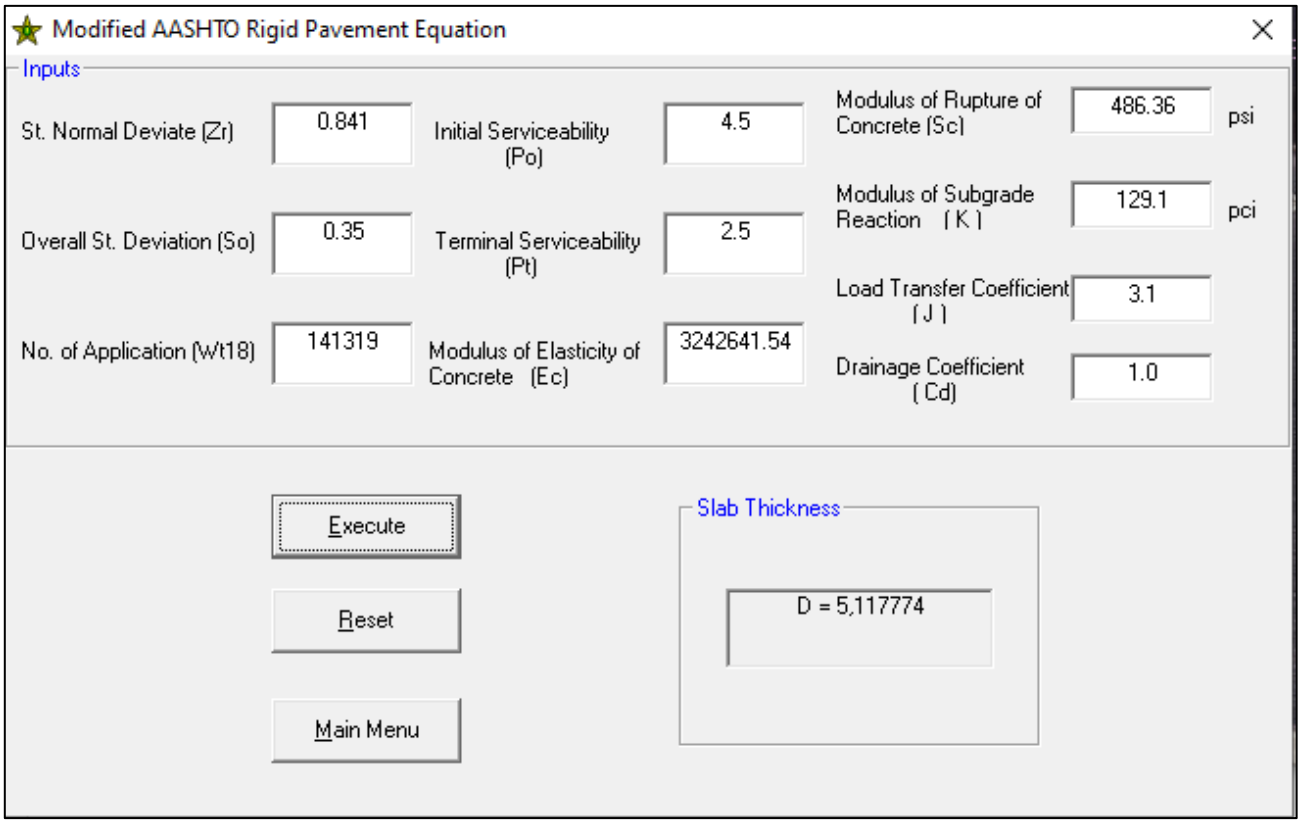
4. Cálculo del espesor de losa con los siguientes datos:

Tabla 34. Datos de entrada para el módulo elasticidad del agregado metamórfico.

MR =	3.8 Mpa 4.0 Mpa
S'c =	486.36 PSI 512 PSI
Módulo de reacción de la subrasante	129.1 pci
Ejes equivalentes 8.2 Ton	141.319
Módulo de elasticidad del agregado grueso -metamórfico MR = 3.8 Mpa	3242641.54 PSI
Módulo de elasticidad del agregado grueso -metamórfico MR = 4.0 Mpa	3413602.39 PSI

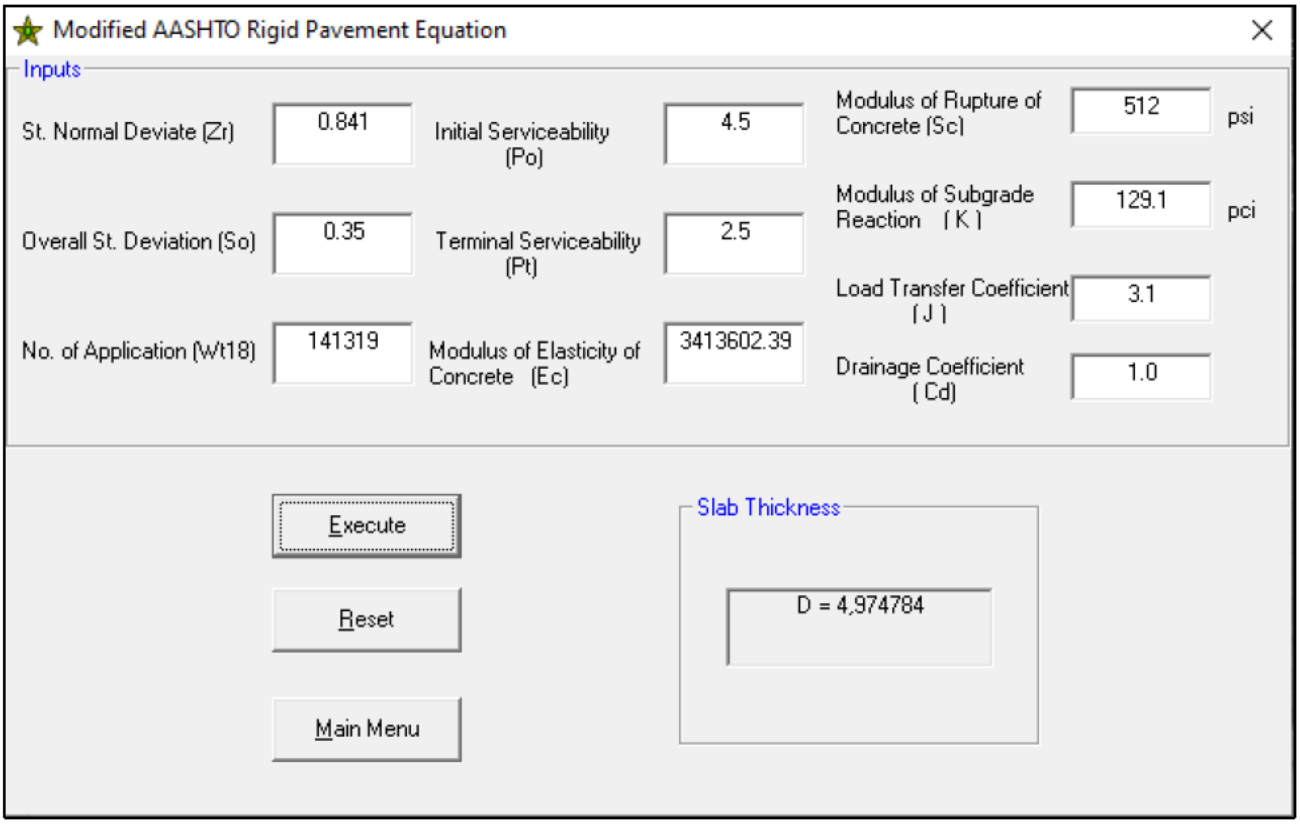
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 12. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen Metamórfico - MR = 3.8 Mpa.



Fuente: University of IDHO.

Ilustración 13. Resultados obtenidos del espesor de la losa, software Modified AASHTO Pavement Equation – Tipo de agregado y origen Metamórfico - MR = 4.0 Mpa.



Fuente: University of IDHO.

A continuación, se resumen los resultados obtenidos:

Tabla 35. Resultados de los espesores con variación en el tipo de agregado y origen.

Tipo agregado y origen	Espesor (Pulg) para un MR = 3.8 Mpa	Espesor (Pulg) para un MR = 4.0 Mpa	Espesor (cm) para un MR = 3.8 Mpa	Espesor (cm) para un MR = 4.0 Mpa
Sin información	4.988783	4.848794	12,67	12,32
Grueso – Sedimentario	4.924788	4.785798	12,51	12,16
Grueso – Ígneo	5.213767	5.068778	13,24	12,87
Grueso – Metamórfico	5.117774	4.974784	13,00	12,64

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Resumen de los espesores de acuerdo al módulo de rotura.

	Tipo agregado y origen	Espesor (cm)	Espesor aproximado (cm)
Módulo de rotura 3.8 Mpa	Sin información	12,67	≈ 15.00
	Grueso – Sedimentario	12,51	
	Grueso – Ígneo	13,24	
	Grueso – Metamórfico	13,00	
Módulo de rotura 4.0 Mpa	Sin información	12,32	≈ 15.00
	Grueso – Sedimentario	12,16	
	Grueso – Ígneo	12,87	
	Grueso – Metamórfico	12,64	

Fuente: Elaboración propia

Una vez se obtiene un análisis preliminar del pre-dimensionamiento del espesor de la losa, se procede a verificar su idoneidad mediante la metodología de diseño de pavimentos rígidos propuesta por la *Portland Cement Association (PCA)*. Esta metodología permite evaluar si el espesor de la losa y la subbase granular cumplen con los requerimientos establecidos en términos de fatiga y erosión, verificando que los índices de fatiga y erosión sean inferiores al 100%. En caso de no cumplirse, se realizan los ajustes necesarios en el espesor de la losa o la subbase para garantizar la durabilidad y funcionalidad del pavimento. Además, la metodología permite corroborar que el espesor final de la subbase granular sea adecuado para brindar el soporte estructural necesario y minimizar el riesgo de falla por bombeo y pérdida de material en la interfaz entre la losa y la subbase.

10.5. Pre-dimensionamiento de la losa en concreto por el Método de la Portland Cement Asociation

El procedimiento para determinar el espesor del pavimento rígido se basa en las solicitaciones del tránsito y en el periodo de diseño durante el cual la estructura del pavimento reduce su capacidad de soportar las mencionadas solicitaciones. A continuación, se describen los factores que afectan el diseño de la estructura del pavimento por el método de la PCA.

10.5.1. Análisis de fatiga

Para el dimensionamiento de la losa de concreto se tiene como primer parámetro de diseño el análisis por fatiga, el cual se realiza para proteger el pavimento contra la acción de los esfuerzos para la acción repetida de las cargas. En el análisis de fatiga se analiza el comportamiento del esfuerzo de borde y esfuerzo interno contra el módulo de rotura del concreto y se determina el esfuerzo de borde e interno por cada carga (σb) por tracción en la fibra inferior de la losa de concreto. La falla por fatiga en una losa de concreto rígido se representa por medio de una fisura transversal.

Es decir, la fatiga se refiere a la acumulación de microfisuras en la losa debido a cargas repetidas (como el tránsito vehicular), que con el tiempo generan grietas visibles y comprometen la estructura.

Influencia del espesor de la losa:

a) Distribución de las cargas**:** A mayor espesor, la losa puede distribuir mejor las cargas hacia la subbase, reduciendo las tensiones internas.

b) Menor flexión: Un pavimento más grueso tiene mayor rigidez, lo que disminuye la posibilidad de que se desarrollen fisuras por flexión.

c) Ciclo de vida más largo: Al reducir las tensiones inducidas por la carga, un mayor espesor permite que la losa soporte más ciclos de carga sin romperse, retrasando la falla por fatiga.

10.5.2. Análisis de Erosión

El segundo criterio para el dimensionamiento de la losa de concreto es el análisis por erosión que se presenta en el soporte de la losa de concreto, en este caso la subbase granular. En este análisis se busca limitar los efectos de deflexión del pavimento en los bordes de la losa, juntas y esquinas. A continuación, se expresan las variables para el análisis de erosión.

Es decir, la erosión ocurre cuando el agua o las partículas de la subbase migran hacia la interfaz entre la losa y la base, debilitando el soporte y facilitando la aparición de fallas como el *pumping* (succión de materiales). Esto sucede especialmente en las juntas y los bordes de la losa, donde se concentran esfuerzos y filtraciones de agua.

Influencia de la subbase granular:

- Soporte adecuado: Si la subbase granular no tiene la capacidad suficiente para resistir las cargas, puede deformarse o perder material debido al tráfico repetido.
- Control de infiltraciones: Una subbase bien compactada y con buenas propiedades drenantes minimiza el riesgo de acumulación de agua, reduciendo la erosión.
- Estabilidad y durabilidad: La subbase reduce los desplazamientos diferenciales y evita que se produzcan vacíos bajo la losa, lo que disminuye la probabilidad de bombeo (*pumping*) y erosión.

10.5.3. Factor de seguridad de carga

El método exige que las cargas reales sean afectadas por un factor de seguridad (Fsc), el cual depende de las características de las vías, en la siguiente tabla se resumen los valores recomendados:

Tabla 37. Factor de seguridad de carga.

Tipo de vías y condición del tránsito	Factor de seguridad de carga (Fsc)
Vías de tránsito pesado (Autopistas de varios carriles).	1.20
Carreteras y arterias urbanas con tránsito moderado de vehículos pesados.	1.10
Carreteras secundarias, calles residenciales y otras vías con volúmenes bajo de tránsito pesado.	1.00

Fuente: Metodología PCA 1984.

10.5.4. Determinación del espesor de la losa

Corroboración del espesor de la losa y la subbase granular:

Tabla 38. Datos de entrada pavimento software PCA.

Espesor de la losa predimensionamiento método de la AASHTO.	150 mm
Módulo de reacción de la subrasante (K) numeral 8.2	43.2 MPa/m 47.1 MPa/m 52.3 MPa/m 55.0 MPa/m 58.0 MPa/m 63.7 MPa/m
MR =	3.8 Mpa 4.0 Mpa
Ejes equivalentes 8.2 Ton	141.319
Factor de seguridad	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Resultados obtenidos de la estructura del pavimento software PCA periodo de diseño 20 años.

Espesor de la subbase (mm)	K de la subrasante combinada (Mpa/m)	Espesor de la losa (mm)	Módulo de rotura (Mpa)	Fatiga %	Erosión %
100	43.2	150	3.8	2954504.6	44.87
150	47.1	150	3.8	903570.24	43.10
200	52.3	150	3.8	394099.40	41.90
225	55.0	150	3.8	265476.88	41.34
250	58.0	150	3.8	174631.48	40.73
300	63.7	150	3.8	82968.26	39.62
100	43.2	200	3.8	563.11	3.44
150	47.1	200	3.8	259.65	3.24

Espesor de la subbase (mm)	K de la subrasante combinada (Mpa/m)	Espesor de la losa (mm)	Módulo de rotura (Mpa)	Fatiga %	Erosión %
200	52.3	200	3.8	151.49	3.11
225	55.0	200	3.8	117.33	3.05
250	58.0	200	3.8	89.54	2.99
300	63.7	200	3.8	53.67	2.88/
100	43.2	150	4.0	815687.84	44.87
150	47.1	150	4.0	264685.10	43.10
200	52.3	150	4.0	120335.47	41.90
225	55.0	150	4.0	82679.12	41.34
250	58.0	150	4.0	55537.96	40.73
300	63.7	150	4.0	27386.86	39.62
100	43.2	200	4.0	238.57	3.44
150	47.1	200	4.0	114.34	3.24
200	**52.3**	**200**	**4.0**	**67.89**	**3.11**
225	55.0	200	4.0	51.74	3.05
250	58.0	200	4.0	37.79	2.99
300	63.7	200	4.0	19.86	2.88

Fuente: Elaboración propia según valores obtenidos en la PCA.

Porcentaje total de fatiga: 67.89%

Porcentaje total de erosión: 3.11%

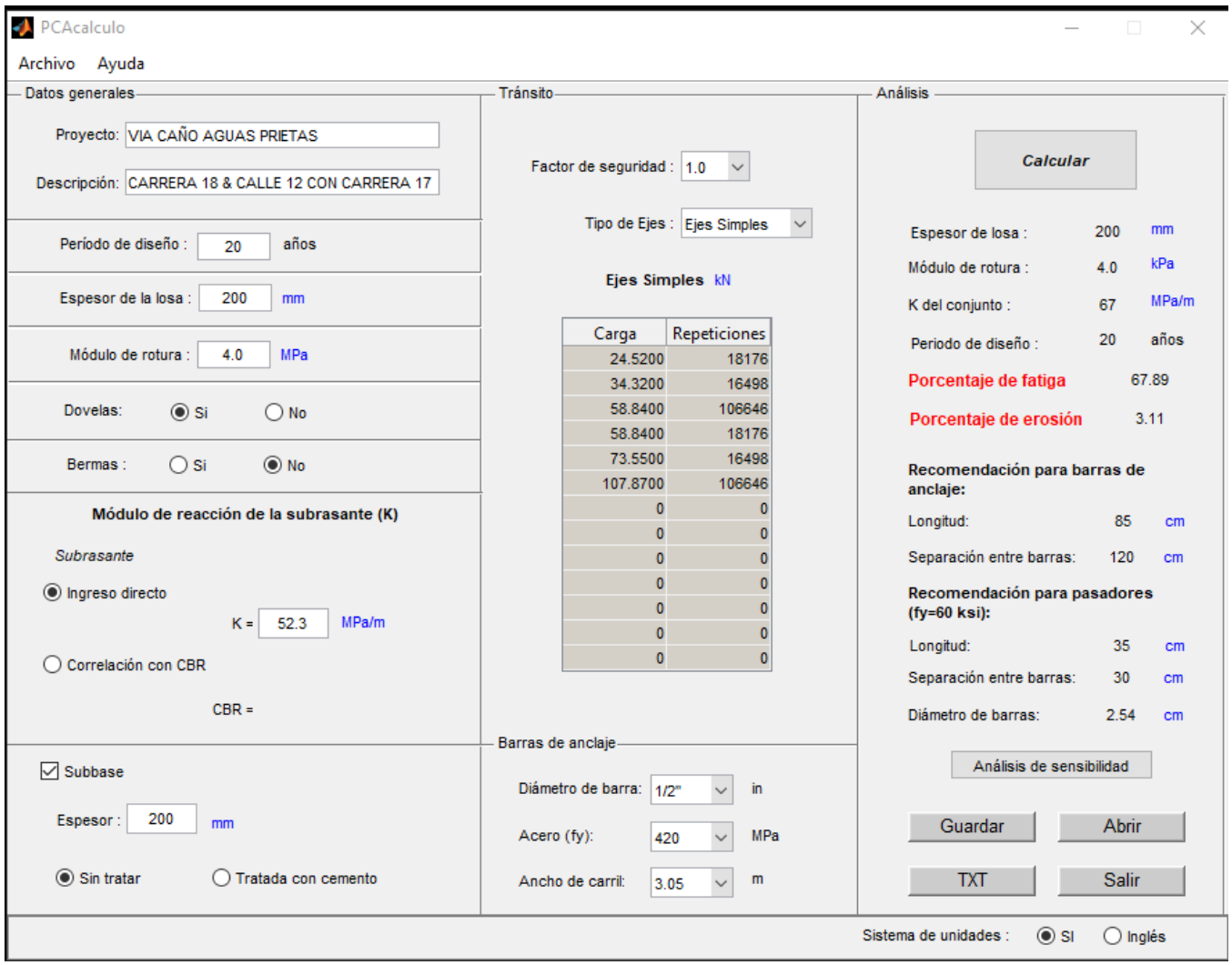
Se toma como mejor opción un espesor de subbase 20 cm, un módulo de rotura 4.0 Mpa y un espesor de losa de 20 cm, para un periodo de diseño de 20 años, con un número de ejes equivalentes de 8.2 Ton = 141.319.

Tabla 40. Resumen de las dimensiones de la losa Método PCA.

Espesor de la losa (mm)	Módulo de rotura MPa	Módulo K del conjunto (MPa/m)	Espesor de la Subbase (mm)	Fatiga%	Erosión%	Módulo K para Subbase (MPa/m) hallada Software PCA
200	4.0	52.3	200	67.89	3.11	67

Fuente: Elaboración propia

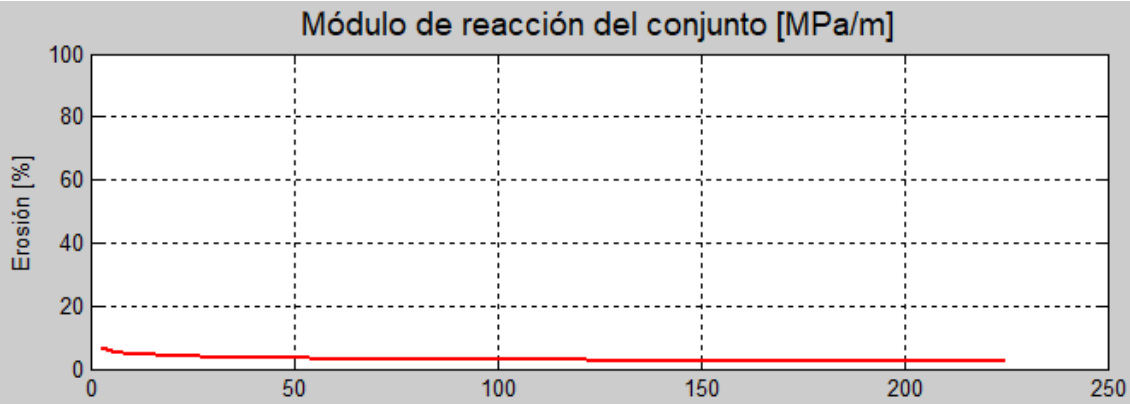
Ilustración 14. Software PCA periodo de diseño 20 años.



Fuente: Software PCA.

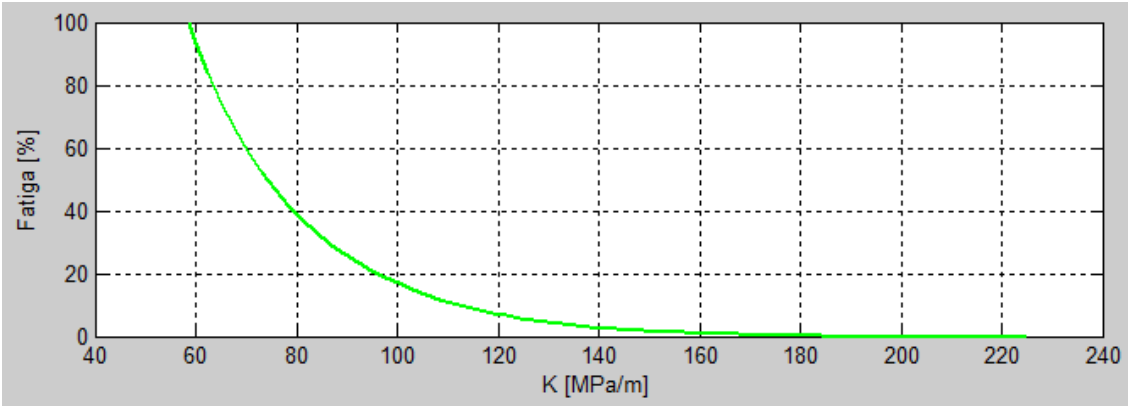
11. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Gráfico 4. Erosión % Vs K (Mpa/m), periodo de diseño 20 años.



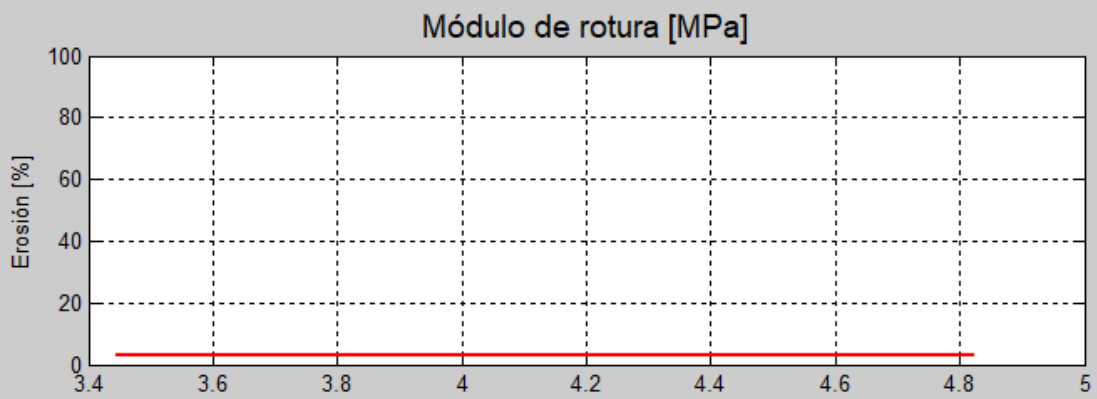
Fuente: Cálculo PCA.

Gráfico 5. Fatiga % Vs K (Mpa/m), periodo de diseño 20 años.



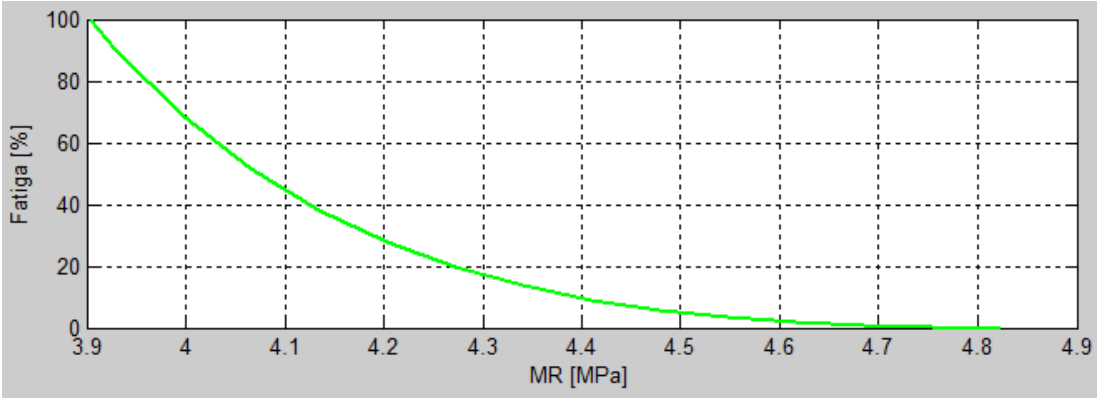
Fuente: Cálculo PCA.

Gráfico 6. Erosión % Vs MR (Mpa), periodo de diseño 20 años.



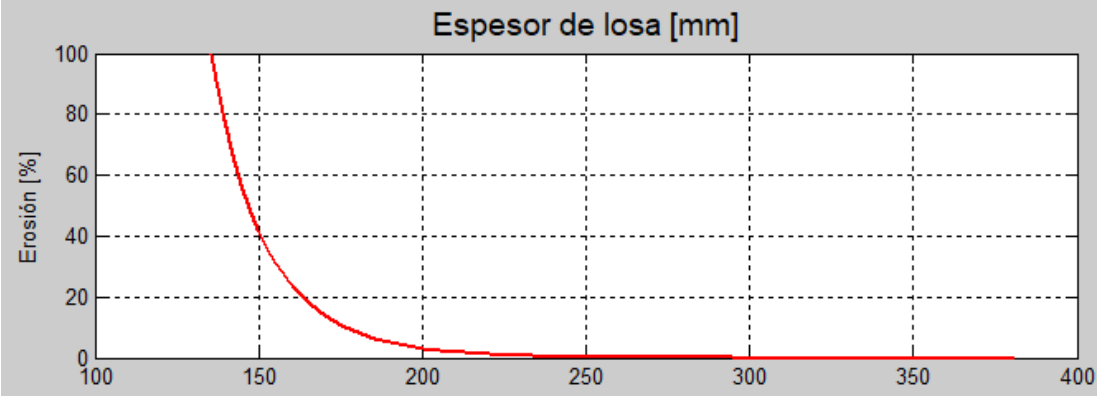
Fuente: Cálculo PCA.

Gráfico 7. Fatiga % Vs MR (Mpa), periodo de diseño 20 años.



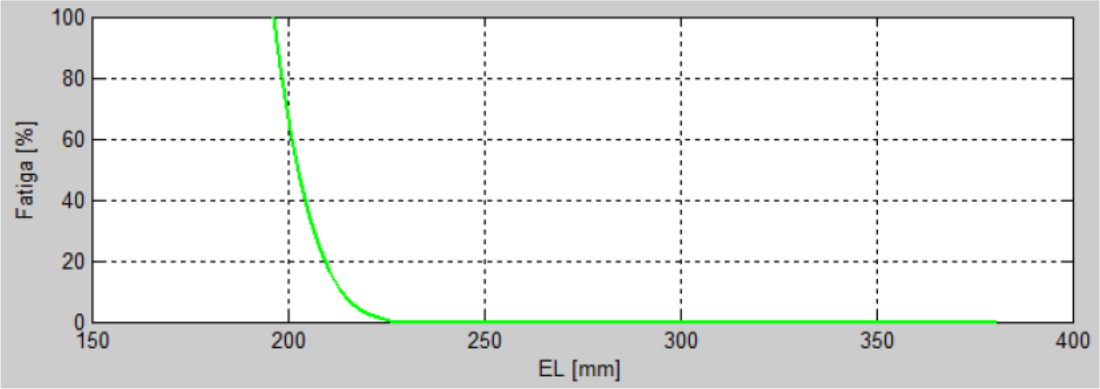
Fuente: Cálculo PCA.

Gráfico 8. Erosión % Vs E (mm), periodo de diseño 20 años.



Fuente: Cálculo PCA.

Gráfico 9. Fatiga % Vs E (mm), periodo de diseño 20 años.



Fuente: Cálculo PCA.

12. DISEÑO FINAL DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Tabla 41. Estructura del pavimento para el periodo de diseño 20 años.

Tramo	Espesor de la losa (mm)	Espesor de la subbase (mm)	Módulo de rotura (Mpa)	Mejoramiento de la subrasante (mm)
Tramo	200	200	4.0	400

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 15. Modelo seleccionado en dimensionamiento periodo de diseño 20 años.

Losa de Concreto Hidráulico e =20 cm MR = 4.0 Mpa
Subbase Granular, clase C e = 20 cm k = 52.3 Mpa/m
Reemplazo con espesor de 40 cm para mejoramiento de la subrasante (Piedra rajón), CBR: 10%
Material existente en campo según estudio geotécnico

Fuente: Elaboración propia.

12.1. Dimensiones de la losa de concreto

Los criterios para determinar la longitud de diseño de las losas rectangulares son:

a) Criterio ideal: Longitud = Ancho, losas cuadradas.

b) Longitud de la losa= 25 veces su espesor.

c) Longitud de la losa= 1.25 veces el ancho del carril.

Para losas rectangulares se toma el menor valor entre los 3 criterios mencionados, para una losa de 20 cm de espesor y un ancho del carril de 3.00 m (Ancho establecido en el diseño geométrico del proyecto):

a. Criterio ideal: L = 3.00 m.

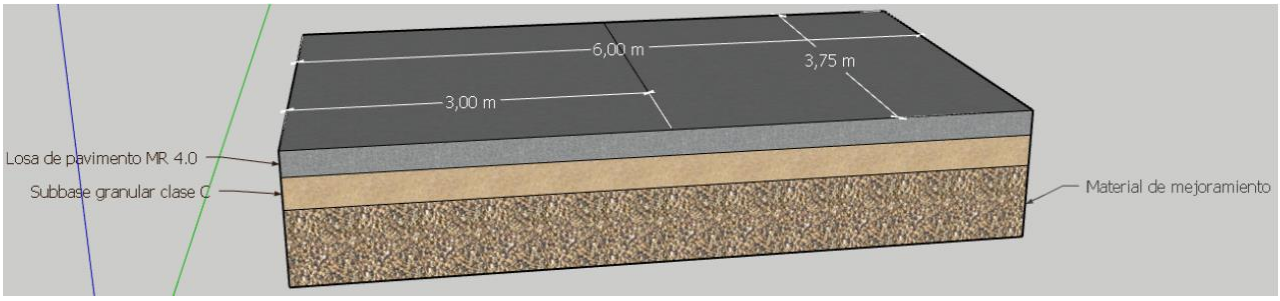
b. Longitud de la losa: 25 x D= 25 x 0.20 m = 5.00 m. Sin embargo, se descarta el uso de este criterio al no cumplir la relación de esbeltez.

c) Longitud de la losa: Ancho del carril x 1.25 = 3.0 m x 1.25 = 3.75 m.

Por lo tanto, en el diseño geométrico proyectado se pueden utilizar losas de 3.00 m de ancho y longitud variable entre 3.75 m. Con la longitud máxima se tiene una relación de esbeltez como se muestra:

$$RE = \frac{Largo}{Ancho} = \frac{3.75\ m}{3.00\ m} = 1.25 \leq 1.25$$

Ilustración 16. Estructura de pavimento propuesta periodo de diseño 20 años.



Fuente: Elaboración propia.

12.2. Diseño geométrico de las juntas de pavimento

En las losas de un pavimento rígido se presentan diversas clases de esfuerzo. Los más elevados son los generados por la circulación de los vehículos sobre ellas, los cuales se controlan con el correcto

diseño del espesor de las losas, con la sección adecuada de la resistencia del concreto y con una calidad en la construcción tal que las propiedades determinadas durante el diseño se cumplan.

Otros esfuerzos generados en el pavimento se deben a los movimientos de contracción o expansión del concreto y a las diferencias en la temperatura, o en la humedad, entre la superficie y el apoyo de la losa. Estos esfuerzos se controlan con una adecuada selección de las dimensiones superficiales de las losas, en otras palabras, diseñando las juntas del pavimento.

Las juntas, transversales y longitudinales, se construyen para impedir que se presente fisuración del pavimento.

Además, los análisis de los esfuerzos generados en las losas, por cargas colocadas en diferentes posiciones, han demostrado que estos son mayores en las cercanías de los bordes de las losas y, aún más, en sus esquinas, de lo cual se concluye que las juntas inducen en el pavimento rígido unas zonas de debilidad relativa, por lo que en su concepción se deben diseñar los mecanismos o tomar las precauciones necesarias para mantener su integridad estructural.

12.2.1. Juntas longitudinales

El objetivo básico de estas juntas es el de controlar las fisuras que se pueden presentar en los pavimentos cuando se construyen con anchos superiores a los cinco metros. En nuestro medio, en el cual existe la tradición de construir los pavimentos por carriles, con un ancho cercano a los 3.60 m, las juntas longitudinales son normalmente de construcción. La transmisión de cargas se hace en estos casos por trabazón de agregados, y es usual colocar barras de anclaje que mantengan unidas las caras de las juntas y garanticen su eficiencia.

Las barras de anclaje para cualquier tipo de junta longitudinal que las requiera se diseñan para resistir la fuerza de tracción generada por la fricción entre la losa del pavimento y la subrasante.

Las juntas longitudinales pueden ser de alabeo o de construcción. El objetivo básico de estas juntas es el de controlar las fisuras que se pueden presentar en los pavimentos cuando se construyen con anchos superiores a los 4.50 metros.

Cuando el pavimento que se construye no tiene confinamiento lateral, es necesario dotar las juntas longitudinales con barras de anclaje, para impedir el desplazamiento de las losas de un carril, respecto a las del otro.

Tabla 42. Recomendación para las barras de anclaje periodo de diseño 20 años.

Espesor de la losa (mm)	Barra de Ø 9.5 mm (3/8")				Barra de Ø 12.7 mm (1/2")				Barra de Ø 15.9 mm (5/8")			
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3.05 (m)	3.35 (m)	3.65 (m)		3.05 (m)	3.35 (m)	3.65 (m)		3.05 (m)	3.35 (m)	3.65 (m)
Acero de fy = 187.5 Mpa (40.000 PSI)												
150		0.80	0.75	0.65		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
175		0.70	0.60	0.55		1.20	1.10	1.00		1.20	1.20	1.20
200	0.45	0.60	0.55	0.50	0.60	1.05	1.00	0.90	0.70	1.20	1.20	1.20
225		0.55	0.50	0.45		0.85	0.85	0.80		1.20	1.20	1.20
250		0.45	0.45	0.40		0.85	0.80	0.70		1.20	1.20	1.10
Acero de fy = 280 Mpa (60.000 PSI)												
150		1.20	1.10	1.00		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
175		1.05	0.95	0.85		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
200	0.65	0.90	0.80	0.75	0.85	1.20	1.20	1.20	1.00	1.20	1.20	1.20
225		0.80	0.75	0.65		1.20	1.20	1.20		1.20	1.20	1.20
250		0.70	0.65	0.60		1.20	1.15	1.10		1.20	1.20	1.20

Fuente: Tabla 6-1 Manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

Las juntas longitudinales pueden ser de alabeo o de construcción. El objetivo básico de estas juntas es el de controlar las fisuras que se pueden presentar en los pavimentos cuando se construyen con anchos superiores a los 4.50 metros. Las barras de anclaje serán corrugadas con límite de fluencia recomendado (fy) de 420 MPa. Si se manejan barras lisas la longitud incrementa un 50% la longitud de las barras de anclaje debe ser tal que el esfuerzo de adherencia a cada lado de la junta sea igual al esfuerzo de adherencia a cada lado de la junta. Se adicionan 7.50 cm a la longitud total del pasador para compensar defectos en su colocación; para determinar el refuerzo de anclaje se utilizó la Tabla 42. Recomendación para las barras de anclaje periodo de diseño 20 años. Las barras por emplear deben ser en acero corrugado con límite de fluencia (fy) de 420 Mpa (60000 PSI). El diámetro de 1/2", espaciamiento cada 120 cm y en longitudes de 85 cm para una losa de 20 cm de espesor.

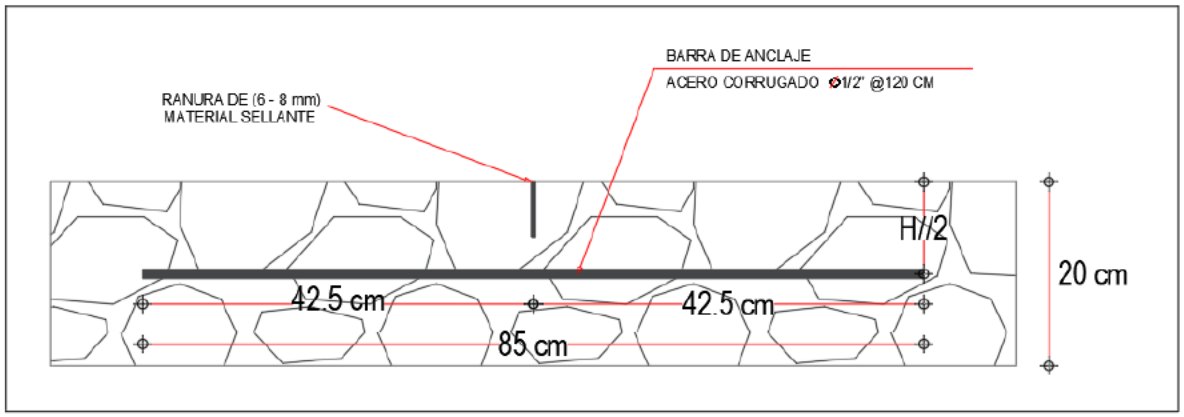
Tabla 43. Resumen características de las barras de anclaje periodo de diseño 20 años.

Barras de anclaje				
fy (KSI)	Espesor del pavimento (mm)	Longitud (cm)	Diámetro barra (pulg)	Separación entre barras según carril (cm)
60	200	85	1/2	120

Fuente: Elaboración propia.

Independiente el largo de la losa se recomienda como **mínimo 3 barras**. Adicional durante el proceso constructivo es recomendable que la posición de las barras de anclaje y la construcción de la junta se haga según la Ilustración 17. Sección típica para la ubicación de las barras de anclaje y construcción de junta. Las barras de acero corrugado no deben ser instaladas a menos de 40 cm de la junta transversal para evitar que interfieran con el movimiento de las juntas.

Ilustración 17. Sección típica para la ubicación de las barras de anclaje y construcción de junta.



Fuente: Elaboración propia.

12.2.2. Juntas transversales

El diseño de las juntas transversales se realiza con el fin de controlar la fisuración del concreto por contracción y alabeo; por lo tanto, el espaciamiento entre ellas debe ser menor que seis metros. Se ha demostrado que cuando la separación se aproxima a 4.50 m, permiten controlar prácticamente todas las fisuras y el comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio es mejor.

12.2.3. Juntas de contracción

Son también juntas de alabeo, es decir, controlas las grietas causadas por la retracción del fraguado del concreto y por el alabeo del pavimento. La separación entre juntas varía de acuerdo con los siguientes principios:

- La forma del agregado. Si el agregado es redondeado se puede utilizar menor distancia entre juntas, lo contrario para agregados triturados.
- La composición mineralógica de los agregados. Esta influye en el coeficiente térmico del concreto.

Tabla 44. Espaciamiento de juntas transversales, según el tipo de agregado empleado en el concreto.

Tipo de agregado grueso	Separación máxima entre juntas (m)

Granito triturado	7.5
Caliza triturada	6.0
Grava calcárea	6.0
Grava silícea	4.5
Grava menor de 19 mm (3/4")	4.5
Escorias	4.5

Fuente: Ingeniería de pavimentos para carreteras, Alfonso Montejo Fonseca, segunda edición.

Según la tabla mencionada, el espaciamiento entre las **juntas transversales no debe ser mayor a 4.50 m**, permitiendo controlar todas las fisuras considerando como agregados grava.

La disminución de la fuerza de fricción entre losa y su apoyo (subbase o subrasante) disminuye también los esfuerzos de tracción ocasionados por la retracción, permitiendo de esta manera aumentar la distancia entre juntas.

En relación con la elección del sistema de transmisión de carga a través de la junta la PCA recomienda:

- En climas severos y en vías con tráfico pesado, recomienda el uso de pasadores de acero para complementar el funcionamiento de la "trabazón de agregados".

12.2.4. Varillas de transferencia dovelas

Cuando la trabazón de agregados no es suficiente para lograr la transmisión de carga, se pueden utilizar, para alcanzar dicho objetivo, varillas de transferencia de carga, conocidas como pasadores de carga, o dovelas, que son, barras de acero cortas y lisas con un límite de fluencia (fy) mínimo de 420 MPa (4200 kg/cm² o 60000 psi), de acuerdo con el Artículo INV 500-22 y el Artículo INV 640-22, metidas dentro del concreto fresco.

Los pasadores se instalan en las juntas de tal manera que les permitan a las losas separarse y unirse entre sí, pero no desplazarse verticalmente, y su función es, entonces, absorber los esfuerzos de cortante, generados por las cargas del tránsito al cruzar las juntas y transmitir a la losa adyacente entre el 40 y 45% de la carga de diseño, cuando esta se coloca cerca de la junta.

Los pasadores se deben colocar en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía y a la superficie del pavimento, con una tolerancia medida en el extremo del pasador que no sobrepase los 10 mm respecto a la posición teórica. La manera más eficiente de lograr esto, es la de colocar los pasadores sobre unos soportes hechos con varillas, que quedan embebidos en el concreto.

Tabla 45. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga periodo de diseño 20 años.

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador	Longitud	Separación entre centros

	mm	Pulgada	mm	mm
0 – 100	13	½	250	300
110 – 130	16	5/8	300	300
140 – 150	19	¾	350	300
160 – 180	22	7/8	350	300
190 - 200	25	1	350	300
210 – 230	29	1 1/8	400	300
240 – 250	32	1 ¼	450	300
260 – 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

Fuente: Tabla 6-2 Manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

Se recomienda usar barras de acero liso de diámetro (1" pulgada), con separación centro a centro de 30 cm, de una longitud de 25 cm y con un límite de fluencia mínimo de 420 MPa (60000 PSI).

Tabla 46. Resumen características de los pasadores de carga periodo de diseño de 20 años.

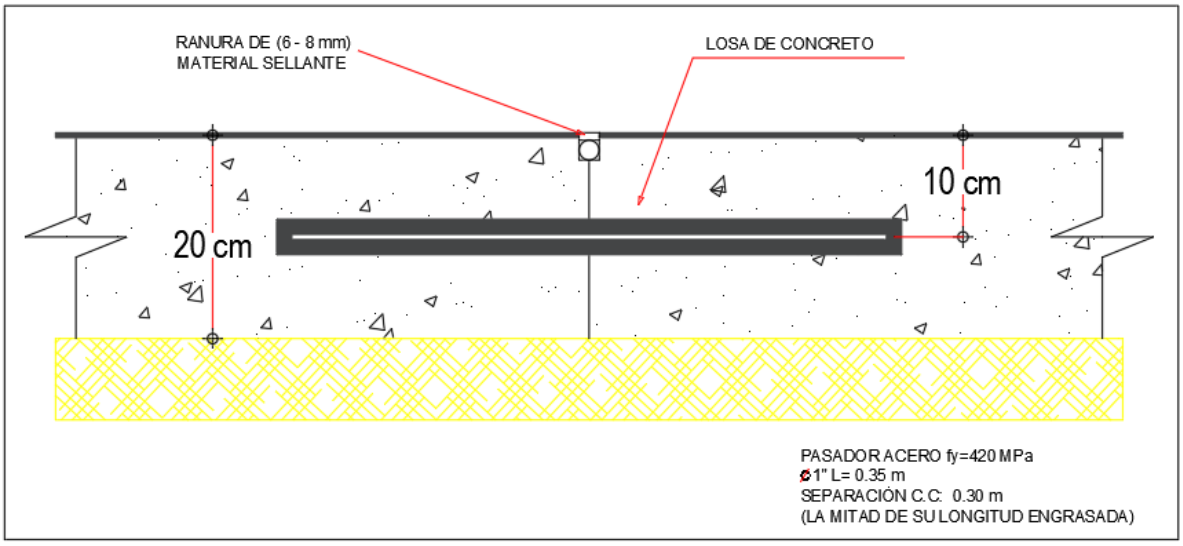
Pasadores de carga				
fy (KSI)	Espesor del pavimento (mm)	Longitud (cm)	Diámetro barra (pulg)	Separación entre centros (cm)
60	200	35	1	30

Fuente: Elaboración propia.

Ancho de la junta: Se recomienda que su dimensión esté entre 6 y 8 mm Profundidad p:

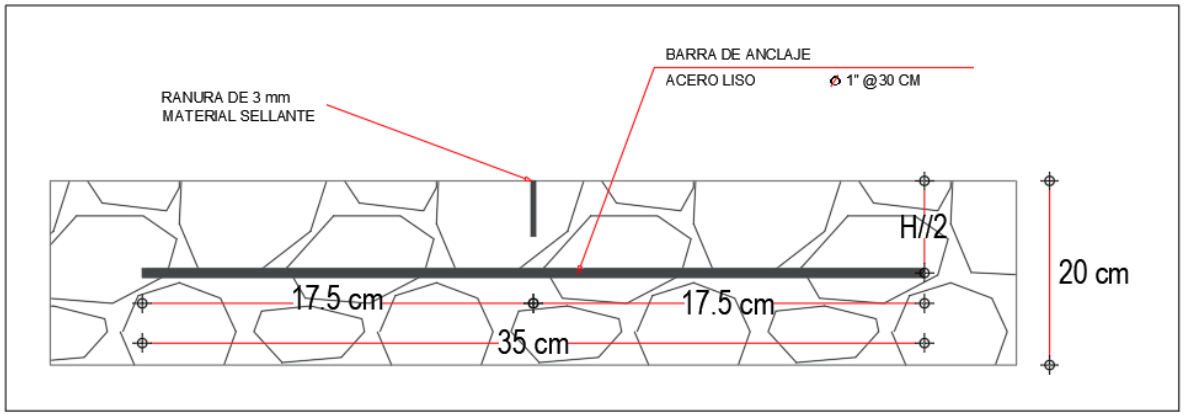
Su dimensión se relaciona con el espesor de la placa entre $h/6 < p < h/4$.

Ilustración 18. Esquema de juntas transversales.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 19. Sección típica ubicación de las barras de transferencia y construcción de junta.



Fuente: Elaboración propia.

12.2.5. Juntas de dilatación

Se recomienda solamente contra construcciones fijas y en intersecciones asimétricas, siempre que el pavimento no se construya con materiales muy expansivos, la temperatura durante la construcción no sea muy baja y la longitud de las losas no sea muy grande. En la transferencia de cargas se usan varillas lisas lubricadas en unca capsula para facilitar el movimiento del pasador.

Las dimensiones más comunes de estas varillas son: diámetro de 1” del espesor de la losa, 45 cm de longitud y separación entre varillas de 30 cm.

Tabla 47. Resumen características de juntas de dilatación periodo de diseño de 15 y 20 años.

Juntas de dilatación				
fy (KSI)	**Espesor del pavimento (mm)**	**Longitud (cm)**	**Diámetro barra (pulg)**	**Separación entre barras según carril (cm)**
60	200	45	1	30

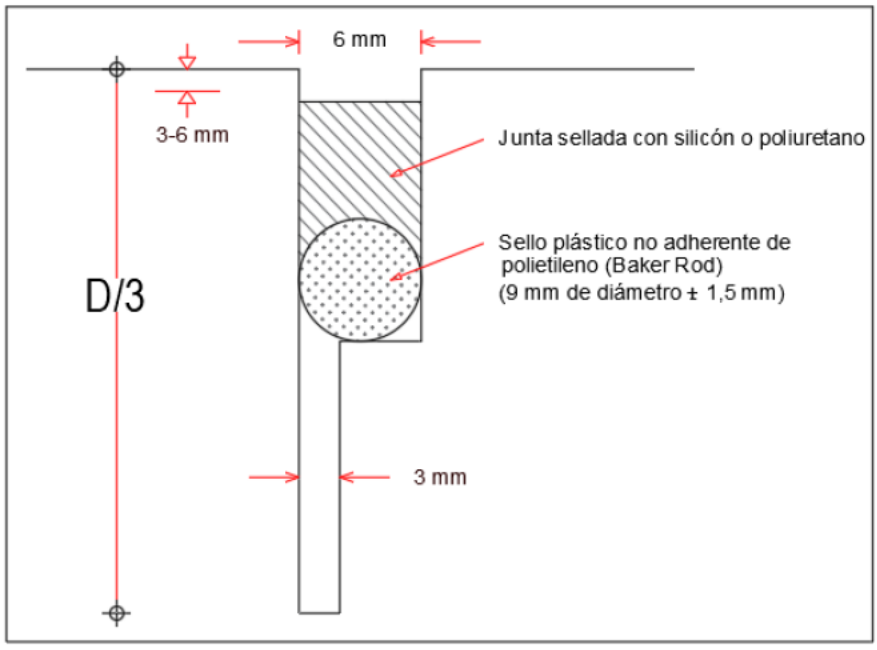
Fuente: Elaboración propia.

12.2.6. Sellado de juntas

Las juntas transversales se deben cortar con un equipo autopropulsor de disco diamantado cumpliendo con las siguientes dimensiones:

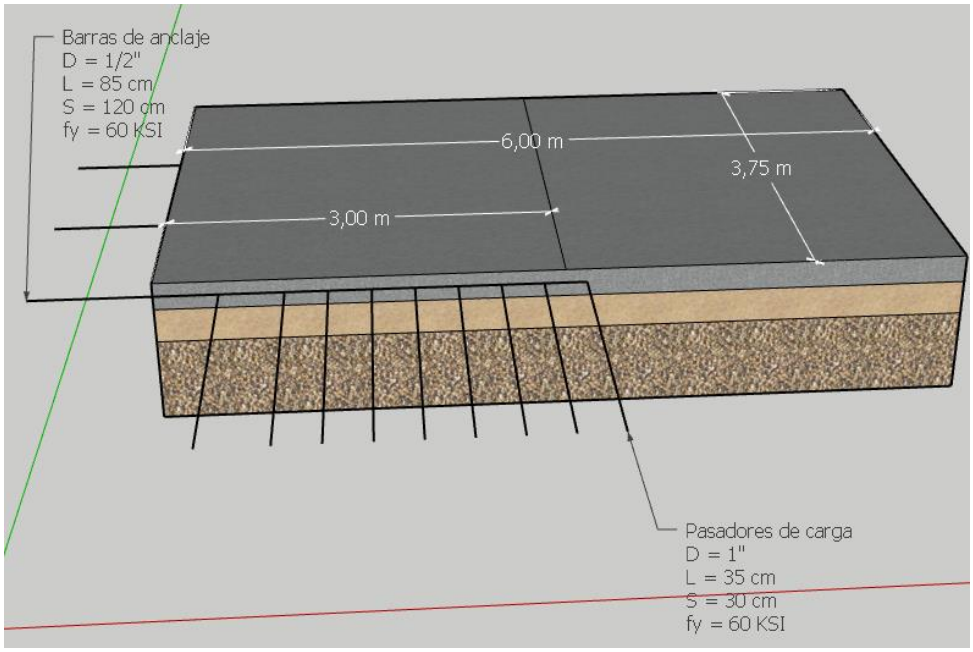
Corte inicial de 1/3 del espesor de la losa desde la superficie de esta con un ancho mínimo de 3.00 mm. Adicional un corte de ensanche de 3.00 mm de ancho y profundidad de 30 mm también medido desde la superficie de la losa. El ancho total de la junta será aproximadamente de 9.00 mm. Para la construcción de la junta se debe seguir el siguiente esquema.

Ilustración 20. Detalles de construcción de juntas.



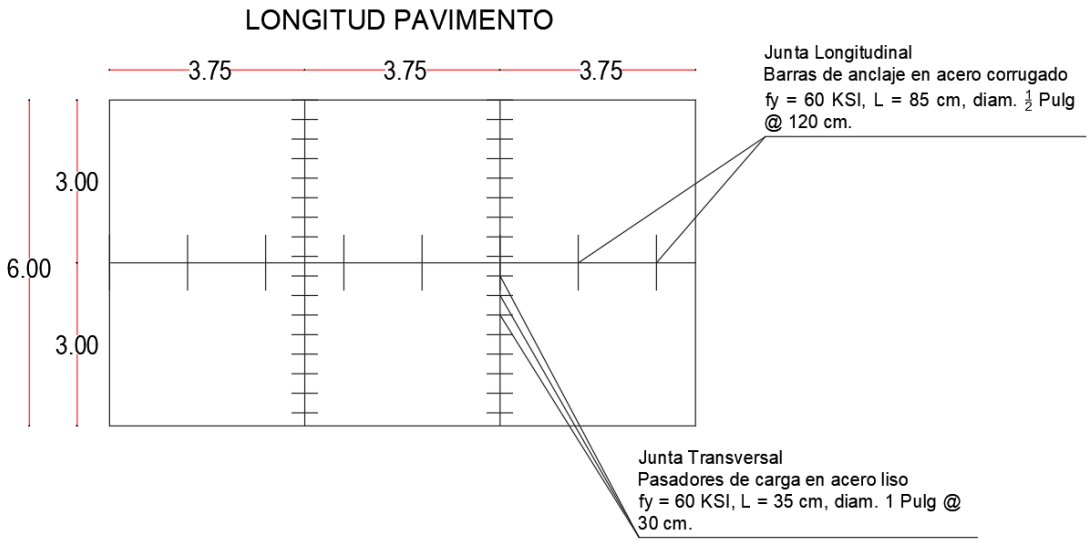
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 21. Resumen de la estructura de pavimento periodo de diseño de 20 años.



Fuente: Elaboración propia.

Planta acero longitudinal y transversal pavimento.



Fuente: Planos pavimentos.

13. MODULACIÓN DE LAS LOSAS DE CONCRETO

La modulación de las losas de concreto juega un papel muy importante en la durabilidad y eficiencia de las placas, por tal motivo se debe conservar una relación entre el ancho y el largo de la placa para lo cual se plantean las siguientes alternativas de control:

13.1. Losas irregulares y localizadas en intersección

Para el caso cuando las losas son irregulares y no cuentan con una geometría definida, se debe reforzar y en lo posible dilatar con juntas de expansión, adicional en las intersecciones viales es necesario reforzar las losas para evitar agrietamiento por el fenómeno del frenado vehicular.

Ilustración 22. Representación gráfica de del refuerzo de losas irregulares.



Fuente: Elaboración propia.

Se recomienda reforzar las losas irregulares y las que se encuentren en una intersección vial, adicional se debe reforzar las losas que se vean involucradas con algún tipo de registro o pozo de inspección; cuando más del 50% de la losa se vea involucrada por el tipo de estructuras mencionadas anteriormente, se debe colocar parrilla sencilla de acero de refuerzo corrugado de ½" cada 25 cm en ambas direcciones, ubicadas a h/2 del espesor en la fibra superior, como medida de control de auto fisuración del concreto.

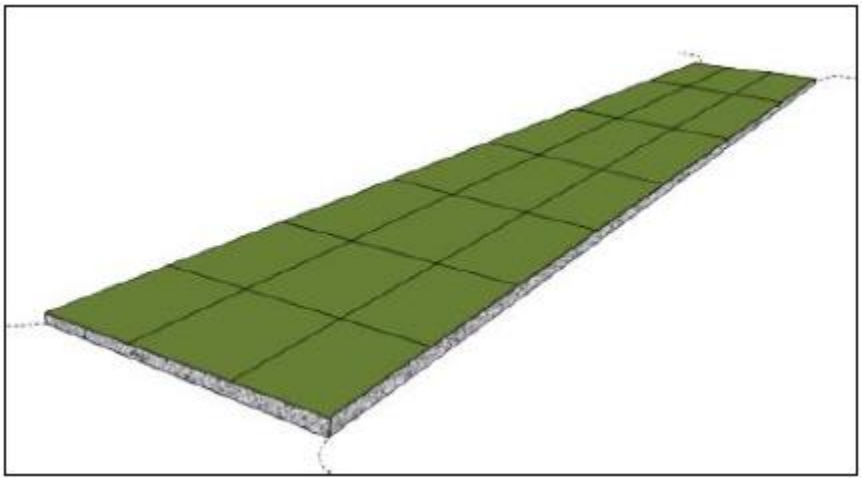
14. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

- Durante el proceso constructivo de la subrasante mejorada se recomienda utilizar un material de afirmado que cumpla con CBR mínimo del 10 %, el cual corresponde al CBR equivalente entre dos capas y con las especificaciones según el **Artículo 221-22 INV (Pedraplenes) y**

Artículo 230-22 INV (Mejoramiento de la subrasante con adición de materiales). De igual forma el contratista debe garantizar que durante el proceso de excavación, si se identifica material orgánico, este deberá ser retirado y remplazado para garantizar la calidad del suelo.

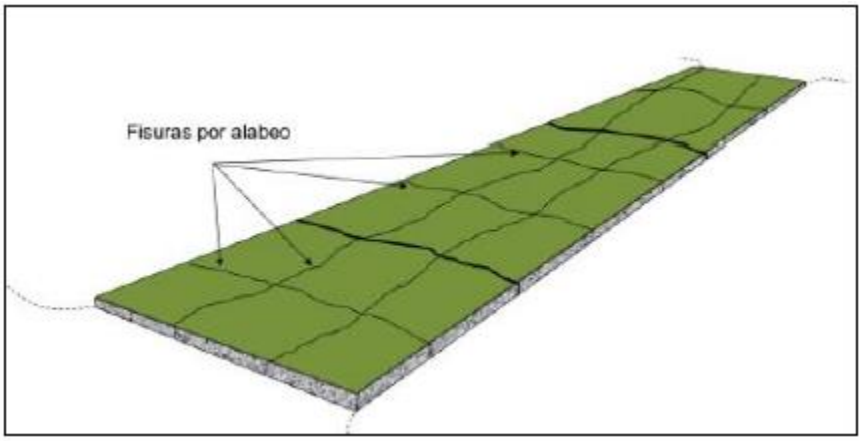
- El contenido de materia orgánica no debe superar el estandarizado según la especificación técnica de la **Norma INV E-121-13 "contenido de materia orgánica máximo (%)**.
- Durante el proceso constructivo de la subbase granular se recomienda compactar subcapas no mayores a 15 cm hasta alcanzar una densidad seca del 95 % según el Proctor modificado, adicional el material de subbase debe cumplir con las especificaciones según el **Artículo INV 320 – 22 "Subbase Granular clase C" para un periodo de diseño de 20 años.**
- Se recomienda hacer control estricto de la superficie o nivelación del material granular antes de instalar la capa con apoyo de equipo topográfico, garantizando que los bombeos planteados en el diseño geométrico se respeten para esta capa del pavimento rígido con el fin de evitar dejar desniveles o depresiones que generen en el concreto esfuerzo de tensión inadmisible para el mismo.
- Se recomienda respetar la modulación de las losas de concreto conservando las dimensiones seleccionadas por esta consultoría y garantizando un desarrollo homogéneo a lo largo de todas las vías como se muestra en la Ilustración 23. Representación gráfica de una óptima modulación de losas de concreto., en caso de generarse por procesos constructivos cambios en la geometría de las losas de concreto, se debe consultar al diseñador ya que de exceder los valores máximos de las losas de concreto se puede presentar fisuras por alabeo como se indica en la Ilustración 24. Representación gráfica de fisuras por alabeo.

Ilustración 23. Representación gráfica de una óptima modulación de losas de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

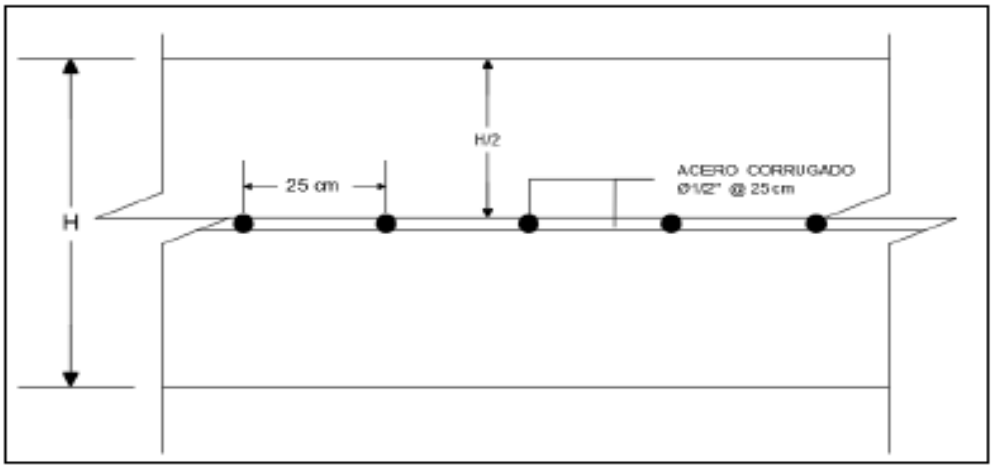
Ilustración 24. Representación gráfica de fisuras por alabeo.



Fuente: Elaboración propia.

- Se recomienda reforzar las losas irregulares y las que se encuentren en una intersección vial, adicional se debe reforzar las losas que se vean involucradas con algún tipo de registro o pozo de inspección; cuando más del 50% de la losa se vea involucrada por el tipo de estructuras mencionadas anteriormente, se debe colocar parrilla sencilla de acero de refuerzo corrugado de ½" cada 25 cm en ambas direcciones, ubicadas a h/2 del espesor en la fibra superior, como medida de control de auto fisuración 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. Se puede reemplazar la parrilla en acero por una malla electrosoldada. Se debe seguir las especificaciones del **Artículo 640 – 22 INV "acero de refuerzo"**.

Ilustración 25. Representación gráfica de del refuerzo de losas irregulares.



Fuente: Elaboración propia.

15. CONCLUSIONES

- El diseño transversal se definió para un ancho de 6.00 m, con bombeos normales del 2% y bombeos transicionales ajustados a las condiciones actuales de drenaje y empalmes viales, tal información se puede observar en los planos de secciones transversales e informes de diseño geométrico.
- El transito equivalente calculado se deduce en función de la categoría de la vía. Número de ejes equivalentes para el periodo de diseño de 20 años 141.319 ejes equivalentes, por lo cual se encuentra en categoría NT1.
- La estructura adoptada del pavimento rígido por la metodología de la AASHTO 93 y metodología de la Portland Cement Association se puede observar en las siguientes ilustraciones:

Losa de Concreto Hidráulico e =20 cm MR = 4.0 Mpa
Subbase Granular, clase C e = 20 cm k = 52.3 Mpa/m
Reemplazo con espesor de 40 cm para mejoramiento de la subrasante (Piedra rajón), CBR: 10%
Material existente en campo según estudio geotécnico

16. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El presente documento se elabora en función de unas condiciones de tránsito adoptadas y consideraciones particulares de los suelos y capas existentes. Es indispensable que durante las obras se lleven a cabo los controles de calidad del caso, en cuanto a idoneidad de los materiales y garantizar los espesores del diseño. Cualquier cambio que se realice sin previo conocimiento por parte del consultor durante las obras no garantizará tales situaciones.

En los casos en que las verificaciones durante la etapa de obra arrojen la conclusión de que los supuestos de diseño se han alterado, deberá llevarse a cabo el correspondiente proceso de ajuste de los diseños, de modo que éstos se validen.

Elaboró:

FIRMA VALIDA PARA EL PROYECTO: MEJORAMIENTO URBANÍSTICO PARA EL DESARROLLO VIAL ASFALTO EN EL MUNICIPIO DE

ANA LUISA JIMÉNEZ HERNÁNDEZ
Ingeniera Civil
Especialista en Vías Terrestres
TP. 081037-0560183 COR