

Área de Conocimiento de Arquitectura y Construcción

“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE 3 KM RANCHO SANTANA, MUNICIPIO DE TOLA, DEPARTAMENTO DE RIVAS”.

Proyecto de graduación para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Jasson Alejandro
Real Montiel
Carnet: 2020-04851

Br. Miguel Alejandro
Escobar Jarquín
Carnet: 2018-04571

Br. Kevin Josué
Toruño Pineda
Carnet: 2020-05051

Tutor:

Ing. Jhonny Antonio
Robles Diaz

AVAL DEL TUTOR(A)

1. Datos del Estudiante

Nombre del estudiante: Jasson Alejandro Real Montiel
Miguel Alejandro Escobar Jarquín
Kevin Josué Toruño Pineda

Carné: 2020-0485I / 2018-0457I / 2020-0505I

Programa académico: Ingeniería Civil

2. Datos del Tutor(a) Académico(a)

Nombre del tutor(a): Ing. Jhonny Antonio Robles Díaz

Área de conocimiento o CUR DACAC

Correo institucional: jhonny.robles@uni.edu.ni

3. Datos del Asesor(a) Académico(a)

Nombre del asesor(a) académico(a)

Área de conocimiento o CUR

Correo institucional:

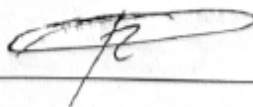
Declaración del Tutor(a)

Yo, Jhonny Antonio Robles Díaz, en calidad de tutor(a) certifico que he revisado la propuesta presentada por el estudiante descrito en este formulario y:

- ☒ Avalo la propuesta para su desarrollo.
- ☐ No avalo la propuesta (requiere ajustes).

Observaciones (si aplica):

Firma del Tutor(a):



Fecha: 07 / 03 / 2026



Área de Conocimiento

Arquitectura y Construcción

Managua, Nicaragua, miércoles 17 de diciembre de 2025

REF/CULM.EST/TFCE/CIV/049-2025

Jasson Alejandro Real Montiel
Miguel Alejandro Escobar Jarquín
Kevin Josué Toruño Pineda
Sus manos. —

Estimado (s) Bachiller (es), reciba (n) cordiales saludos.

En el marco de la **Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)** se le(s) comunica que el Tema y objetivos de **Proyecto de Graduación** titulado **"DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE 3 KM RANCHO SANTANA, MUNICIPIO DE TOLA, DEPARTAMENTO DE RIVAS"**. Ha sido aprobado y se le ha asignado como Tutor(a) al (a la) **Ing. Jhonny Antonio Robles Diaz**.

La ejecución, entrega y defensa del **Proyecto de Graduación** tendrá una duración máxima de 05 meses, a partir de la fecha de aprobación de la Dirección, siendo el periodo establecido del **01 de diciembre del 2025 al 30 de abril del 2026**.

Por lo tanto, ud (s) deberá(n) cumplir en el periodo mencionado con lo siguiente:

- Desarrollar el Cronograma de Ejecución y realizar las actividades en correspondencia con el mismo, en el cual se tienen que programar los periodos de encuentros con el tutor, pre defensa y defensa.
- Presentar al tutor **semanalmente** los avances obtenidos en el proceso de ejecución conforme el cronograma.
- Cumplir con al menos el 90% de asistencia en los encuentros programados con el tutor asignado.
- Realizar al menos una pre defensa del Trabajo Monográfico en versión borrador, según el cronograma establecido en el marco de la **Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)**, con el objetivo de garantizar en todos los aspectos el éxito de la defensa.

Igualmente, se le(s) recuerda que no hay prórroga para el cumplimiento de este proceso y que a través de la firma de la carta compromiso reconoce que esta es la última oportunidad para realizar la culminación de estudios.

Sin más a que hacer referencia y deseándole éxito en su **Proyecto de Graduación** para optar al título de **Ingeniero Civil**, se despide.

Atentamente,



Ma. Marcela Carólin Galán Gaitán
Directora

Cc. Expediente Culminación de Estudios

Índice de Contenido

1. Introducción	1
2. Antecedentes y marco legal	3
3. Objetivos	6
3.1. Objetivo general	6
3.2. Objetivos específicos	6
4. Descripción del proyecto	7
5. Fundamentos técnicos	9
6. Metodología para el desarrollo del proyecto de graduación	12
6.1. Metodología para determinar los ejes equivalentes de diseño	12
6.2. Metodología para caracterizar las propiedades físico-mecánicas del suelo y del banco de material	13
6.3. Metodología para calcular los espesores óptimos de la estructura de pavimento rígido	14
6.4. Estrategia de análisis y validación técnica	15
7. Resultados	16
7.1. Estudio de tránsito	16
7.1.1. Ubicaciones de estaciones de aforo vehicular y condiciones	16
7.1.2. Periodo de aforo de tránsito	16
7.1.3. Resultados de los aforos de tránsito	16
7.1.4. Determinación del tránsito promedio diario (TPDiS)	20
7.1.5. Tránsito promedio diario anual, TPDA	21
7.1.6. Tasas de crecimientos	22
7.1.7. Correlación de datos para la ECD 6202 y EMC 206	23

7.1.8. Tasas de crecimiento anual para la ECD 6201 y la EMC 206.....	24
7.1.9. Correlación de datos entre EMC 206 y producto interno bruto.....	26
7.1.10. Correlación de datos entre EMC 206 y población (pob).....	31
7.1.11. Proyección de tráfico	35
7.1.12. Período de diseño (PD).....	37
7.1.13. Factor de crecimiento (FC).....	38
7.1.14. Factor distribución por dirección (LD).....	38
7.1.15. Factor de distribución por carril (LC)	39
7.1.16. Tránsito de diseño (TD).....	40
7.1.17. Pérdida de serviciabilidad ($\Delta\psi$)	41
7.1.18. Factor de equivalencia de carga (ESAL).....	41
7.1.19. Ejes equivalentes (ESAL o w18).	42
7.2. Estudio de suelo.....	44
7.2.1. Sondeos efectuados.....	44
7.2.2. Resultado de los ensayos sobre la línea	44
7.2.3. Análisis de los resultados	47
7.2.4. Estratigrafía del terreno	48
7.2.5. Evaluación de la subrasante	50
7.2.6. Banco de material de préstamo.....	51
7.2.7. Clasificación y descripción del banco de préstamo Santa Juana.....	52
7.2.8. Análisis del banco de préstamos Santa Juana.....	52
7.2.9. Evaluación del material del banco Santa Juana.....	53
7.2.10. CBR de diseño	53
7.3. Diseño de pavimento.....	56

7.3.1. Método AASHTO para diseño de pavimento rígido.....	56
7.3.2. Variables	56
7.4. Programa Winpas 12.....	72
7.5. Espesores finales de diseño.....	73
7.6. Modulaci3n de la losa.....	74
7.7. Dise1o de juntas.....	76
7.8. Dise1o de pasajuntas	76
8. Conclusiones.....	78
9. Recomendaciones.....	80
10. Referencias	81

Anexos-Tablas

Tabla 1	Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico de la oficina de diagnóstico, evaluación de pavimentos y puentes.	IV
Tabla 2	Formato de conteo vehicular.	V
Tabla 3	Factores del primer cuatrimestre del año (enero - abril EMC 206).	V
Tabla 4	Registro histórico de la estación de mayor cobertura empalme Grajinan - Rivas	VI
Tabla 5	Registro histórico de la estación de corta duración Tola - Las Salinas....	VI
Tabla 6	Indicadores macroeconómicos	VII
Tabla 7	Producto interno bruto: enfoque de la producción	VIII
Tabla 8	Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples..	IX
Tabla 9	Diagrama de cargas permisibles y pesos máximos permisibles por tipo de vehículos	X
Tabla 10	Clasificación de suelos por el método AASHTO.....	XI
Tabla 11	Especificaciones de materiales para base granular.	XII
Tabla 12	Especificaciones de materiales para subbase granular.....	XII
Tabla 13	Resumen de especificaciones para colocación de juntas	XIII
Tabla 14	Dimensiones y espaciamiento de las barras de amarre en pavimentos de concreto (grado 60)	XIII
Tabla 15	Medida de varillas pasajuntas para diferentes espesores de losas.....	XIV

Anexos-Figuras

Figura 1	Mapa de macrolocalización	I
Figura 2	Inicio del tramo Rancho Santana (estación 0+000).....	I
Figura 3	Final del tramo Rancho Santana (estación 3+000)	II
Figura 4	Condición actual del tramo	II
Figura 5	Ubicación del punto de conteo vehicular	III
Figura 6	Ubicación geográfica de las estaciones de mayor cobertura	III
Figura 7	Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad	VIII
Figura 8	Banco de material de préstamo – Santa Juana.....	XI
Figura 9	Método AASHTO para diseño de pavimento rígido.....	XII

Índice de tablas

Tabla 1.	<i>Aforo vehicular</i>	16
Tabla 2.	<i>Primer aforo vehicular</i>	16
Tabla 3.	<i>Segundo aforo vehicular</i>	17
Tabla 4.	<i>Tercer aforo vehicular</i>	18
Tabla 5.	<i>Tráfico promedio diurno de 12 horas por tipo de vehículo</i>	20
Tabla 6.	<i>Tránsito promedio diario anual estimado (TPDA)</i>	22
Tabla 7.	<i>Registros históricos del PIB, TPDA y población</i>	23
Tabla 8.	<i>Tasas de crecimiento anual del TPDA para la EMC 206 y ECD 6201</i> ...	24
Tabla 9.	<i>Tasas de crecimiento anual para PIB</i>	27
Tabla 10.	<i>Transformación logarítmica del TPDA (EMC 206) y del PIB (miles \$)</i>	29
Tabla 11.	<i>Resultados de correlación entre el TPDA (EMC 206) y el PIB (miles \$)</i>	30
Tabla 12.	<i>Tasas de crecimiento anual de la población</i>	31
Tabla 13.	<i>Transformación logarítmica del TPDA (EMC 206) y de la población (miles de habitantes)</i>	33
Tabla 14.	<i>Resultados de correlación entre el TPDA (EMC 206) y la población (miles de habitantes)</i>	35
Tabla 15.	<i>Tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB Y POB)</i>	36
Tabla 16.	<i>Comparación entre tasas de crecimiento</i>	36
Tabla 17.	<i>Períodos de diseño según tipo de carretera (n)</i>	37
Tabla 18.	<i>Determinación del factor de crecimiento (FC)</i>	38
Tabla 19.	<i>Factor distribución por dirección (LD)</i>	39
Tabla 20.	<i>Factor de distribución por carril (LC)</i>	39
Tabla 21.	<i>Cálculo del tránsito de diseño acumulado (TD)</i>	40

Tabla 22. <i>Determinación de la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)</i>	41
Tabla 23. <i>Factores de equivalencia de carga (ESAL) para los tipos de vehículos observados</i>	42
Tabla 24. <i>Cálculo de ejes equivalentes (ESAL) en el carril de diseño</i>	43
Tabla 25. <i>Sondeos considerados en el tramo analizado</i>	44
Tabla 26. <i>Propiedades físicas y mecánicas de los suelos identificados en los sondeos del tramo</i>	49
Tabla 27. <i>Muestras de la sub rasante seleccionadas para cálculo de CBR</i>	50
Tabla 28. <i>Banco de préstamo Santa Juana</i>	51
Tabla 29. <i>Resultados de los ensayos geotécnicos del banco de préstamo Santa Juana</i>	52
Tabla 30. <i>Valor percentil por nivel de tránsito</i>	54
Tabla 31. <i>Valores de CBR utilizados para la determinación del CBR de diseño</i>	54
Tabla 32. <i>Factor de distribución por carril</i>	57
Tabla 33. <i>Niveles de confiabilidad recomendados para el diseño de pavimentos según AASHTO</i>	58
Tabla 34. <i>Relación entre el nivel de confiabilidad (R) y la desviación normal estándar (ZR)</i>	58
Tabla 35. <i>Valores recomendados de desviación estándar (So) para el diseño de pavimentos</i>	59
Tabla 36. <i>Índices de serviciabilidad utilizados en el diseño del pavimento</i>	60
Tabla 37. <i>Capacidad del drenaje para remover la humedad</i>	61
Tabla 38. <i>Coeficiente de drenaje para pavimentos rígidos</i>	61
Tabla 39. <i>Correlación entre el CBR y módulo resiliente para subrasante</i>	62
Tabla 40. <i>Coeficiente de transferencia de carga (J)</i>	62
Tabla 41. <i>Módulo de elasticidad del concreto (E_c)</i>	63

Tabla 42. <i>Determinación del módulo de ruptura del concreto</i>	64
Tabla 43. <i>Determinación del módulo de reacción de la subrasante</i>	64
Tabla 44. <i>Rangos típicos de factores de pérdida de soporte para varios tipos de materiales</i>	65
Tabla 45. <i>Parámetros de diseño utilizados en el programa Winpas 12</i>	72
Tabla 46. <i>Espesores adoptados para la estructura del pavimento</i>	74
Tabla 47. <i>Determinación de la separación de juntas y dimensiones del tablero de losa</i>	75
Tabla 48. <i>Recopilación de especificaciones para colocación de juntas</i>	76
Tabla 49. <i>Recopilación de dimensiones y espaciamiento de las barras de amarre en pavimento de concreto (grado 60)</i>	77
Tabla 50. <i>Recopilación de diámetros y longitudes en pasajuntas</i>	77

Índice de Figuras

Figura 1.	<i>Tránsito promedio diurno de 12 horas por tipo de vehículo (TPDI)</i>	21
Figura 2.	<i>Correlación del TPDA histórico – estación EMC 206</i>	25
Figura 3.	<i>Correlación del TPDA histórico – estación ECD 6201</i>	26
Figura 4.	<i>Correlación entre el TPDA (EMC 206) y el PIB (miles \$)</i>	28
Figura 5.	<i>Correlación entre Ln TPDA (EMC 206) y Ln PIB (miles \$)</i>	30
Figura 6.	<i>Correlación entre el TPDA (EMC 206) y la población (miles de habitantes)</i>	32
Figura 7.	<i>Correlación entre Ln TPDA (EMC 206) y Ln de la población (miles de habitantes)</i>	34
Figura 8.	<i>Perfil estratigráfico longitudinal de los sondeos del proyecto</i>	48
Figura 9.	<i>Determinación del CBR de diseño de la subrasante mediante curva acumulativa</i>	55
Figura 10.	<i>Ábaco de corrección del módulo efectivo de reacción por pérdida potencial de soporte</i>	66
Figura 11.	<i>Ábaco para estimar el módulo compuesto de reacción de subrasante, considerando una profundidad infinita de una capa rígida</i>	68
Figura 12.	<i>Ábaco para determinar el daño relativo en pavimentos rígidos basado en el espesor de losa y valor soporte</i>	69
Figura 13.	<i>Ábaco de diseño para pavimentos rígidos (a)</i>	70
Figura 14.	<i>Ábaco de diseño para pavimentos rígidos (b)</i>	71
Figura 15.	<i>Resultado del análisis del espesor de losa mediante el software Winpas 12</i>	73

1. INTRODUCCIÓN

Las carreteras constituyen uno de los elementos fundamentales para el desarrollo económico, social y territorial de cualquier país, al facilitar la movilidad de personas, bienes y servicios, y al fortalecer la integración entre comunidades. En este sentido, la infraestructura vial no solo cumple una función de conectividad, sino que también incide directamente en la competitividad, la seguridad del tránsito y la calidad de vida de la población. En Nicaragua, muchas vías, especialmente en zonas de desarrollo turístico y rural, presentan limitaciones en su diseño estructural y condiciones superficiales, lo cual genera problemas de transitabilidad, incrementa los costos de operación vehicular y reduce la eficiencia del transporte.

El sistema de transporte depende en gran medida de la calidad y funcionalidad de su red vial, la cual debe ser diseñada bajo criterios técnicos que aseguren su durabilidad y desempeño frente a las cargas del tránsito y las condiciones ambientales. En este sentido, el diseño de pavimentos representa un proceso técnico fundamental que involucra variables como el tránsito, las propiedades de los suelos, los materiales disponibles, el clima y las condiciones de drenaje, con el objetivo de garantizar estructuras capaces de soportar las solicitudes durante su vida útil.

El presente estudio se enfoca en el diseño de una estructura de pavimento para un tramo ubicado en Rancho Santana, municipio de Tola, departamento de Rivas, el cual actualmente presenta una superficie de rodadura conformada por material granular. Si bien esta condición permite la circulación vehicular, no proporciona niveles adecuados de confort, seguridad ni durabilidad, especialmente bajo condiciones climáticas adversas. En zonas con precipitaciones, estas vías son susceptibles a procesos de erosión, formación de baches y pérdida de material, lo que implica intervenciones frecuentes de mantenimiento.

El crecimiento de la actividad turística y residencial en el área ha incrementado la demanda de tránsito vehicular, lo que exige una infraestructura más eficiente y resistente. El tránsito es una de las variables más determinantes en el diseño de pavimentos, ya que define las cargas que actúan sobre la estructura. Para ello, es

necesario estimar parámetros como el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el crecimiento vehicular y la composición del tránsito, lo que permite proyectar adecuadamente la demanda futura.

De igual forma, el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo es esencial, ya que el comportamiento de la subrasante influye directamente en la capacidad estructural del pavimento. La caracterización de los suelos mediante ensayos que permiten determinar parámetros fundamentales como la granulometría, compactación y capacidad de soporte (CBR), necesarios para definir la estructura del pavimento.

El diseño de la estructura de pavimento se realizará utilizando el método AASHTO-93, el cual permite relacionar las cargas de tránsito, las condiciones del suelo y las propiedades de los materiales con el desempeño esperado del pavimento, determinando los espesores óptimos de las capas estructurales. Asimismo, el estudio se fundamenta en normativas como la NIC-2000, el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos y lineamientos del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), garantizando el cumplimiento de estándares técnicos adecuados.

La implementación de un pavimento adecuado en el tramo en estudio generará beneficios como la mejora en la seguridad vial, la reducción de los costos de mantenimiento, la optimización del tiempo de desplazamiento y el aumento del confort para los usuarios. Además, permitirá asegurar la transitabilidad durante todo el año, independientemente de las condiciones climáticas.

En este contexto, la investigación tiene como propósito establecer una solución técnica eficiente y sostenible mediante el diseño de una estructura de pavimento que responda a las condiciones del entorno y a las necesidades de tránsito actuales y futuras, contribuyendo al desarrollo del área de Rancho Santana y su entorno.

2. ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL

En los últimos años, Nicaragua ha impulsado una política sostenida de ampliación y mejoramiento de la infraestructura vial como parte de la estrategia nacional para reducir la pobreza y promover el desarrollo territorial. El Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza (PNCL) destaca que la construcción y rehabilitación de carreteras se ha convertido en un eje fundamental para dinamizar zonas productivas, turísticas y logísticas, al facilitar el transporte de bienes, servicios y personas.

Entre 2007 y 2020 se construyeron y rehabilitaron más de 3,700 km de carreteras, lo que ha permitido mejorar la movilidad en regiones rurales y costeras, así como incrementar el acceso a oportunidades económicas y sociales. Este fortalecimiento vial ha sido decisivo para el crecimiento del turismo, actividad que registró más de 13 millones de visitantes entre 2007 y 2017, generando ingresos superiores a USD 4,700 millones y consolidándose como uno de los sectores estratégicos de la economía nicaragüense.

El caso de estudio del tramo Rancho Santana, ubicado en el municipio de Tola, se inserta en este contexto de crecimiento, ya que la zona ha experimentado un aumento constante en actividades turísticas y residenciales. Sin embargo, la vía existente es un camino de tierra o macadán que presenta deterioros recurrentes debido a la erosión, las lluvias intensas y el tránsito vehicular constante.

Los registros de mantenimiento muestran que el tramo requiere frecuentes intervenciones de perfilado y reposición de material, lo que evidencia la necesidad de una solución estructural más duradera. Ante esta situación, el diseño de un pavimento rígido mediante el método AASHTO-93 representa una alternativa técnica eficaz que puede garantizar accesibilidad permanente y mejorar la seguridad y el confort de los usuarios.

A nivel internacional, la ingeniería vial ha evolucionado hacia enfoques basados en modelos mecanístico–empíricos y en el uso de concreto hidráulico para zonas

expuestas a condiciones climáticas severas o a tránsito creciente. Organismos como el Transportation Research Board (2023) y la Federal Highway Administration (2020) han resaltado la importancia de considerar el crecimiento vehicular, la resistencia de la subrasante y la durabilidad del pavimento ante ciclos de humedad y temperatura.

Esta tendencia ha sido adoptada ampliamente en América Latina, donde países como Colombia, México, Brasil y Chile han actualizado sus manuales de diseño entre 2016 y 2023, integrando criterios de sostenibilidad y análisis avanzados de tránsito y suelos.

En Nicaragua, el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) mantiene vigente el método AASHTO-93 para el diseño estructural de pavimentos, debido a su compatibilidad con los procedimientos de aforo y con la normativa geotécnica utilizada en los estudios de suelos.

El marco jurídico nacional respalda la ejecución de obras viales bajo criterios de seguridad, sostenibilidad y responsabilidad profesional. La Ley 856 de Tránsito regula la circulación vehicular y establece parámetros esenciales para la clasificación y análisis del tránsito. La Ley 217 del Medio Ambiente garantiza que los proyectos se desarrollen bajo prácticas responsables y con protección de los recursos naturales.

La Ley 423 de Ingeniería y Arquitectura regula el ejercicio profesional y asegura que los estudios y diseños cumplan con normas técnicas reconocidas. Estas leyes se complementan con las especificaciones del MTI, que establecen lineamientos para estudios de suelos, ensayos de laboratorio, diseño geométrico y métodos constructivos.

Las instituciones responsables del sector MTI, INETER, MARENA, FOMAV, INTUR y alcaldías, desempeñan funciones clave para la planificación, regulación y supervisión de proyectos viales. El MTI provee normativas y manuales técnicos; INETER contribuye con información geotécnica y cartográfica; MARENA evalúa los impactos ambientales; FOMAV garantiza el mantenimiento vial; e INTUR promueve la articulación entre infraestructura y turismo.

Esta estructura institucional crea un entorno adecuado para desarrollar proyectos que integran movilidad, desarrollo económico y sostenibilidad ambiental.

Los principios ingenieriles aplicados en este proyecto se fundamentan en la mecánica de suelos, la ingeniería del tránsito y el diseño de pavimentos rígidos. La caracterización de la subrasante mediante granulometría, límites de Atterberg, ensayos Proctor y CBR permite determinar su capacidad de soporte y evaluar la necesidad de subbases o bases estabilizadas.

Finalmente, las normas técnicas aplicables incluyen estándares ASTM para ensayos de laboratorio, normas AASHTO para caracterización de materiales y procedimientos de diseño, así como los manuales del MTI para la construcción y verificación de carreteras. La adopción de estos estándares garantiza confiabilidad, uniformidad y calidad en todas las etapas del proyecto.

En conjunto, estos antecedentes demuestran que el diseño del pavimento rígido en Rancho Santana no solo responde a una necesidad técnica, sino que se articula con la política nacional de combate a la pobreza, el desarrollo turístico y la mejora de la infraestructura vial. El proyecto aportará un beneficio significativo a la región de Tola, fortalecerá la conectividad y contribuirá a la sostenibilidad económica y social del territorio.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Realizar diseño de estructura de pavimento rígido por el método AASHTO-93, del tramo de 3 km Rancho Santana, municipio de Tola, departamento de Rivas.

3.2. Objetivos Específicos

1. Determinar el ESAL's de diseño conforme al procedimiento AASHTO-93 para definir la carga acumulada requerida en el diseño de la estructura de pavimento rígido.
2. Caracterizar las propiedades físico-mecánicas del suelo y de los bancos de materiales mediante ensayos de laboratorio para establecer los parámetros requeridos en el diseño estructural.
3. Calcular los espesores óptimos de la estructura de pavimento rígido aplicando el método AASHTO-93 para asegurar el soporte adecuado de las cargas proyectadas.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto consiste en el diseño de una estructura de pavimento rígido mediante el método AASHTO-93 para un tramo vial de 3 kilómetros ubicado en Rancho Santana, municipio de Tola, departamento de Rivas. (Ver Anexos, Figura 1, pág. I) Se trata de una intervención de infraestructura vial orientada a transformar un camino actualmente no pavimentado en una vía durable, segura y eficiente, capaz de responder a las necesidades crecientes de movilidad interna, actividad turística y desarrollo socioeconómico de la zona.

La localización del proyecto, comprendida entre las coordenadas N 11° 27' 0.241" - O 86° 3' 47.714" y N 11° 26' 30.494" - O 86° 5' 6.565", se enmarca dentro de un territorio con condiciones ambientales exigentes y con un notable crecimiento del turismo y las inversiones residenciales. Este contexto coincide con las prioridades del Plan Nacional de Lucha contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano (PNCL), el cual destaca la infraestructura vial como motor para la reducción de desigualdades, la generación de empleo, la potenciación del turismo sostenible y el fortalecimiento de los corredores productivos rurales.

El proyecto beneficiará de forma directa a los residentes, trabajadores y visitantes de Rancho Santana, quienes dependen de un acceso permanente y seguro para sus actividades cotidianas y económicas. De manera indirecta, favorecerá al municipio de Tola y al departamento de Rivas al mejorar la conectividad interna, dinamizar el turismo, facilitar el flujo de bienes y servicios y contribuir al desarrollo local que promueve el Gobierno de Nicaragua mediante obras que fortalecen la movilidad y la inclusión territorial.

El diseño contempla estudios técnicos de tránsito y suelo que permitirán determinar la estructura óptima del pavimento, garantizando su funcionalidad, durabilidad y capacidad de soportar cargas crecientes. Su alcance abarca únicamente la fase de diseño estructural, mientras que aspectos como la construcción, presupuestos detallados o evaluaciones ambientales formales quedan fuera de este estudio, aunque se reconoce su importancia en etapas posteriores.

En conjunto, el proyecto se presenta como una solución vial que responde a la necesidad de mejorar la infraestructura existente y que, a la vez, se alinea con los objetivos nacionales de combatir la pobreza, estimular la inversión y promover el turismo mediante obras públicas y privadas que fortalezcan el crecimiento sostenible del país.

5. FUNDAMENTOS TÉCNICOS

El diseño estructural de pavimentos se fundamenta en principios de ingeniería que buscan asegurar durabilidad, funcionalidad y seguridad en las vías de transporte. Un pavimento constituye un sistema capaz de soportar y distribuir cargas vehiculares manteniendo condiciones adecuadas de serviciabilidad durante su vida útil. Estos elementos permiten sustentar decisiones que favorecen la sostenibilidad de la infraestructura, reducen intervenciones futuras y optimizan el uso de recursos.

La teoría del diseño vial establece que la selección de espesores y materiales depende directamente de las solicitaciones impuestas por el tránsito. Para ello, el análisis inicia con la determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), concepto que refleja la demanda vehicular promedio a lo largo de un año y que se obtiene mediante aforos ajustados por factores de variación temporal (SIECA, 2011; MTI, 2023). Este enfoque estadístico permite comprender el comportamiento del flujo vehicular y anticipar tendencias de crecimiento que influyen en la magnitud de las cargas esperadas.

La proyección del tránsito se basa en modelos matemáticos que incorporan tasas anuales de crecimiento y períodos de diseño establecidos por la normativa, dando como resultado un volumen futuro esperado que servirá como referencia para dimensionar la estructura (AASHTO, 2006). Este método, derivado de principios de análisis probabilístico, permite estimar la carga acumulada en términos de daño estructural. Para ello se emplea el concepto de ejes equivalentes (ESAL), el cual transforma un tránsito heterogéneo en un valor unificado capaz de representar el desgaste inducido por los diferentes tipos de vehículos (Coronado Iturbide, 2002).

De igual manera, los Límites de Atterberg brindan información fundamental sobre la plasticidad y el comportamiento volumétrico ante variaciones de humedad, lo que permite identificar suelos susceptibles a cambios que podrían comprometer la estructura del pavimento (Das, 2014).

Conceptos como el Índice de Plasticidad y el Índice de Liquidez son esenciales para evaluar la consistencia del suelo en su estado natural y su potencial para deformarse

bajo cargas repetidas. Estos parámetros complementan la clasificación AASHTO, que organiza los suelos en grupos de desempeño y asigna un Índice de Grupo que indica su aptitud como subrasante, relacionando directamente características físicas con capacidad portante (AASHTO, 2006). Este proceso de clasificación permite establecer necesidades de mejoramiento o selección de materiales adecuados para bases y subbases.

La compactación del suelo constituye otro fundamento técnico indispensable, pues incrementa la resistencia al reducir el contenido de aire entre partículas. Ensayo Proctor modificado permiten identificar condiciones óptimas de humedad y densidad necesarias para maximizar el desempeño del terreno (ASTM, 2011). La resistencia medida mediante el ensayo CBR complementa esta información, al proporcionar un índice cuantitativo utilizado para correlaciones que permiten estimar el módulo de reacción k requerido en el diseño de pavimentos rígidos (ASTM, 2016).

El pavimento rígido se basa en una losa de concreto hidráulico capaz de distribuir cargas a través de su rigidez flexional. Su desempeño depende de parámetros como la resistencia a la tracción por flexión, el módulo elástico del concreto, el módulo de reacción de la subrasante y la capacidad de transferencia de cargas entre losas adyacentes (Lynch Blackman, 2022).

El diseño AASHTO-93 integra estos elementos mediante una ecuación empírica–probabilística desarrollada a partir del AASHO Road Test, permitiendo predecir la evolución del deterioro en función del tránsito acumulado y de la confiabilidad deseada (AASHTO, 2006).

El método también incorpora la influencia del drenaje, dado que la presencia de humedad excesiva reduce significativamente la capacidad soporte de las capas inferiores. Por ello, el coeficiente de drenaje C_d ajusta el espesor requerido según la calidad del sistema hidráulico proyectado (AASHTO, 2006). Asimismo, la transferencia de cargas adquiere relevancia, pues un adecuado funcionamiento de las juntas reduce

deformaciones diferenciales y prolonga la vida útil del pavimento al minimizar esfuerzos concentrados en los bordes (CORASCO, 2008).

La serviciabilidad, entendida como la capacidad del pavimento para brindar comodidad y seguridad al usuario, constituye un eje transversal del diseño. La pérdida de serviciabilidad ΔPSI , que relaciona el estado inicial y final deseado, es un parámetro crítico en la ecuación AASHTO y determina cuánta degradación estructural se acepta antes de considerar necesaria una rehabilitación (AASHTO, 2006). Este enfoque permite que el diseño no solo responda a las cargas estructurales, sino también al nivel de desempeño esperado por los usuarios de la vía.

La integración de estos principios permite desarrollar un diseño coherente con las condiciones reales del tramo Rancho Santana – Tola. El análisis articulado del tránsito, la caracterización del suelo y los parámetros mecánicos del concreto ofrece una base sólida para dimensionar la losa de pavimento rígido, garantizando resistencia, comportamiento adecuado ante ciclos climáticos y una vida útil acorde con las necesidades operativas del sitio.

El enfoque aplicado del método AASHTO-93 asegura que las decisiones de diseño estén respaldadas en criterios técnicos actualizados y ajustados a la condición específica del terreno y del tránsito proyectado.

6. METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

La metodología del presente proyecto se estructuró en función de los objetivos específicos planteados, con el propósito de mantener una relación directa entre la información recopilada, el análisis técnico realizado y la propuesta final de diseño de pavimento rígido para el tramo de 3 km ubicado en Rancho Santana, municipio de Tola, departamento de Rivas.

El estudio se desarrolló con un enfoque aplicado, apoyado en procedimientos de ingeniería de tránsito, geotecnia y diseño estructural de pavimentos. Para ello se utilizaron registros de campo, resultados de estudios previos disponibles para el proyecto, herramientas de análisis técnico y criterios establecidos en normas y manuales especializados, principalmente la metodología AASHTO-93 para pavimentos rígidos.

6.1. Metodología para determinar los ejes equivalentes de diseño

Para el cumplimiento del primer objetivo específico se realizó el estudio de tránsito del tramo, tomando como base un aforo vehicular manual efectuado en una estación representativa del proyecto. El conteo se desarrolló durante tres días consecutivos, en jornadas de doce horas, considerando ambos sentidos de circulación y clasificando los vehículos según su tipología.

A partir de estos registros se calcularon los volúmenes diarios de tránsito y posteriormente se determinó el tránsito promedio diario de diseño. Para proyectar el comportamiento del tránsito a lo largo del período de diseño se analizaron registros históricos de tránsito, así como variables socioeconómicas relacionadas con el crecimiento vehicular, tales como el Producto Interno Bruto y la población. Con esta información se establecieron tasas de crecimiento y se aplicaron modelos de correlación y elasticidad para definir la tasa de crecimiento más representativa del tramo.

Posteriormente, se calcularon el período de diseño, el factor de crecimiento, los factores de distribución por dirección y por carril, y el tránsito acumulado de diseño. Finalmente, con base en la clasificación vehicular y los factores de equivalencia de carga, se determinaron los ejes equivalentes de diseño (ESAL) requeridos para el dimensionamiento estructural del pavimento rígido.

6.2. Metodología para caracterizar las propiedades físico-mecánicas del suelo y del banco de material.

Para el segundo objetivo específico se realizó la caracterización geotécnica de la subrasante y del banco de material propuesto para el proyecto.

En el caso de la subrasante, se trabajó con registros de exploración de suelos ya disponibles para el proyecto Rancho Santana, correspondientes a un estudio previo que abarcaba un tramo de mayor extensión. De dicho estudio se seleccionaron únicamente los sondeos localizados dentro de los 3 km que conforman el tramo analizado. Esta información incluía resultados de granulometría, límites de Atterberg, clasificación de suelos según los sistemas AASHTO y SUCS, así como valores de CBR.

A partir de estos registros se elaboró la estratigrafía del terreno, se identificaron los tipos de suelos predominantes y se evaluaron sus propiedades físicas y mecánicas. Luego se seleccionaron las muestras representativas de la zona de subrasante para determinar el CBR de diseño, utilizando el criterio percentil recomendado por el Instituto del Asfalto en función del nivel de tránsito estimado para el proyecto.

En relación con el banco de material, se utilizaron los datos disponibles del banco de préstamo Santa Juana, proporcionados dentro de la información técnica del proyecto. Se analizaron su granulometría, plasticidad, clasificación, CBR, propiedades de compactación y volumen explotable, y posteriormente se compararon con las especificaciones aplicables para materiales de subbase y base granular, a fin de verificar su aptitud para la estructura del pavimento.

Es importante señalar que, en esta etapa, el trabajo se basó en información geotécnica previamente disponible del proyecto, por lo que la metodología consistió en la revisión, organización, interpretación y aplicación técnica de dichos resultados.

6.3. Metodología para calcular los espesores óptimos de la estructura de pavimento rígido

Para el tercer objetivo específico se aplicó la metodología AASHTO-93 para pavimentos rígidos, integrando los resultados obtenidos en los estudios de tránsito y de suelos con los parámetros mecánicos del concreto y las condiciones de soporte de la subrasante.

En esta fase se definieron las variables necesarias para el diseño estructural, entre ellas: confiabilidad, desviación estándar, pérdida de serviciabilidad, módulo de elasticidad del concreto, módulo de ruptura, coeficiente de drenaje, coeficiente de transferencia de carga, módulo resiliente, módulo de reacción de la subrasante y pérdida de soporte. Con estos parámetros se realizó una primera estimación del espesor de la losa mediante el uso de ábacos de diseño AASHTO para pavimentos rígidos.

Debido a que el procedimiento mediante ábacos es de carácter gráfico, el resultado obtenido se verificó posteriormente con el programa WinPAS 12, el cual resuelve el método de forma analítica. Con base en esta comparación se adoptó el espesor final de la losa y de la subbase granular, considerando no solo el resultado estructural, sino también criterios de seguridad, constructibilidad y uniformidad en obra.

Una vez definidos los espesores, se procedió a la modulación de losas y al diseño de juntas, barras de amarre y barras pasadoras, utilizando criterios y recomendaciones contenidas en manuales especializados para pavimentos de concreto.

6.4. Estrategia de análisis y validación técnica

La información recopilada fue organizada en tablas, figuras, perfiles estratigráficos, curvas y cuadros resumen, con el objetivo de facilitar su interpretación y su aplicación dentro del proceso de diseño. El análisis se desarrolló de forma secuencial, integrando

primero el comportamiento del tránsito, luego las condiciones geotécnicas del terreno y finalmente el diseño estructural del pavimento.

La validación técnica del proyecto se realizó mediante la comparación entre distintos procedimientos de análisis, la revisión de consistencia entre resultados y la verificación de los parámetros adoptados con base en normas, manuales y recomendaciones técnicas aplicables al diseño de pavimentos rígidos. De esta forma, la metodología utilizada permitió obtener una propuesta de diseño coherente con las condiciones reales del tramo en estudio y con los objetivos planteados en el proyecto de graduación.

7. RESULTADOS

7.1. Estudio de tránsito

7.1.1. Ubicaciones de estaciones de aforo vehicular y condiciones

La estación de aforo vehicular fue instalada en la Estación 0+000, punto de inicio del tramo de 3 km Rancho Santana, seleccionado por su representatividad del flujo total que ingresa y egresa del sector. (Ver Anexos, Figura 2,3,4 y 5, pág. I-III)

7.1.2. Periodo de aforo de tránsito

El período de aforo comprendió tres días consecutivos, del martes 13 al jueves 15 de enero de 2026, efectuándose conteos manuales en la Estación 0+000. Las jornadas se desarrollaron durante 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.), considerando ambos sentidos de circulación, conforme se resume en la Tabla 1.

Tabla 1.

Aforo vehicular

Tramo de 3 km: Rancho Santana, municipio de Tola, departamento de Rivas	
Estación	0+000
Horas	12 horas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.)
Sentido	Ambos sentidos
Duración	3 días
Aforo Inicial	13 de enero de 2026
Aforo Final	15 de enero de 2026

Fuente. Elaboración propia

7.1.3. Resultados de los aforos de tránsito.

Para la clasificación del tránsito observado se adoptó la tipología vehicular oficial del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), conforme al Anuario de Aforo de Tránsito 2020. (Ver Anexos, Tabla 1, pág. IV)

El conteo vehicular se realizó mediante un formato de aforo clasificado de 12 horas continuas, diseñado para registrar el volumen de tránsito por intervalos horarios y por categoría vehicular. (Ver Anexos, Tabla 2, pág. V)

Los resultados obtenidos, presentados en las Tablas 2, 3 y 4, evidencian predominio de tránsito liviano y baja participación de vehículos pesados, constituyendo la base para el cálculo del TPDi y posteriormente del TPDA de diseño.

Tabla 2.

Primer aforo vehicular

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA INGENIERÍA DE TRÁNSITO																						
DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE 3 KM RANCHO SANTANA, MUNICIPIO DE TOLA, DEPARTAMENTO DE RIVAS.																						
CONTEO VEHICULAR																						
ESTACIÓN: 0+000						TRAMO: Rancho Santana																
SENTIDO: Ambos Sentidos																						
FECHA: 13/01/2026						CONTADOR DE TRÁFICO: Jasson Alejandro Real Montiel																
HORA	VEHÍCULOS DE PASAJEROS								VEHÍCULOS DE CARGA										Otros Vehículos Pesados			TOTAL
	Vehículos Livianos					Autobuses			Camiones				Camión		Tráiler Articulado				Pesados			
	Bici	Motos	Autos	Jeep/SUV	Pick Up	Microbús <15 pax	Minibús 15-30 pax	Grande	Camión Ligero	C2 > 4 ton	C3	C4	≤ 4 ejes	≥ 5 ejes	T2-S1	T2-S2	T3-S2	T3-S3	Agríc	Const	Otros	
6:00-7:00	0	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
7:00-8:00	0	0	1	3	5	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
8:00-9:00	0	0	1	4	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
9:00-10:00	0	5	1	10	10	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
10:00-11:00	0	2	1	13	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
11:00-12:00	0	3	0	9	8	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
12:00-13:00	0	2	0	3	10	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
13:00-14:00	0	0	2	7	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
14:00-15:00	0	2	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
15:00-16:00	0	1	0	11	3	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
16:00-17:00	0	7	0	6	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
17:00-18:00	0	3	1	9	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
TOTAL	0	25	7	85	65	16	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	204

Fuente. Elaboración propia

Tabla 3.
Segundo aforo vehicular

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA INGENIERÍA DE TRÁNSITO																						
DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE 3 KM RANCHO SANTANA, MUNICIPIO DE TOLA, DEPARTAMENTO DE RIVAS.																						
CONTEO VEHICULAR																						
ESTACIÓN: 0+000						TRAMO: Rancho Santana																
SENTIDO: Ambos Sentidos																						
FECHA: 14/01/2026						CONTADOR DE TRÁFICO: Miguel Alejandro Escobar Jarquín																
HORA	VEHÍCULOS DE PASAJEROS								VEHÍCULOS DE CARGA										Otros Vehículos Pesados			TOTAL
	Vehículos Livianos					Autobuses			Camiones				Camión		Tráiler Articulado				Pesados			
	Bici	Motos	Autos	Jeep/SUV	Pick Up	Microbús <15 pax	Minibús 15-30 pax	Grande	Camión Ligero	C2 > 4 ton	C3	C4	≤ 4 ejes	≥ 5 ejes	T2-S1	T2-S2	T3-S2	T3-S3	Agríc	Const	Otros	
6:00-7:00	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
7:00-8:00	0	0	1	4	6	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
8:00-9:00	0	0	1	5	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
9:00-10:00	0	6	1	12	12	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
10:00-11:00	0	2	1	15	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
11:00-12:00	0	4	0	11	9	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
12:00-13:00	0	2	0	4	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
13:00-14:00	0	0	2	8	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
14:00-15:00	0	2	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
15:00-16:00	0	1	0	13	4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
16:00-17:00	0	8	0	7	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
17:00-18:00	0	4	1	11	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
TOTAL	0	29	7	102	77	19	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	240

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4.

Tercer aforo vehicular

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA INGENIERÍA DE TRÁNSITO																							
DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO POR EL MÉTODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE 3 KM RANCHO SANTANA, MUNICIPIO DE TOLA, DEPARTAMENTO DE RIVAS.																							
CONTEO VEHICULAR																							
ESTACIÓN: 0+000						TRAMO: Rancho Santana																	
SENTIDO: Ambos Sentidos																							
FECHA: 15/01/2026						CONTADOR DE TRÁFICO: Kevin Josué Toruño Pineda																	
HORA	VEHÍCULOS DE PASAJEROS								VEHÍCULOS DE CARGA										Otros Vehículos Pesados			TOTAL	
	Vehículos Livianos					Autobuses			Camiones				Camión		Tráiler Articulado				Pesados				
	Bici	Motos	Autos	Jeep/SUV	Pick Up	Microbús <15 pax	Minibús 15-30 pax	Grande	Camión Ligero	C2 > 4 ton	C3	C4	≤ 4 ejes	≥ 5 ejes	T2-S1	T2-S2	T3-S2	T3-S3	Agríc	Const	Otros		
6:00-7:00	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
7:00-8:00	0	0	1	2	4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	
8:00-9:00	0	0	1	3	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
9:00-10:00	0	4	1	8	8	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	
10:00-11:00	0	2	1	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
11:00-12:00	0	2	0	7	6	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	
12:00-13:00	0	2	0	2	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
13:00-14:00	0	0	2	5	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
14:00-15:00	0	2	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
15:00-16:00	0	1	0	9	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
16:00-17:00	0	5	0	5	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
17:00-18:00	0	2	1	7	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	
TOTAL	0	20	7	65	52	13	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163	

Fuente. Elaboración propia

7.1.4. Determinación del tránsito promedio diario (TPDiS).

En la Tabla 5 se muestra el consolidado del TPDi (12 horas) por clase vehicular y su participación porcentual.

El análisis evidencia un claro predominio de vehículos livianos, que representan más del 97% del tránsito observado, destacándose la categoría Jeep/SUV. En contraste, la incidencia de camiones es mínima (2.96%), lo cual refleja una baja demanda estructural por carga pesada en el tramo.

Tabla 5.

Tráfico promedio diario de 12 horas por tipo de vehículo

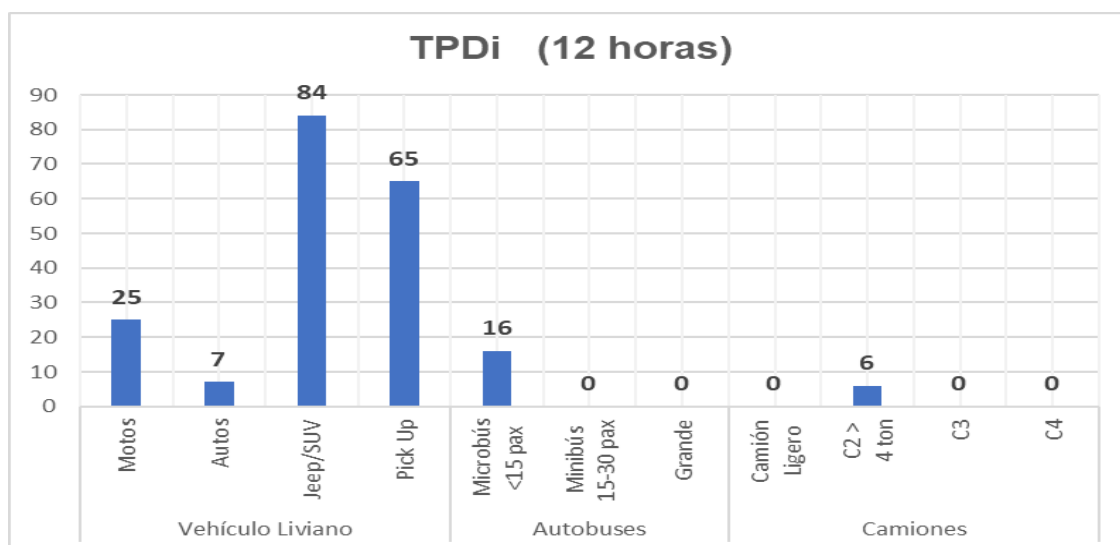
Estación	0+000			Días de conteo		3						
Día	Vehículos de pasajeros			Autobuses				Camiones				Total
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4				Clase 5		Clase 6	Clase 7	
	Motos	Autos	Jeep	Pick-up	Microbús	Minibús 15-30 pax	Bus	Camión ligero	C2	C3	C4	
Martes	25	7	85	65	16	0	0	0	6	0	0	204
Miércoles	29	7	102	77	19	0	0	0	6	0	0	240
Jueves	20	7	65	52	13	0	0	0	6	0	0	163
Total	74	21	252	194	48	0	0	0	18	0	0	607
TPDi (12 horas)	25	7	84	65	16	0	0	0	6	0	0	203
TPDi (12 horas) %	12.32%	3.45%	41.38%	32.02%	7.88%	0.00%	0.00%	0.00%	2.96%	0.00%	0.00%	100.0%
	57.14%		39.90%			2.96%						
	Vehículos livianos		Vehículos de pasaieros			Vehículos pesados						

Fuente. Elaboración propia

La Figura 1 presenta el Tránsito Promedio Diario de 12 horas (TPDi) por tipo de vehículo, donde se evidencia un claro predominio de vehículos livianos, especialmente Jeep/SUV y Pick Up.

Figura 1.

Tránsito promedio diario de 12 horas por tipo de vehículo (TPDi)



Fuente. Elaboración propia

La participación de vehículos de carga pesada es mínima, lo que indica una baja incidencia estructural por tránsito pesado en el tramo analizado.

7.1.5. Tránsito promedio diario anual, TPDA

Los factores de ajuste empleados provienen del Anuario Estadístico de Tránsito 2022 del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Para el presente estudio se adoptó como estación de referencia la EMC N.º 206 Empalme Grajinan – Rivas, por presentar condiciones de tránsito similares al tramo analizado. (Ver Anexos, Figura 6, Tabla 3, pág. III-V)

En la Tabla 6 se presenta la aplicación de los factores de ajuste al Tránsito Promedio Diario de 12 horas (TPDi), obteniéndose el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) por tipo de vehículo. El resultado final muestra un TPDA total de 251 vehículos, con predominio de tránsito liviano y baja participación de vehículos pesados.

Tabla 6.*Tránsito promedio diario anual estimado (TPDA)*

Tipos de vehículos	Vehículos livianos			Vehículos pesados								Total
	Vehiculos de pasajero			Autobuses				Camiones				
	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4				Clase 5		Clase 6	Clase 7	
	Motos	Autos	Jeep	Pick-up	Microbús s <15 pax	Minibús 15-30 pax	Bus	Camión ligero	C2	C3	C4	
TPDi (12 horas)☐	25	7	84	65	16	0	0	0	6	0	0	203
Factor día	1.27	1.27	1.24	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.40	1.00	
Factor semana	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.94	1.00	
Factor expansión a TPDA	1.10	0.91	0.92	1.04	1.04	1.04	1.04	1.07	1.07	1.46	1.60	
TPDA	35	9	94	84	21	0	0	0	8	0	0	251
TPAD %	13.94%	3.59%	37.45%	33.47%	8.37%	0.00%	0.00%	0.00%	3.19%	0.00%	0.00%	100.0%

Fuente. Elaboración propia

7.1.6. Tasas de crecimientos

Para estimar la tasa de crecimiento del tránsito futuro en el tramo Rancho Santana – Rivas, se realizó un análisis de correlación entre los registros históricos del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), el Producto Interno Bruto (PIB) y la población. El objetivo fue definir una tasa diferenciada sustentada en tendencias históricas, como se aprecia en la Tabla 7.

Con información del Banco Central de Nicaragua y del Anuario de Aforos del MTI, se consolidaron los datos históricos del período 2008–2023, permitiendo evaluar la evolución del tránsito en función de variables macroeconómicas y demográficas. (Ver Anexos, Tablas 4, 5 y 6, pág. VI-VII)

Tabla 7.*Registros históricos del PIB, TPDA y población*

Año	TPDA EMC 206	TPDA ECD 6201	PIB (miles \$)	Población (miles de habitantes)
2008	3,897		8,497	5,669
2009	3,624		8,299	5,742
2010	2,982		8,759	5,816
2011	3,107		9,774	5,997
2012	4,241		10,533	6,071
2013	5,344		10,983	6,134
2014	6,447		11,880	6,198
2015	6,028		12,757	6,263
2016	5,608		13,286	6,328
2017	5,036		13,786	6,394
2018	4,464		13,025	6,460
2019	3,892		12,699	6,528
2020	3,320		12,726	6,596
2021	4,464		14,209	6,664
2022	5,607	2,895	15,635	6,734
2023	5,771	2,980	17,806	6,804

Fuente. Adaptado del Informe Anual del Banco Central de Nicaragua (2024).

7.1.7. Correlación de datos para la ECD 6202 y EMC 206

Para el análisis de correlación se utilizaron los registros históricos del TPDA de las estaciones más representativas cercanas al tramo en estudio: la Estación de Mayor Cobertura EMC 206 (Empalme Grajinan – Rivas) y la Estación de Corta Duración ECD 6201 (Tola – Las Salinas).

Como se aprecia en Tabla 8, estos datos constituyeron la base para evaluar la evolución del tránsito y su relación con las variables macroeconómicas analizadas.

Tabla 8.*Tasas de crecimiento anual del TPDA para la EMC 206 y la ECD 6201*

Año	TPDA EMC 206	Tc (%)	TPDA ECD 6201	Tc (%)
2008	3,897			
2009	3,624	-7.01%		
2010	2,982	-17.72%		
2011	3,107	4.19%		
2012	4,241	36.50%		
2013	5,344	26.01%		
2014	6,447	20.64%		
2015	6,028	-6.51%		
2016	5,608	-6.96%		
2017	5,036	-10.20%		
2018	4,464	-11.36%		
2019	3,892	-12.81%		
2020	3,320	-14.70%		
2021	4,464	34.44%		
2022	5,607	25.62%	2,895	
2023	5,771	2.92%	2,980	2.94%
Promedio	4,614	4.20%	2,938	2.94%

Fuente. Datos adaptados del Anuario de Aforo de Tráfico del Ministerio de Transporte e Infraestructura (2022).

7.1.8. Tasas de crecimiento anual para la ECD 6201 y la EMC 206

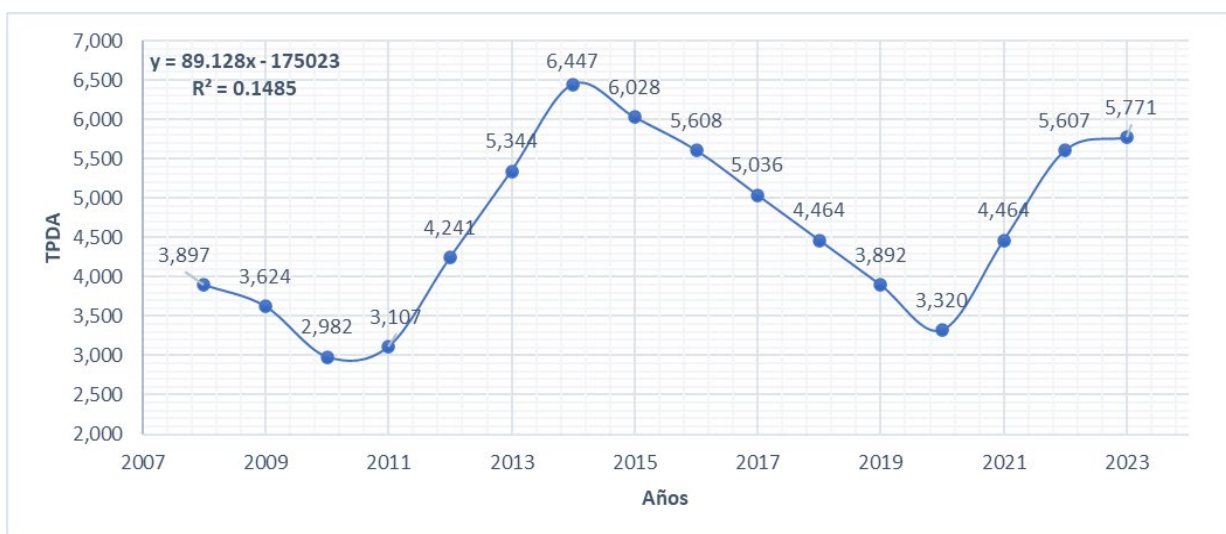
La Tabla 8 presenta las tasas de crecimiento anual del TPDA para la Estación de Mayor Cobertura EMC 206 (Empalme Grajinan – Rivas), evidenciando una tendencia general de crecimiento en los últimos años. Aunque se observan variaciones interanuales, los incrementos registrados en 2012, 2014 y 2022 elevan la tasa promedio a 4.20%.

A partir de estos registros se realizaron análisis de correlación para evaluar la consistencia de las estaciones utilizadas en la proyección del tránsito.

En contraste, la Estación de Corta Duración ECD 6201 (Tola – Las Salinas) presenta discontinuidad en varios años, lo que introduce incertidumbre en su comportamiento histórico, aun cuando su tasa promedio estimada es de 2.94%.

Figura 2.

Correlación del TPDA histórico – Estación EMC 206



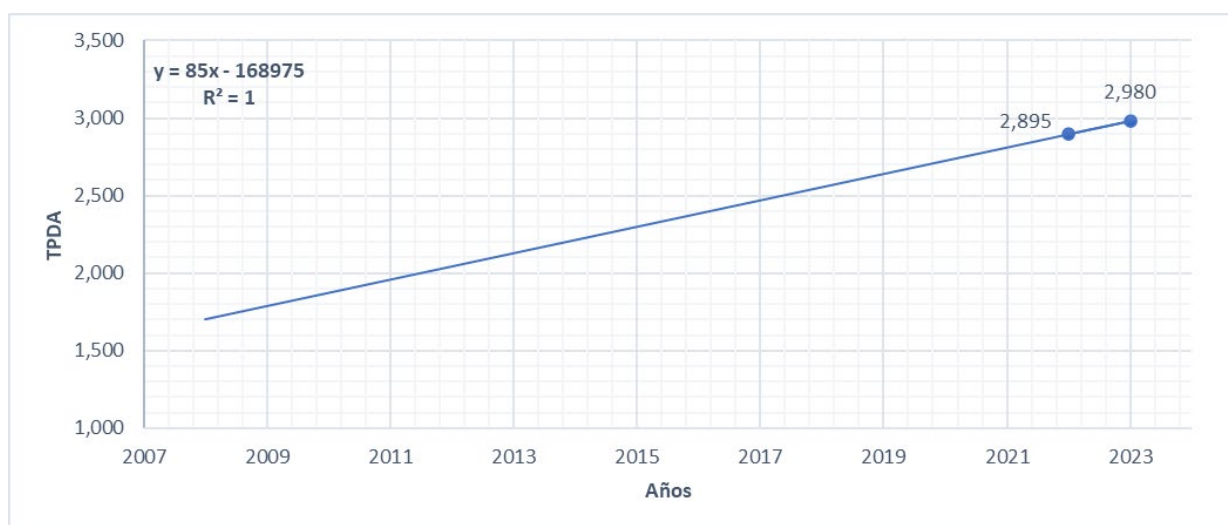
Fuente. Elaboración propia

La Figura 2 presenta la evolución histórica del TPDA correspondiente a la Estación de Mayor Cobertura EMC N.º 206, la cual dispone de un conjunto de datos más completo y continuo en comparación con otras estaciones analizadas.

La tendencia lineal muestra un comportamiento general creciente, con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.1485$, indicando una correlación moderada entre el tránsito y el tiempo.

Figura 3.

Correlación del TPDA histórico – Estación ECD 6201



Fuente. Elaboración propia

En contraste, la Figura 3 muestra el comportamiento del TPDA correspondiente a la Estación de Corta Duración ECD N.º 6201, la cual presenta discontinuidad en sus registros históricos. Aunque el ajuste lineal arroja un $R^2 = 1$, este resultado responde a la limitada cantidad de datos disponibles, lo que reduce su representatividad estadística y afecta la confiabilidad del análisis de tendencia.

7.1.9. Correlación de datos entre EMC N0 206 y Producto Interno Bruto.

Con base en la información del Banco Central de Nicaragua, se consolidaron los datos históricos del Producto Interno Bruto (PIB) para el período 2008–2023.

El análisis permitió evaluar el comportamiento económico de los últimos 15 años, obteniéndose un PIB promedio de 12,165.84 millones de dólares y una tasa de crecimiento anual promedio del 5.20%, como se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9.*Tasas de crecimiento anual para PIB*

Año	TPDA EMC 206	PIB (miles \$)	Tasa Crecimiento Anual (PIB)
2008	3,897	8,497	
2009	3,624	8,299	-2.33%
2010	2,982	8,759	5.54%
2011	3,107	9,774	11.60%
2012	4,241	10,533	7.76%
2013	5,344	10,983	4.28%
2014	6,447	11,880	8.17%
2015	6,028	12,757	7.38%
2016	5,608	13,286	4.15%
2017	5,036	13,786	3.76%
2018	4,464	13,025	-5.52%
2019	3,892	12,699	-2.50%
2020	3,320	12,726	0.22%
2021	4,464	14,209	11.65%
2022	5,607	15,635	10.03%
2023	5,771	17,806	13.89%
Promedio	4,614 veh/día	\$12,165.84	5.20%

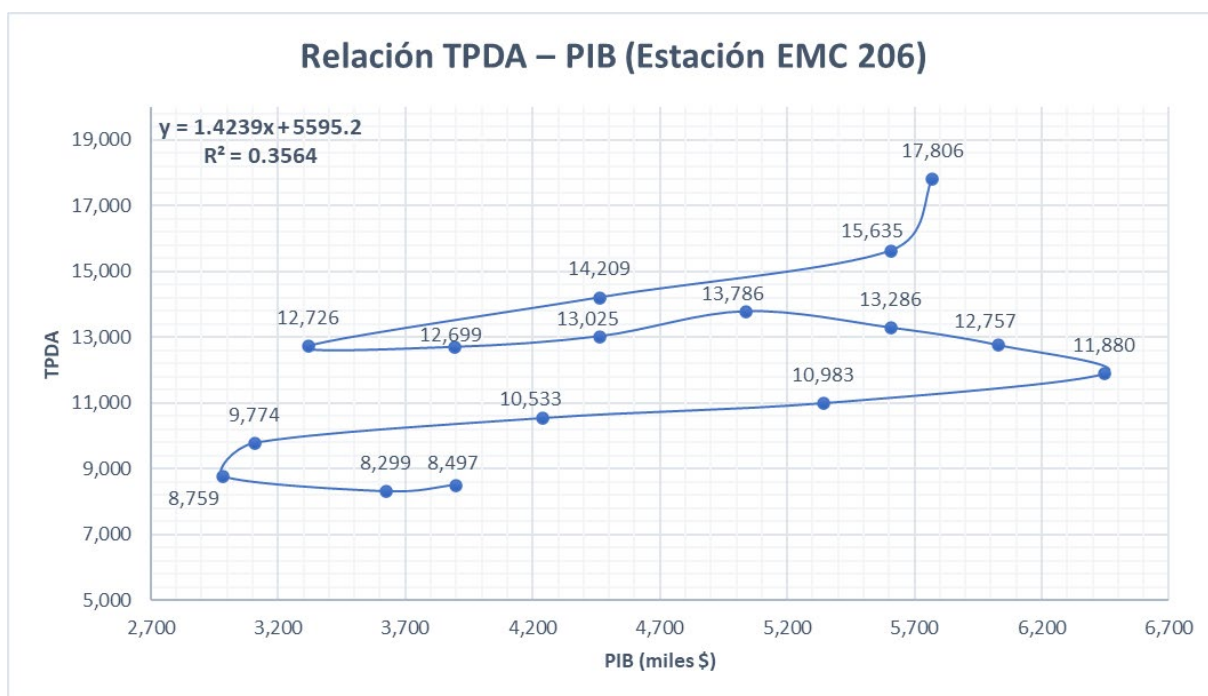
Fuente. Adaptado del Informe Anual del Banco Central de Nicaragua (2024).

La Figura 4 muestra la correlación entre el TPDA de la EMC 206 y el Producto Interno Bruto (PIB), evidenciando una relación positiva entre ambas variables.

El análisis dio un coeficiente de determinación $R^2 = 0.3564$, indicando una correlación moderada, y una elasticidad estimada de 1.4239, lo que sugiere sensibilidad del tránsito frente a variaciones económicas.

Figura 4.

Correlación entre el TPDA (EMC 206) y el PIB (miles \$)



Fuente. Elaboración propia

Posteriormente, se refinó el modelo de correlación mediante la transformación logarítmica de los datos presentados en la Tabla 10.

Al aplicar el logaritmo natural a ambas variables, se obtuvieron nuevas rectas de regresión ajustadas, permitiendo recalcular el coeficiente de correlación y mejorar la interpretación estadística de la relación entre el TPDA y el PIB.

Tabla 10.

Transformación logarítmica del TPDA (EMC 206) y del PIB (miles \$)

Año	Ln TPDA (EMC 206)	Ln PIB (miles \$)
2008	8.27	9.05
2009	8.20	9.02
2010	8.00	9.08
2011	8.04	9.19
2012	8.35	9.26
2013	8.58	9.30
2014	8.77	9.38
2015	8.70	9.45
2016	8.63	9.49
2017	8.52	9.53
2018	8.40	9.47
2019	8.27	9.45
2020	8.11	9.45
2021	8.40	9.56
2022	8.63	9.66
2023	8.66	9.79

Fuente. Adaptado del Informe Anual del Banco Central de Nicaragua (2024) y de los registros históricos de TPDA de la estación EMC 206.

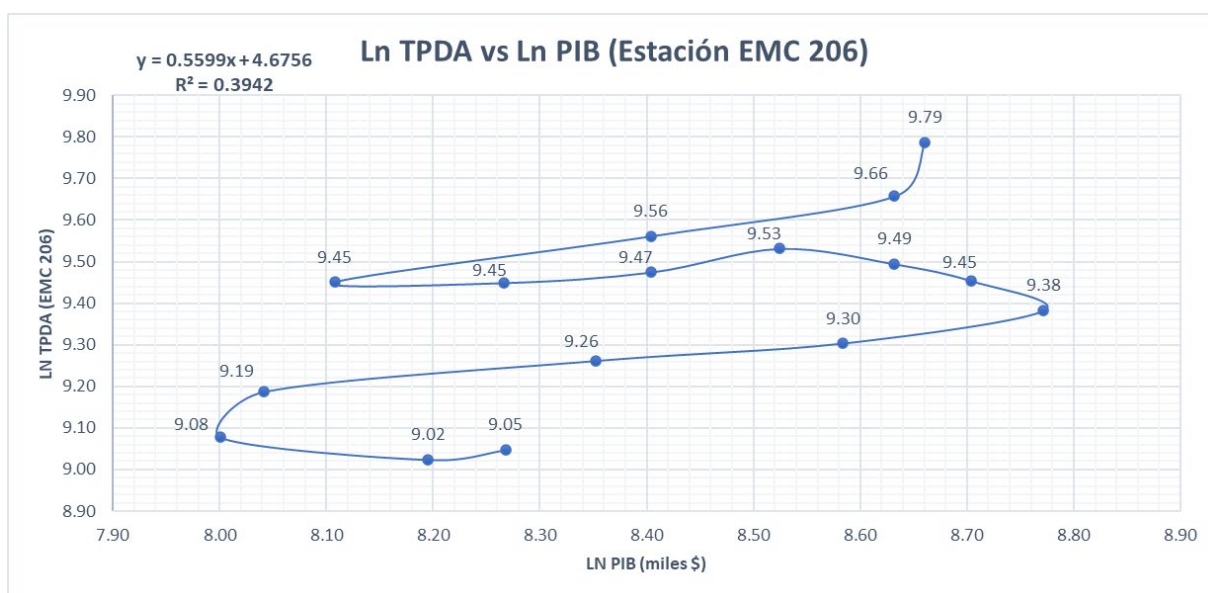
La Figura 5 muestra la correlación entre las variables transformadas LN(TPDA) de la EMC 206 y LN(PIB), obteniéndose un coeficiente de determinación $R^2 = 0.3942$, superior al modelo lineal simple.

En este enfoque, la elasticidad corresponde al coeficiente de pendiente de la ecuación de regresión, representando la sensibilidad del tránsito frente a variaciones del PIB.

Al comparar ambos modelos, se adoptó la elasticidad asociada al mayor valor de R^2 , por considerarse estadísticamente más representativa y consistente para la proyección del tránsito.

Figura 5.

Correlación entre Ln TPDA (EMC 206) y Ln PIB (miles \$)



Fuente. Elaboración propia

Tal como se muestra en la Tabla 11, se seleccionó la elasticidad correspondiente al modelo logarítmico, al presentar un coeficiente de determinación ligeramente superior ($R^2 = 0.3942$).

Este resultado indica un mejor ajuste estadístico entre las variables analizadas, por lo que dicha elasticidad será adoptada para la estimación de las tasas de crecimiento del tránsito.

Tabla 11.

Resultados de correlación entre el TPDA (EMC 206) y el PIB (miles \$)

Modelo de correlación	R^2	Elasticidad	Modelo seleccionado
TPDA vs PIB	0.3564	1.4239	$y = 0.5599x + 4.6756$ $R^2 = 0.3942$
Ln TPDA vs Ln PIB	0.3942	0.5599	

Fuente. Elaboración propia

7.1.10. Correlación de datos entre EMC 206 y Población (POB)

Con base en la información del Banco Central de Nicaragua, se consolidaron los registros históricos de población para el período 2008–2023, como se presenta en la Tabla 12. El análisis permitió identificar un promedio poblacional de 6,275 miles de habitantes y una tasa de crecimiento anual promedio de 1.23%.

Tabla 12.

Tasas de crecimiento anual de la población

Año	TPDA EMC 206	Población (miles de habitantes)	Tasa Crecimiento Anual (Población)
2008	3,897	5,669	
2009	3,624	5,742	1.30%
2010	2,982	5,816	1.27%
2011	3,107	5,997	3.11%
2012	4,241	6,071	1.24%
2013	5,344	6,134	1.04%
2014	6,447	6,198	1.04%
2015	6,028	6,263	1.04%
2016	5,608	6,328	1.04%
2017	5,036	6,394	1.04%
2018	4,464	6,460	1.04%
2019	3,892	6,528	1.04%
2020	3,320	6,596	1.04%
2021	4,464	6,664	1.04%
2022	5,607	6,734	1.04%
2023	5,771	6,804	1.04%
Promedio	4,614 veh/día	6,275 miles/hab	1.23%

Fuente. Adaptado del Informe Anual del Banco Central de Nicaragua (2024).

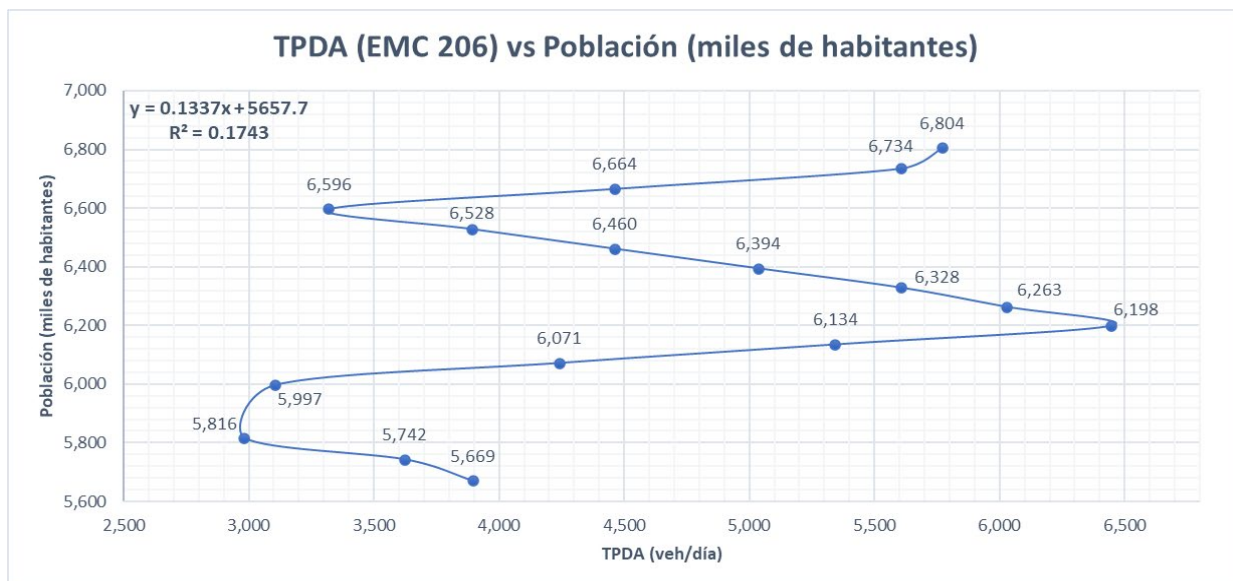
Las variables TPDA de la Estación de Mayor Cobertura N.º 206 (Empalme Grajinan – Rivas) y población (POB) fueron sometidas a un análisis estadístico de correlación con el objetivo de evaluar el grado de asociación entre ambas.

Este procedimiento permite identificar la influencia del crecimiento poblacional sobre el comportamiento del tránsito vehicular y apoyar la proyección futura del tráfico. Los

resultados del análisis se presentan en la Figura 6, a partir de los datos mostrados en la Tabla 12.

Figura 6.

Correlación entre el TPDA (EMC 206) y la población (miles de habitantes)



Fuente. Elaboración propia

La Figura 6 presenta la correlación entre el TPDA de la EMC 206 y la población, obteniéndose un coeficiente de determinación $R^2 = 0.1743$, lo que indica una relación estadística limitada entre ambas variables.

Posteriormente, se calcularon los logaritmos naturales de TPDA y población, como se muestra en la Tabla 13, con el fin de realizar un análisis de correlación ajustado mediante transformación logarítmica.

Tabla 13.

Transformación logarítmica del TPDA (EMC 206) y de la población (miles de habitantes)

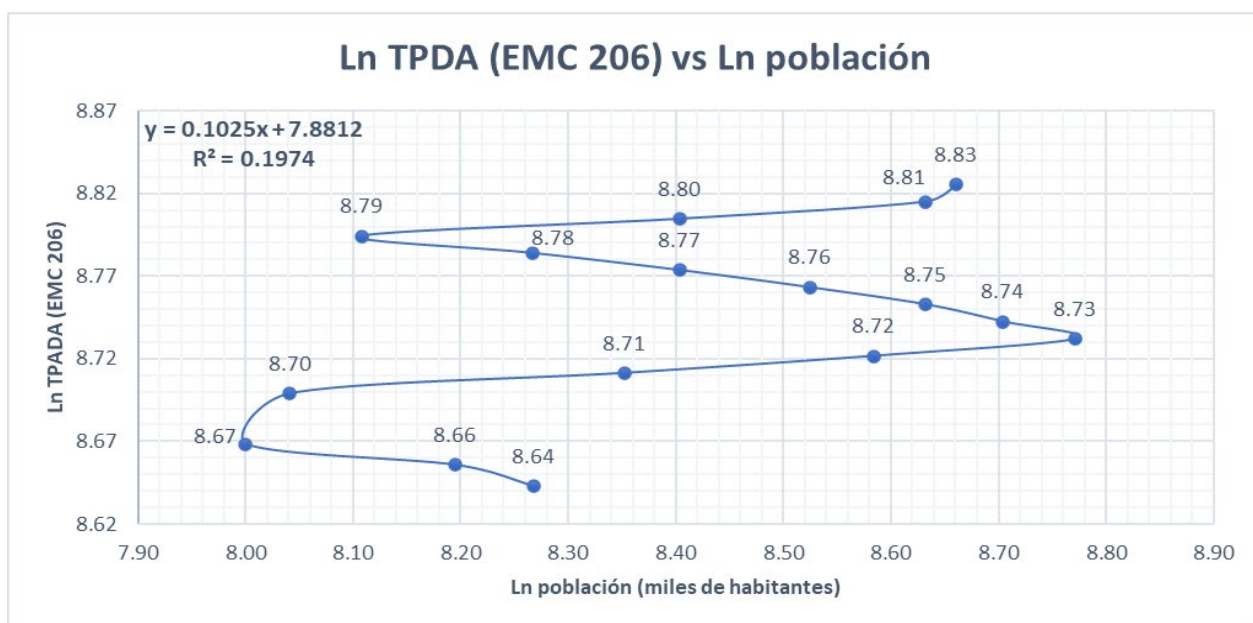
Año	Ln TPDA (EMC 206)	Ln población (miles de habitantes)
2008	8.27	8.64
2009	8.20	8.66
2010	8.00	8.67
2011	8.04	8.70
2012	8.35	8.71
2013	8.58	8.72
2014	8.77	8.73
2015	8.70	8.74
2016	8.63	8.75
2017	8.52	8.76
2018	8.40	8.77
2019	8.27	8.78
2020	8.11	8.79
2021	8.40	8.80
2022	8.63	8.81
2023	8.66	8.83

Fuente. Adaptado del Informe Anual del Banco Central de Nicaragua (2024) y de los registros históricos de TPDA de la estación EMC 206.

La Figura 7 muestra la correlación entre las variables transformadas Ln (TPDA) y Ln (población), obteniéndose un coeficiente de determinación $R^2 = 0.1974$, lo que indica una relación estadística limitada entre ambas variables.

Figura 7.

Correlación entre Ln TPDA (EMC 206) y Ln de la población (miles de habitantes)



Fuente. Elaboración propia

El análisis de correlación entre las variables transformadas Ln (TPDA) y Ln (POB) arrojó un coeficiente de correlación $R^2 = 0.1974$, lo que indica una relación estadística baja entre el tránsito vehicular y el crecimiento poblacional. En este modelo logarítmico, la elasticidad corresponde al coeficiente de pendiente de la ecuación de regresión.

Al comparar los modelos TPDA vs. POB y Ln (TPDA) vs. Ln (POB), se seleccionó la elasticidad asociada al gráfico con el mayor valor de R^2 , por presentar una mejor capacidad explicativa del comportamiento de las variables.

Los resultados obtenidos de ambas correlaciones se presentan en la Tabla 14

Tabla 14.

Resultados de correlación entre el TPDA (EMC 206) y la población (miles de habitantes)

Modelo de correlación	R ²	Elasticidad	Modelo seleccionado
TPDA vs POB	0.1743	0.1337	$y = 0.1025x + 7.8812$ $R^2 = 0.1974$
Ln TPDA vs Ln POB	0.1974	0.1025	

Fuente. Elaboración propia

Según los resultados presentados en la Tabla 14, se seleccionó la elasticidad correspondiente al modelo Ln (TPDA) vs. Ln (POB), al presentar el mayor coeficiente de determinación ($R^2 = 0.1974$), lo que indica una mejor correlación estadística entre las variables analizadas.

Esta elasticidad refleja la sensibilidad del tránsito respecto al crecimiento poblacional, indicando que un incremento del 1 % en la población genera aproximadamente un aumento del 0.10 % en el tránsito vehicular.

7.1.11. Proyección de tráfico

Se procedió al cálculo de las tasas de crecimiento del tránsito utilizando los registros históricos del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), el Producto Interno Bruto (PIB) y la población (POB).

Para ello se aplicó el método de proyección basado en elasticidades entre el crecimiento del tránsito y variables socioeconómicas, el cual permite estimar la evolución del tránsito vehicular en función del comportamiento económico y demográfico.

Considerando un período de análisis de 15 años, se determinaron las tasas de crecimiento correspondientes a cada variable y las elasticidades obtenidas previamente mediante el análisis de correlación. Los resultados del cálculo se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15.*Tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB y POB)*

Cálculo de las tasas de crecimiento del TPDA, PIB y población					
TC TPDA	n= 15	TC PIB	n= 15	TC POB	n= 15
Año anterior	3,897	Año anterior	8,497	Año anterior	5,669
Año actual	5,771	Año actual	17,806	Año actual	6,804
TC TPDA	2.652%	TC PIB	5.056%	TC POB	1.224%
		Elasticidad PIB	0.5599	Elasticidad POB	0.1025
		TC PIB * Elasticidad PIB	2.83%	TC POB * Elasticidad POB	0.13%

Fuente. Elaboración propia con base en datos del MTI y del Banco Central de Nicaragua (2024).

De acuerdo con el Informe Anual del Banco Central de Nicaragua (2024), la economía nacional registró un crecimiento promedio del 4.86 % durante el período 2020–2024. Asimismo, según el Anuario de Aforos del MTI (2022), la Estación de Mayor Cobertura EMC N.º 206, utilizada en este estudio, presenta una tasa de crecimiento promedio del 2.93 % en los registros históricos de tránsito. (Ver Anexos, Tabla 4 y 7, pág. VI - VIII)

La Tabla 16 muestra la comparación entre las tasas de crecimiento históricas y las estimadas mediante el análisis de elasticidades.

Tabla 16.*Comparación entre tasas de crecimiento*

Tasas de crecimiento promedio según registros históricos (2008-2023)		
TPDA Histórico= 2.94%	→	TPDA proyectado= 2.65%
PIB Histórico= 5.20%	→	PIB proyectado= 2.83%
POB Histórico= 1.23%	→	POB proyectado= 0.13%
Tasa de crecimiento a utilizar		2.65%

Fuente. Elaboración propia con base en datos del Anuario de Aforos del MTI (2022) y del Banco Central de Nicaragua (2024).

Con base en estos resultados, se adopta una tasa de crecimiento del tránsito de 2.65 % anual, correspondiente al crecimiento histórico del TPDA, por reflejar adecuadamente el comportamiento observado del tránsito y mantener coherencia con las proyecciones de las variables socioeconómicas analizadas.

7.1.12. Período de Diseño (PD)

El período de diseño corresponde al intervalo de tiempo, expresado en años, durante el cual el pavimento se dimensiona para soportar las solicitudes del tránsito proyectado. Este valor depende de la jerarquía funcional de la vía y del nivel de tránsito esperado.

Considerando la localización del tramo en estudio y el volumen vehicular actual, se adopta un período de diseño de 20 años, acorde con su clasificación funcional como carretera colectora rural. La Tabla 17 presenta los períodos de diseño recomendados según el tipo de carretera.

Tabla 17.

Períodos de diseño según tipo de carretera (n)

Tipo de Carretera	Período de Diseño
Autopista Regional	20 – 40 años
Troncales suburbanas	15 – 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10 – 20 años
Colectoras Rurales	

Fuente. Adaptado del *Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos*, SIECA (2002).

En este estudio se adopta el límite superior del rango recomendado (20 años), con el objetivo de garantizar una mayor vida útil del pavimento frente al crecimiento proyectado del tránsito.

7.1.13. Factor de Crecimiento (FC)

El factor de crecimiento (FC) representa el incremento acumulado del tránsito durante el período de diseño y se calcula a partir de la tasa anual de crecimiento del tránsito y del número de años considerados en el diseño del pavimento.

La Tabla 18 presenta la determinación del factor de crecimiento para el tramo en estudio, considerando un período de diseño de 20 años y una tasa anual de crecimiento del 2.65 %.

Tabla 18.

Determinación del factor de crecimiento (FC)

Factor de Crecimiento (FC)	25.94
Período de diseño (n)	20 años
Tasa anual de crecimiento (TC)	2.65%

Fuente. Adaptado de la *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93*.

El resultado obtenido indica que, bajo estas condiciones, el tránsito acumulado durante el período de diseño será aproximadamente 25.94 veces el tránsito inicial anual.

7.1.14. Factor distribución por dirección (LD)

El factor de distribución por dirección (LD) representa la proporción del tránsito total que circula en una dirección específica con respecto al flujo bidireccional. Este parámetro se determina a partir de estudios de tránsito mediante conteos vehiculares.

Cuando no se dispone de información detallada, generalmente se adopta un valor de 0.50 (50 %), asumiendo que el tránsito se distribuye de manera equilibrada entre ambos sentidos de circulación. La Tabla 19 presenta los valores recomendados del factor de distribución por dirección según el número de carriles.

Tabla 19.*Factor distribución por dirección (LD)*

Número de carriles en ambas direcciones	LD
2	50
4	45
6 a más	40

Fuente. Adaptado del *Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos*, SIECA (2002).

Considerando que la vía en estudio posee dos carriles (uno por sentido), se adopta $LD = 0.50$, lo que implica que aproximadamente el 50 % del tránsito total circula en cada dirección. Por lo tanto, solo la mitad del tránsito bidireccional se considera para el cálculo del tránsito de diseño en el sentido crítico.

7.1.15. Factor de distribución por carril (LC)

Este factor representa la proporción del tránsito pesado que circula por el carril de diseño durante el período de vida útil del pavimento. Este parámetro permite identificar el carril donde se concentra la mayor cantidad de ejes equivalentes (ESAL), siendo fundamental para el dimensionamiento estructural del pavimento.

La Tabla 20 presenta los valores recomendados del factor de distribución por carril según el número de carriles por dirección.

Tabla 20.*Factor de distribución por carril (LC)*

Número de carriles en una sola dirección	LC
1	1
2	0.80 - 1
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente. Adaptado del *Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos*, SIECA (2002).

Dado que la vía en estudio cuenta con un solo carril por sentido de circulación, se adopta $LC = 1.00$, lo que implica que la totalidad del tránsito pesado en esa dirección se considera en el carril de diseño.

Con base en los parámetros definidos previamente, se procede a determinar el Tránsito de Diseño (TD) correspondiente a cada tipo de eje y clase vehicular.

7.1.16. Tránsito de diseño (TD)

El Tránsito de Diseño (TD) es un parámetro fundamental para el dimensionamiento estructural del pavimento, ya que permite transformar el volumen de tránsito observado en los conteos vehiculares en un volumen acumulado representativo del período de diseño.

La Tabla 21 presenta el cálculo del tránsito de diseño acumulado para cada tipo de vehículo, considerando el TPDA, el factor de crecimiento (FC), el factor de distribución por dirección (LD) y el factor de distribución por carril (LC).

Tabla 21.

Cálculo del tránsito de diseño acumulado (TD)

Tipo de vehículo	Clase vehicular	TPDA	Factor de crecimiento (FC)	Factor de distribución por dirección (LD)	Factor de distribución por carril (LC)	Tránsito de diseño
Vehículos livianos	Motos	35	25.94	0.5	1	165,688.8
	Autos	9	25.94	0.5	1	42,605.7
	Jeep	94	25.94	0.5	1	444,992.8
Vehículos pesados	Pick-up	84	25.94	0.5	1	397,653.1
	Microbús ≤ 15 pax	21	25.94	0.5	1	99,413.3
	Minibús 15-30 pax	0	25.94	0.5	1	0.0
	Bus	0	25.94	0.5	1	0.0
	Camión ligero	0	25.94	0.5	1	0.0
	C2	8	25.94	0.5	1	37,871.7
Tránsito de diseño (TD)						1,188,225

Fuente. Elaboración propia con base en los registros de tránsito de la estación EMC 206 y los parámetros de diseño adoptados en el presente estudio.

Con base en estos parámetros, y considerando un período de diseño de 20 años, un factor de crecimiento de 25.94, $LD = 0.50$ y $LC = 1.00$, se obtuvo un Tránsito de Diseño acumulado de 1,188,225 vehículos. Este valor representa el volumen total de tránsito que circulará por el carril de diseño durante la vida útil del pavimento.

7.1.17. Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)

La metodología AASHTO-93 establece valores recomendados para el índice de serviciabilidad inicial (P_0) y el índice de serviciabilidad terminal (P_t), los cuales dependen del tipo de pavimento y de la importancia funcional de la vía. (Ver Anexos, Figura 7, pág. VIII)

La pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) corresponde a la diferencia entre ambos índices y representa el deterioro admisible del pavimento durante su vida útil. La Tabla 22 presenta la determinación de la pérdida de serviciabilidad adoptada para el presente estudio.

Tabla 22.

Determinación de la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)

Índice de serviciabilidad inicial (P_0)	4.5
Índice de serviciabilidad terminal (P_t)	2
Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)	2.5

Fuente. Adaptado de la *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93*.

Para el tramo analizado se adopta $\Delta PSI = 2.50$, correspondiente a una vía colectora rural, valor que representa el deterioro permisible del pavimento desde su condición inicial hasta el nivel mínimo de serviciabilidad aceptable durante el período de diseño.

7.1.18. Factor de Equivalencia de Carga (ESAL)

Los factores de equivalencia de carga (ESAL) se obtienen a partir de las tablas establecidas en el manual de diseño de pavimentos AASHTO-93, las cuales proporcionan valores para distintos tipos de ejes en función del peso aplicado, expresado en kips.

Para la determinación de estos factores se adoptó un espesor preliminar de losa $D = 6$ pulgadas y un índice de serviciabilidad terminal $P_t = 2.0$, conforme a las tablas de diseño AASHTO-93. (Ver Anexos, Tabla 8 y 9, pág. IX-X)

Tabla 23.

Factores de equivalencia de carga (ESAL) para los tipos de vehículos observados

La	Vehículos	Peso X eje (ton - metro)	Peso X eje (kips)	Factor ESAL
	Auto	1	2.2	0.00038
		1	2.2	0.00038
	Jeep	1	2.2	0.00038
		1	2.2	0.00038
	Minibuses	4	8.8	0.0558
		8	17.6	0.9228
	C2	4.5	9.9	0.0844
		9	19.8	1.495

Fuente. Adaptado de la *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93*.

Tabla 23 presenta los factores de equivalencia de carga correspondientes a los tipos de vehículos observados durante el aforo vehicular.

En este proceso, los pesos por eje registrados en toneladas fueron convertidos a kips, unidad empleada en las tablas de equivalencia de carga, con el fin de determinar los factores ESAL mediante interpolación para cada tipo de eje.

7.1.19. Ejes Equivalentes (ESAL o W18).

El número de ejes equivalentes (ESAL o W18) para el período de diseño de 20 años en el tramo Rancho Santana – municipio de Tola se determinó a partir del tránsito de diseño, la distribución por tipo de eje, los factores de equivalencia de carga (LEF) y el factor de distribución por carril, conforme a la metodología AASHTO-93.

La Tabla 24 presenta el cálculo de los ejes equivalentes acumulados para cada tipo de vehículo en el carril de diseño. Como resultado, se obtuvo un total acumulado de 67,772.40 ejes equivalentes (ESAL) durante el período de diseño de 20 años, valor que se empleará para el dimensionamiento estructural del pavimento rígido según la metodología AASHTO-93

Índice de serviciabilidad (P _t)			2.00	Espesor de losa (estimado)		6 pulgadas	Período de diseño (años)		20
Tipo de vehículo	Clase vehicular	Peso		Tipo de eje	TPDA (veh/día)	Tránsito de diseño (TD)	Factor ESAL	ESAL'S de diseño	
		Ton-metro	Kips						
Vehículos livianos	Auto	1	2.20	Simple	9	42,606	0.00038	16.19	
		1	2.20	Simple			0.00038	16.19	
	Jeep	1	2.20	Simple	94	444,993	0.00038	169.10	
		1	2.20	Simple			0.00038	169.10	
Vehículos pesados	Pick-up	1	2.20	Simple	84	397,653	0.00038	151.11	
		2	4.40	Simple			0.0038	1,511.08	
	Microbus <15 pax	2	4.40	Simple	21	99,413	0.0038	377.77	
		4	8.80	Simple			0.0558	5,547.26	
	Mini bus 15-30 pax	4	8.80	Simple	0	0	0.0558	0.00	
		8	17.60	Simple			0.9228	0.00	
	Bus	5	11.00	Simple	0	0	0.1365	0.00	
		10	22.00	Simple			2.32	0.00	
	Camión ligero	4	8.80	Simple	0	0	0.0558	0.00	
		8	17.60	Simple			0.9228	0.00	
	C2	4.5	9.90	Simple	8	37,872	0.0844	3,196.37	
		9	19.80	Simple			1.495	56,618.23	
Total					216	1,022,537	ESAL'S de diseño	67,772.40	

Fuente. Elaboración propia con base en los factores de equivalencia de carga establecidos en la metodología AASHTO-93.

Tabla 24.

Cálculo de ejes equivalentes (ESAL) en el carril de diseño

7.2. Estudio de Suelo

7.2.1. Sondeos efectuados

Para la caracterización geotécnica del tramo en estudio se utilizaron registros de exploración de suelos previamente realizados en el área del proyecto Rancho Santana. El estudio original comprendía un tramo de mayor longitud; sin embargo, para el presente trabajo se seleccionaron únicamente los sondeos localizados dentro de los 3 km correspondientes al tramo analizado.

En la Tabla 25 se presentan los sondeos considerados en el área de estudio, indicando su estación y ubicación respecto al eje del camino. Esta información permite identificar la distribución espacial de los puntos de exploración utilizados para la evaluación de las condiciones geotécnicas de la subrasante.

Tabla 25.

Sondeos considerados en el tramo analizado

Sondeos	Estación	Ubicación	Sondeos	Estación	Ubicación
SM-1	0+000	Derecha	SM-5	1+712	Izquierda
SM-2	0+428	Izquierda	SM-6	2+140	Centro
SM-3	0+856	Centro	SM-7	2+622	Derecha
SM-4	1+284	Derecha	SM-8	3+000	Izquierda

Fuente. Elaboración propia a partir de registros de exploración de suelos proporcionados para el proyecto Rancho Santana.

Los sondeos se distribuyen a lo largo del tramo con el objetivo de obtener una representación adecuada de las condiciones geotécnicas de la subrasante. A partir de las muestras correspondientes a cada sondeo se dispone de resultados de ensayos de laboratorio, los cuales permiten determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos presentes en el área de estudio.

7.2.2. Resultado de los ensayos sobre la línea

Con base en los registros de exploración geotécnica disponibles y en los resultados de los ensayos realizados a las muestras obtenidas en los sondeos ubicados dentro

del tramo en estudio, se procedió al análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos presentes en la subrasante.

La Tabla 26 presenta los resultados de granulometría, límites de Atterberg, clasificación de suelos según los sistemas AASHTO y SUCS, así como los valores de CBR obtenidos para las diferentes muestras analizadas.

En general, los resultados indican que los materiales predominantes corresponden principalmente a suelos finos de tipo limoso y arenas limosas, clasificados mayormente dentro de los grupos A-7-5, A-2-7 y A-2-4 según el sistema AASHTO, con valores de CBR variables dependiendo del estrato analizado. (Ver Anexos, Tabla 10, pág. XI)

7.2.2.1. Sondeos (0+000 – 0+856)

En los primeros sondeos del tramo (SM-1 a SM-3), se identificaron tres estratos principales.

Primer estrato

El primer estrato presenta espesores variables entre 15 cm y 29 cm aproximadamente. Los resultados de laboratorio indican la presencia predominante de suelos tipo A-7-5, correspondientes a limos elásticos (MH) según SUCS.

Los límites de Atterberg muestran límites líquidos entre 56 y 57 %, con índices de plasticidad cercanos a 23 %, lo que indica un material de alta plasticidad.

Los valores de CBR varían aproximadamente entre 3 % y 5 %, lo que evidencia una baja capacidad de soporte para este estrato superficial.

Segundo estrato

El segundo estrato presenta espesores que varían entre 29 cm y 61 cm, compuesto principalmente por arenas limosas (SM) clasificadas como A-2-7 y A-2-4 según AASHTO.

Estos materiales presentan límites líquidos entre 40 % y 41 % y índices de plasticidad cercanos a 14 %, con valores de CBR entre 8 % y 9 %, lo cual indica una capacidad de soporte moderada.

Tercer estrato

A mayor profundidad se identifican materiales correspondientes a arenas arcillosas (SC) clasificados como A-2-4, con límites líquidos alrededor de 26 % y bajos índices de plasticidad.

Este estrato presenta valores de CBR superiores, alcanzando valores cercanos a 18 % y hasta 23 %, lo que indica una mejor capacidad de soporte en comparación con los estratos superiores.

7.2.2.2. Sondeos (1+284 – 3+000)

En los sondeos correspondientes al resto del tramo (SM-4 a SM-8) se observa una estratigrafía similar, predominando nuevamente suelos finos en superficie y materiales granulares a mayor profundidad.

Estrato superficial

El estrato superficial presenta espesores entre 16 cm y 33 cm, compuesto principalmente por suelos A-7-5, clasificados como limos elásticos (MH) según SUCS.

Estos suelos presentan límites líquidos entre 55 % y 57 %, con índices de plasticidad cercanos a 23 %, y valores de CBR entre 3 % y 5 %, lo que confirma una baja capacidad de soporte de la subrasante natural en superficie.

Estrato intermedio

El segundo estrato corresponde principalmente a arenas limosas (SM) clasificadas como A-2-7, con límites líquidos alrededor de 40 % y valores de CBR cercanos a 8 % y 9 %. Este material presenta mejores características mecánicas que el estrato superficial, aunque aún se considera un suelo de capacidad de soporte media.

Estrato profundo

El estrato más profundo está compuesto principalmente por arenas arcillosas (SC) clasificadas como A-2-4, con valores de CBR cercanos a 18 %, indicando una capacidad de soporte considerablemente mayor.

En algunos sondeos se identificó la presencia de material granular con grava (SW-SM) en los niveles más profundos, presentando valores de CBR cercanos a 30 %, lo que representa el material de mayor capacidad estructural dentro del perfil estudiado.

7.2.3. Análisis de los resultados

Los resultados de la Tabla 27 donde los ensayos realizados a las muestras de suelo del tramo en estudio muestran el predominio de suelos clasificados dentro de los grupos A-7-5, A-2-7 y A-2-4 según AASHTO.

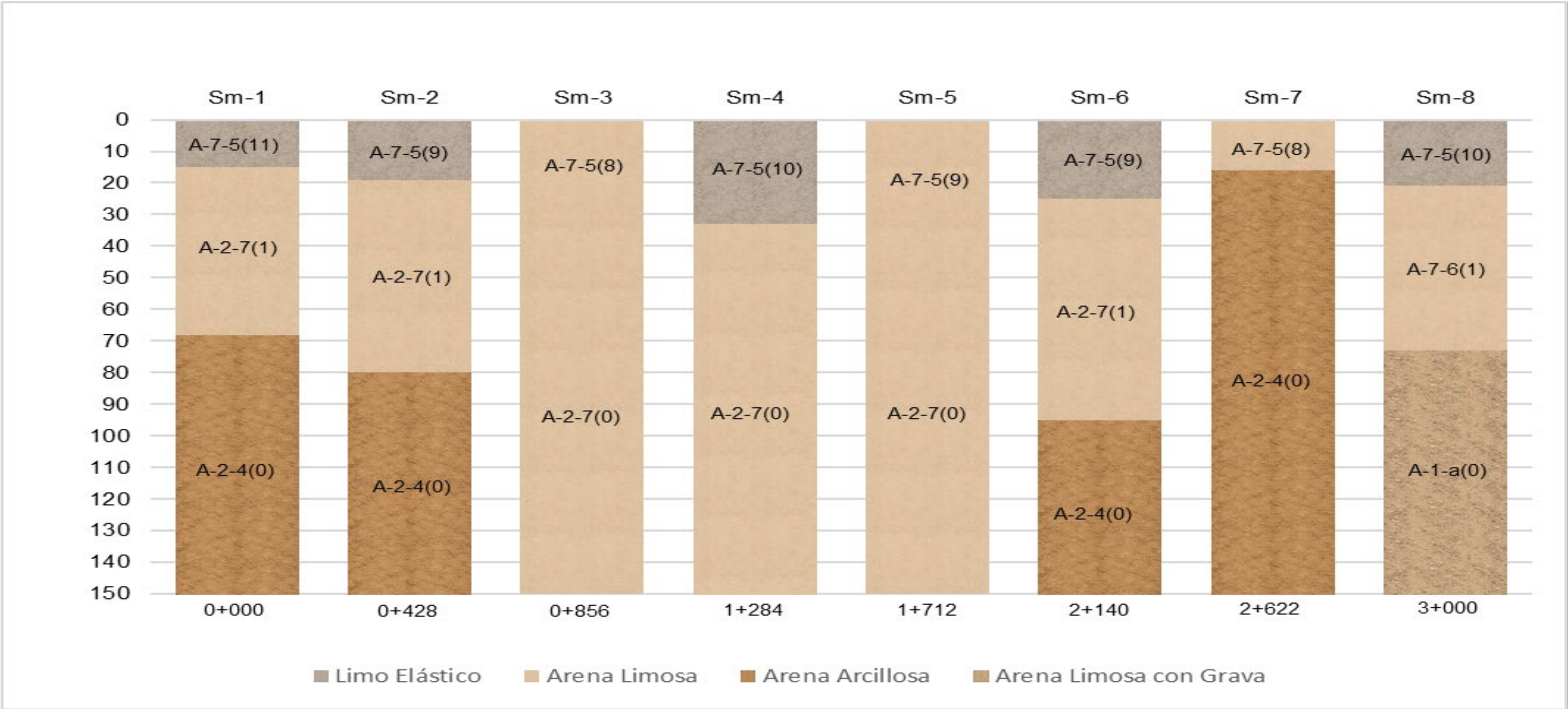
Los suelos A-7-5, correspondientes a limos elásticos (MH) según SUCS, presentan alta plasticidad (LL entre 55 % y 57 %, IP cercano a 23 %) y baja capacidad de soporte, con valores de CBR entre 3 % y 5 %.

Asimismo, se identifican suelos A-2-7 y A-2-4, principalmente arenas limosas (SM) y arenas arcillosas (SC), con CBR entre 8 % y 18 %, indicando una capacidad de soporte moderada. En algunos niveles más profundos se presentan materiales A-1-a (SW-SM) con CBR cercano al 30 %, lo que representa los materiales de mayor capacidad estructural dentro del perfil estudiado.

En general, el perfil geotécnico evidencia suelos finos de baja capacidad de soporte en superficie y materiales más competentes a mayor profundidad, condición que debe considerarse en el diseño del pavimento.

7.2.4. Estratigrafía del terreno

Figura 8.
Perfil estratigráfico longitudinal de los sondeos del proyecto



Fuente. Elaboración propia con base en los resultados de los sondeos y clasificación de suelos según AASHTO.

Tabla 26.

Propiedades físicas y mecánicas de los suelos identificados en los sondeos del tramo

Sondeos N°	Estación	Ubicación	Muestra	Espesor de muestreo (cm)			% Que pasa por tamiz										Límites de Atterberg			Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS		CBR (95%)
				Desde	Hasta	Profundidad (cm)	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	LL	LP	IP				
1	0+000	Derecha	1	0	15	150	100	100	100	100	100	100	94	84	72	54	57.3	33.5	23.8	A-7-5 (11)	MH	Limo Elástico	3.22
			2	15	53	150	100	100	100	96	90	81	69	59	47	29	41.4	26.4	15.0	A-2-7 (1)	SM	Arena Limosa	8.22
			3	53	150	150	100	99	96	91	85	76	64	51	36	14	26.4	20.2	6.2	A-2-4 (0)	SC	Arena Arcillosa	23.10
2	0+428	Izquierda	1	0	19	150	100	100	100	100	100	100	91	81	69	51	56.4	33.3	23.1	A-7-5 (9)	MH	Limo Elástico	4.11
			2	19	61	150	100	100	100	96	90	81	69	59	47	29	41.4	26.4	15.0	A-2-7 (1)	SM	Arena Limosa	8.22
			3	61	150	150	100	100	99	94	88	79	67	54	39	17	30.6	22.2	8.3	A-2-4 (0)	SC	Arena Arcillosa	18.40
3	0+856	Centro	1	0	29	150	100	100	100	100	100	100	88	78	66	48	55.7	33.1	22.6	A-7-5 (8)	SM	Arena Limosa	4.78
			2	29	150	150	100	100	98	93	87	78	66	56	44	26	40.4	26.1	14.3	A-2-7 (0)	SM	Arena Limosa	9.35
4	1+284	Derecha	1	0	33	150	100	100	100	100	100	100	92	82	70	52	56.9	33.4	23.5	A-7-5 (10)	MH	Limo Elástico	3.64
			2	33	150	150	100	100	98	93	87	78	66	56	44	26	40.4	26.1	14.3	A-2-7 (0)	SM	Arena Limosa	9.35
5	1+712	Izquierda	1	0	22	150	100	100	100	100	100	100	90	80	68	50	56.1	33.2	22.9	A-7-5 (9)	SM	Arena Limosa	4.37
			2	22	150	150	100	100	98	93	87	78	66	56	44	26	40.4	26.1	14.3	A-2-7 (0)	SM	Arena Limosa	9.35
6	2+140	Centro	1	0	25	150	100	100	100	100	100	100	91	81	69	51	56.6	33.3	23.2	A-7-5 (9)	MH	Limo Elástico	3.95
			2	25	70	150	100	100	100	96	90	81	69	59	47	29	41.4	26.4	15.0	A-2-7 (1)	SM	Arena Limosa	8.22
			3	70	150	150	100	100	99	94	88	79	67	54	39	17	30.6	22.2	8.3	A-2-4 (0)	SC	Arena Arcillosa	18.40
7	2+622	Derecha	1	0	16	150	100	100	100	100	100	100	89	79	67	49	56.0	33.2	22.8	A-7-5 (8)	SM	Arena Limosa	4.52
			2	16	150	150	100	100	99	94	88	79	67	54	39	17	30.6	22.2	8.3	A-2-4 (0)	SC	Arena Arcillosa	18.40
8	3+000	Izquierda	1	0	21	150	100	100	100	100	100	100	91	81	69	51	56.6	33.3	23.3	A-7-5 (10)	MH	Limo Elástico	3.88
			2	21	52	150	100	100	100	100	96	87	75	65	53	35	43.7	27.0	16.6	A-7-6 (1)	SM	Arena Limosa	6.14
			3	52	150	150	100	93	90	85	79	70	58	45	30	8	22.0	18.0	4.0	A-1-a (0)	SW-SM	Arena Limosa Con Grava	29.60

Fuente. Elaboración propia a partir de registros de exploración de suelos proporcionados para el proyecto Rancho Santana.

7.2.5. Evaluación de la subrasante

El tramo en estudio presenta una carpeta de rodadura con un espesor promedio aproximado de 20 cm, por lo que se considera que la subrasante efectiva comienza a partir de dicha profundidad, donde se encuentran los suelos que recibirán directamente las cargas transmitidas por la estructura del pavimento.

En la Tabla 27 para análisis del diseño estructural se consideraron únicamente los valores de CBR correspondientes a profundidades mayores a 20 cm, por representar adecuadamente las condiciones reales del estrato de subrasante.

Tabla 27.

Muestras de la sub rasante seleccionadas para cálculo de CBR

Clasificación AASHTO	CBR (95%)	Frecuencia
A-7-6 (1)	6.14	1
A-2-7 (1)	8.22	3
A-2-7 (1)	8.22	
A-2-7 (1)	8.22	
A-2-7 (0)	9.35	3
A-2-7 (0)	9.35	
A-2-7 (0)	9.35	
A-2-4 (0)	18.40	4
A-2-4 (0)	18.40	
A-2-4 (0)	18.40	
A-2-4 (0)	23.10	
A-1-a (0)	29.6	1

Fuente. Elaboración propia con base en los registros de exploración geotécnica disponibles para el proyecto Rancho Santana.

De las 20 muestras obtenidas en los sondeos del tramo, se seleccionaron 12 muestras representativas correspondientes a profundidades cercanas al nivel de la subrasante.

Estas muestras fueron agrupadas según su clasificación AASHTO y valores de CBR, ordenándolas de menor a mayor con el fin de identificar el comportamiento mecánico predominante del suelo.

7.2.6. Banco de material de préstamo

De acuerdo con los registros disponibles del proyecto Rancho Santana, se identificó el banco de material más cercano al tramo en estudio, el cual corresponde a un banco de préstamo de material selecto. (Ver Anexos, Figura 8, pág. XI)

Este banco es de uso conocido en la zona y actualmente se encuentra en explotación, por lo que constituye una fuente adecuada de material para las actividades de mejoramiento de la subrasante y conformación de capas estructurales del pavimento.

Tabla 28.

Banco de préstamo Santa Juana

Nombre	Dirección	Coordenadas	Volumen Aproximado m ³	Dimensiones (m) (Ancho, Largo, Alto)	Tipo
Santa Juana	Entrada Principal Aeropuerto Internacional Costa Esmeralda 400m Norte	Lat 11.437997	119,000	63x126x15	Material Selecto
		Long -86.031161			

Fuente. Elaboración propia con base en la información proporcionada por el proyecto Rancho Santana.

En la Tabla 28 se presentan las principales características del banco de préstamo denominado Santa Juana, incluyendo su ubicación, coordenadas geográficas, volumen aproximado disponible y dimensiones estimadas del área de explotación.

El banco de préstamo Santa Juana se encuentra localizado en las proximidades del tramo en estudio, lo cual facilita su acceso y transporte de material hacia la zona del proyecto. De acuerdo con la información disponible, este banco presenta un volumen aproximado de 119,000 m³ de material selecto.

Tabla 29.
Resultados de los ensayos geotécnicos del banco de préstamo Santa Juana

Banco de material	Sondeo	Muestra	Espesor de muestreo (cm)			% que pasa por tamiz										Límites de Atterberg			Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS		CBR (95%)	P.V.S.S. (kg/m³)	P.V.S.C. (kg/m³)	P.V.S. Max (kg/m³)	Humedad óptima (%)	Volumen explotable (m³)
			Desde	Hasta	Profundidad (cm)	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	LL	LP	IP									
Santa Juana	Stock	1	0	10	150	100	100	99	97	92	85	70	60	45	32	38	24	14	A-2-6 (1)	SC	Arena arcillosa con grava	32	1759.5	1857.3	1955	10.45	119,000
		2	10	50	150	100	99	97	94	88	80	65	55	40	28	34	23	11	A-2-6 (0)	SC	Arena arcillosa con grava	36					
		3	50	70	150	100	98	91	85	76	63	39	21	8	6	20	16	4	A-1-a (0)	GW-GM	Grava limosa arenosa	88					
		4	70	150	150	100	99	95	89	80	68	56	36	17	12	25	16	9	A-2-4 (0)	GW-GC	Grava arcillosa arenosa	96					

Fuente: Elaboración propia con base en la información geotécnica disponible del banco de préstamo Santa Juana proporcionada para el proyecto Rancho Santana.

7.2.7. Clasificación y descripción del banco de préstamo Santa Juana

En la Tabla 29, se presenta el banco de préstamo Santa Juana, que está compuesto principalmente por materiales granulares, descritos como grava arenosa con presencia de finos limosos y arcillosos, aptos para su utilización como material de préstamo en obras viales.

Según la clasificación AASHTO, los materiales corresponden principalmente a los grupos A-1-a, A-2-4 y A-2-6, mientras que de acuerdo con SUCS se identifican como GW-GM, GW-GC y SC, lo que confirma la predominancia de suelos granulares con contenido variable de finos.

Los valores de CBR (95%) varían entre 32 % y 96 %, indicando una buena capacidad de soporte del material. Asimismo, el material presenta humedad óptima promedio de 10.45 % y densidad máxima seca aproximada de 1955 kg/m³, condiciones favorables para su compactación.

El banco cuenta con un volumen explotable aproximado de 119,000 m³, constituyendo una fuente adecuada de material para la construcción del proyecto vial en el tramo Rancho Santana.

7.2.8. Análisis del banco de préstamos Santa Juana

El material destinado para la base granular debe cumplir con las especificaciones establecidas en la Norma Nicaragüense para la Construcción de Carreteras (NIC-2000). Estas disposiciones normativas definen los criterios de calidad que debe presentar el material en cuanto a su granulometría, plasticidad, resistencia y durabilidad, con el fin de garantizar un adecuado desempeño estructural dentro del sistema de pavimento. (Ver Anexos, Tabla 11 y 12, pág. XII)

7.2.9. Evaluación del material del banco Santa Juana

Con base en los resultados obtenidos en la caracterización geotécnica del banco de préstamo Santa Juana, (Tabla 29), se realizó la comparación de las propiedades del material con los requerimientos establecidos en la Norma Nicaragüense para la Construcción de Carreteras (NIC-2000).

Los valores de CBR al 95% de compactación varían entre 32% y 96%, evidenciando una buena capacidad de soporte. Las muestras con valores superiores al 80% cumplen con los requisitos para base granular, mientras que aquellas con valores menores pueden utilizarse como subbase granular o material de mejoramiento, conforme a los criterios establecidos por la normativa.

Asimismo, los límites de Atterberg indican una plasticidad baja a moderada, con límites líquidos entre 20% y 38% e índices de plasticidad entre 4% y 14%, características aceptables para materiales empleados en capas granulares.

7.2.10. CBR de diseño

Para la determinación del CBR de diseño de la subrasante se aplicó el criterio propuesto por el Instituto del Asfalto, el cual recomienda seleccionar un percentil representativo de los valores individuales de CBR obtenidos en el estudio de suelos.

Este método establece que el valor de diseño puede corresponder al 60%, 75% o 87.5% de los valores obtenidos, dependiendo del nivel de tránsito esperado en la vía.

Para el tramo en estudio se estimó un tránsito acumulado de 67,772.40 ejes equivalentes (ESAL) durante el período de diseño. De acuerdo con los rangos establecidos por el Instituto del Asfalto, este nivel de tránsito corresponde al intervalo entre 10,000 y 1,000,000 ESAL, por lo que se adopta el percentil de diseño del 75%, como se presenta en la Tabla 30.

Tabla 30.*Valor percentil por nivel de tránsito*

Nivel de tránsito	Valor percentil para diseño de subrasante
< de 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's	75
> de 1,000,000 ESAL's	87.5

Fuente. Adaptado del *Instituto de Asfalto*, MS-1, (1991)

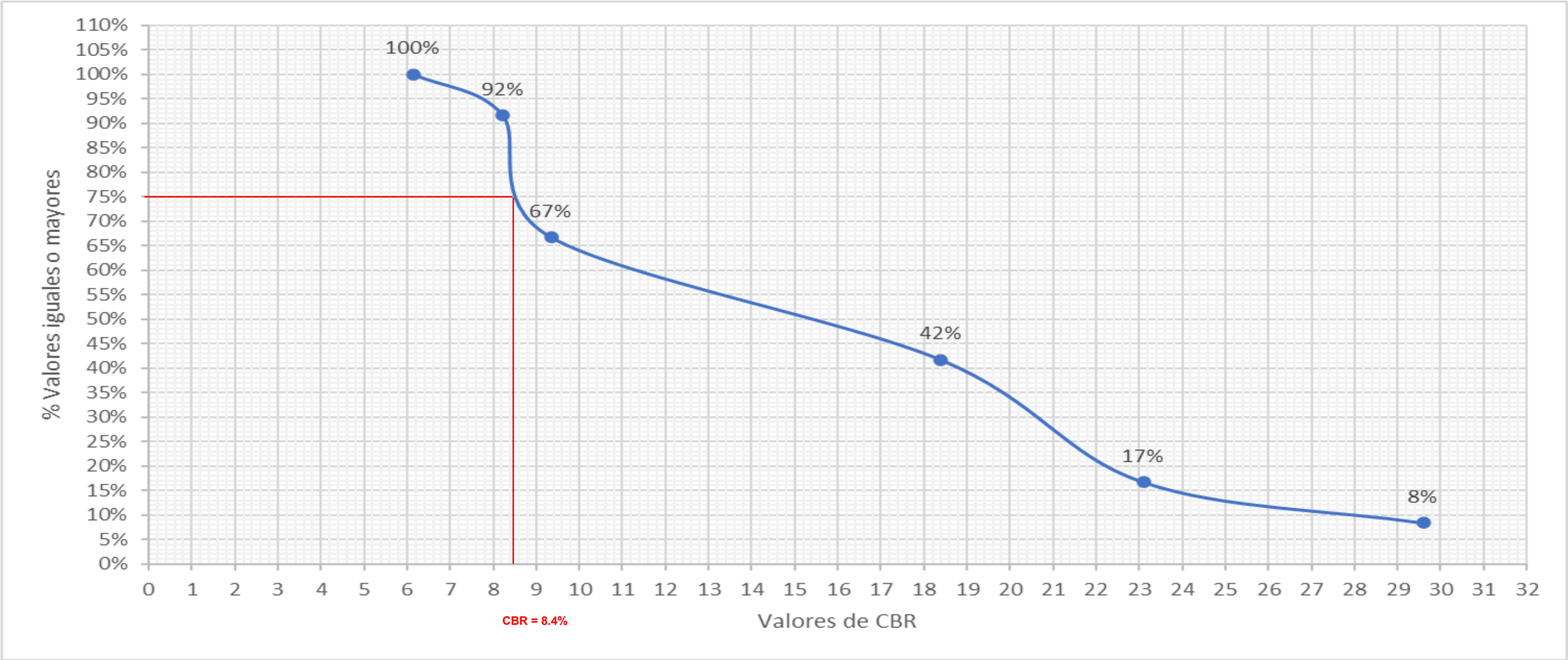
Una vez que se seleccionaron los CBR de las muestras más próximas que pasan a la Subrasante, también se determinaron los porcentajes que corresponden a cada una de ellas según la cantidad total de muestras (12) y su frecuencia, con las que se procederá a graficar para calcular el CBR de la subrasante, no sin antes recordar que se tomó un valor percentil de 75% en base a nuestro ESAL de diseño estimado que fue de 67,772.40

Tabla 31.*Valores de CBR utilizados para la determinación del CBR de diseño*

Clasificación	CBR 95%	Frecuencia	Cantidad de valores iguales o mayores	%
A-7-6 (1)	6.14	1	12	100%
A-2-7 (1)	8.22	3	11	92%
A-2-7 (0)	9.35	3	8	67%
A-2-4 (0)	18.4	3	5	42%
A-2-4 (0)	23.1	1	2	17%
A-1-a (0)	29.6	1	1	8%
Total de muestras			12	

Fuente. Elaboración propia a partir de los valores de CBR (95%) obtenidos en las muestras representativas de la subrasante.

Figura 9.
Determinación del CBR de diseño de la subrasante mediante curva acumulativa



Fuente. Elaboración propia a partir de los valores de CBR obtenidos en las muestras representativas de la subrasante, aplicando el método de percentiles recomendado por el Instituto del Asfalto.

Del análisis de la curva acumulativa de CBR presentada en la Figura 9, se determina que el CBR correspondiente al percentil de diseño del 75% es aproximadamente 8.4%

7.3. Diseño de Pavimento

7.3.1. Método AASHTO para Diseño de Pavimento Rígido

El diseño estructural del pavimento rígido se realizó utilizando el método AASHTO, el cual se fundamenta en los resultados del Ensayo Vial AASHO y en el análisis de la relación entre las cargas de tránsito, las propiedades del material y el desempeño estructural del pavimento a lo largo de su vida útil.

Este método permite determinar el espesor requerido de la losa de concreto, considerando parámetros como el tránsito acumulado expresado en ejes equivalentes (W_{18}), el nivel de confiabilidad, la pérdida de serviciabilidad, las propiedades mecánicas del concreto y las características de la subrasante.

La ecuación general empleada en el diseño de pavimentos rígidos según la metodología AASHTO-93, donde se detallan los parámetros involucrados en el proceso de dimensionamiento estructural. (Ver Anexos, Figura 9, pág. XII)

7.3.2. Variables a considerar

7.3.2.1. Ejes simples equivalentes de 82 kN (W_{80})

Para la determinación del tránsito de diseño en pavimentos rígidos, es necesario considerar el factor de distribución por carril (LC), el cual representa la proporción del tránsito pesado que circula por el carril de diseño.

Este factor depende del número de carriles existentes en una misma dirección de circulación, ya que el tránsito no se distribuye de manera uniforme en todos los carriles. En la Tabla 32 se presentan los valores recomendados para el factor de distribución por carril. En el caso del tramo en estudio, la vía cuenta con un carril por sentido de circulación, por lo que se adopta un factor de distribución por carril $LD = 1.00$.

Tabla 32.

Factor de distribución por carril

Número de carriles en una sola dirección	LD
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

7.3.2.2. Confiabilidad (R) y Desviación normal estándar (Zr)

La confiabilidad (R) en el diseño de pavimentos representa el grado de probabilidad de que la estructura diseñada alcance el final de su período de diseño manteniendo condiciones de serviciabilidad aceptables. Este parámetro considera las incertidumbres asociadas al tránsito proyectado, las propiedades de los materiales y las condiciones constructivas.

De acuerdo con las recomendaciones de la Guía AASHTO para el diseño de estructuras de pavimento, el valor de confiabilidad depende principalmente de la clasificación funcional de la vía. En la Tabla 33 se presentan los niveles de confiabilidad recomendados para diferentes tipos de carreteras.

Para el tramo en estudio, clasificado como carretera colectora, se adoptó un nivel de confiabilidad del 90%, valor que se encuentra dentro del rango recomendado para este tipo de vías.

En función de la confiabilidad seleccionada, se determina el valor de la desviación normal estándar (Zr), el cual se obtiene a partir de la distribución normal estándar. Para una confiabilidad de 90%, corresponde un valor de $Z_r = -1.282$, como se muestra en la Tabla 34.

Tabla 33.

Niveles de confiabilidad recomendados para el diseño de pavimentos según AASHTO

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

Tabla 34.

Relación entre el nivel de confiabilidad (R) y la desviación normal estándar (Z_r)

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z _r
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
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	-3.09
99.99	-3.75

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

7.3.2.3. *Desviación Estándar*

La desviación estándar global (S_o) representa la variabilidad asociada a la predicción del comportamiento del pavimento a lo largo de su período de diseño. Este parámetro considera las incertidumbres relacionadas con el tránsito proyectado, las propiedades de los materiales y las condiciones constructivas.

Los valores de desviación estándar dependen principalmente del tipo de pavimento y de la calidad de la información disponible para el diseño. En la Tabla 35 se presentan los rangos recomendados para pavimentos flexibles y rígidos.

Para el caso de pavimentos rígidos, AASHTO recomienda valores comprendidos entre 0.30 y 0.40. Considerando estas recomendaciones, para el presente diseño se adoptó un valor promedio de $S_o = 0.35$, el cual es ampliamente utilizado en proyectos donde no se dispone de información estadística detallada del comportamiento del pavimento.

Tabla 35.

Valores recomendados de desviación estándar (S_o) para el diseño de pavimentos

Tipo de Pavimento	Rangos desviación estándar, S_o	Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito
Pavimento Flexible	0.40 - 0.50	0.44	0.49
Pavimento Rígido	0.30 - 0.40	0.34	0.39

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

7.3.2.4. *Pérdida de serviciabilidad en el diseño*

La serviciabilidad representa la capacidad del pavimento para proporcionar condiciones adecuadas de circulación durante su vida útil. En el método AASHTO, este parámetro se expresa mediante el Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), el cual considera un valor inicial (P_o) al momento de la construcción y un valor final (P_t) al término del período de diseño.

Para pavimentos rígidos recién contruidos se adopta un valor de $P_o = 4.5$, mientras que para una carretera colectora secundaria en zona rural se considera un valor final de $P_t = 2.0$.

La diferencia entre ambos valores corresponde a la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI), la cual se determina en la Tabla 36.

Tabla 36.

Índices de serviciabilidad utilizados en el diseño del pavimento

Tipo de carretera	Pavimentos rígidos	
	Po inicial	Pt final
Carretera principal	4.5	2.50
Carretera secundarias		2.00
$\Delta psi = P_o - P_t \rightarrow$	$\Delta psi = 2.50$	

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

7.3.2.5. Coeficiente de drenaje

En el diseño de pavimentos rígidos mediante el método AASHTO, se utiliza el coeficiente de drenaje (C_d) para considerar la influencia de las condiciones de drenaje en el comportamiento estructural del pavimento. Este coeficiente depende de la capacidad del sistema de drenaje para remover la humedad y del tiempo durante el cual el pavimento permanece expuesto a niveles de saturación cercanos al máximo.

Las Tablas 37 y 38 presentan los criterios recomendados por AASHTO para evaluar la calidad del drenaje y determinar el coeficiente correspondiente.

Para el tramo en estudio se consideró una calidad de drenaje regular, por lo que se adoptó un coeficiente de drenaje $C_d = 0.90$, valor que será utilizado en el diseño estructural del pavimento.

Tabla 37.*Capacidad del drenaje para remover la humedad*

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Más de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

Tabla 38.*Coefficiente de drenaje para pavimentos rígidos*

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

7.3.2.6. Módulo de resiliencia de la subrasante (M_R)

Este módulo representa la capacidad del suelo para resistir y recuperarse de las deformaciones ocasionadas por las cargas repetidas del tránsito. En el método de diseño AASHTO, este parámetro se utiliza para caracterizar el comportamiento elástico del suelo que sirve de apoyo a la estructura del pavimento.

Cuando no se dispone de ensayos directos para determinar este parámetro, la Guía AASHTO establece correlaciones que permiten estimarlo a partir de los valores de CBR. Para el tramo en estudio se obtuvo un CBR de diseño de 8.4 %, a partir del cual se estimó un módulo resiliente de la subrasante de 12,600 psi, como se presenta en

la Tabla 39, valor que será utilizado posteriormente en el diseño estructural del pavimento rígido.

Tabla 39.

Correlación entre el CBR Y módulo resiliente para subrasante

CBR	Módulo resiliente para subrasante
CBR < 10%	$M_R = 1500 * CBR \downarrow$
CBR _{Diseño} = 8.4%	$M_R = 12,600 \text{ PSI}$

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

7.3.2.7. Coeficiente de transferencia de carga (J)

El coeficiente de transferencia de carga (J) representa la capacidad de una losa de pavimento para transmitir las cargas hacia las losas adyacentes a través de las juntas, reduciendo así los esfuerzos y deformaciones en la estructura del pavimento.

La eficiencia en la transferencia de cargas puede mejorarse mediante el uso de pasajuntas, especialmente cuando el tránsito pesado supera el 25 % del tránsito total o cuando el número de ejes equivalentes de diseño es mayor a 5 millones de ESAL.

Tabla 40.

Coeficiente de transferencia de carga (J)

Tipo de Pavimento	Berma de Asfalto		Berma de Ho. Vinculada	
	Disp. de Transferencia		Disp. de Transferencia	
	Si	No	Si	No
Junta Sencilla y Junta Reforzada	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Continuamente Reforzada	2.9 - 3.2	N/D	2.3 - 2.9	N/D

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

Para el tramo en estudio se estimó un 2.86 % de vehículos pesados y un ESAL de diseño de 67,772.40, por lo que no se prevé una alta demanda estructural en términos

de transferencia de carga. En consecuencia, se adoptó un valor de $J = 3.8$, correspondiente a pavimentos con juntas sencillas o reforzadas sin berma vinculada, de acuerdo con los valores recomendados por AASHTO, como se presenta en la Tabla 40.

7.3.2.8. **Módulo de elasticidad del concreto (E_c)**

El módulo de elasticidad del concreto (E_c) describe la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación que experimenta el material dentro de su rango elástico. En el diseño de pavimentos rígidos mediante el método AASHTO, este parámetro permite evaluar el comportamiento estructural de la losa de concreto frente a las cargas del tránsito.

Tabla 41.

Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	→	3982.44 PSI
$E_c = 57,000 (f'_c)^{0.5}$	→	3.60E+06 PSI

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

Para el presente estudio se adoptó una resistencia a compresión del concreto $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (3982.44 psi), valor comúnmente utilizado en pavimentos de concreto para vías con tránsito bajo a medio, como calles colectoras rurales. Con base en esta resistencia y utilizando la relación empírica recomendada por AASHTO para concretos de peso normal, se obtuvo un módulo de elasticidad del concreto de $3.60 \times 10^6 \text{ psi}$, como se presenta en la Tabla 41.

7.3.2.9. **Módulo de ruptura (Sc')**

El módulo de ruptura del concreto (Sc'), también conocido como resistencia a la tracción por flexión, es un parámetro fundamental en el diseño de pavimentos rígidos, ya que las losas de concreto trabajan principalmente sometidas a esfuerzos de flexión.

Según la Guía AASHTO-93, este valor puede determinarse mediante el ensayo de flexión o estimarse a partir de la resistencia a compresión del concreto.

Tabla 42.*Determinación del módulo de ruptura del concreto*

$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow$	3982.44 PSI
$Sc' = K (f'_c)^{0.5} \rightarrow$	K puede variar entre
	7 - 12
$Sc' = 9.5 (f'_c)^{0.5} \approx$	600 PSI

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

En ausencia de ensayos experimentales, se adoptó una constante $K = 9.5$, dentro del rango recomendado por AASHTO (7–12). Considerando una resistencia $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (3982.44 psi), se obtuvo un módulo de ruptura aproximado de 600 psi, como se muestra en la Tabla 42.

7.3.2.10. Módulo de reacción de la subrasante k

El módulo de reacción de la subrasante (k) representa la capacidad del suelo de fundación para soportar las cargas transmitidas por la losa del pavimento. La determinación directa de este parámetro mediante ensayos de placa resulta compleja y costosa, por lo que el método AASHTO permite estimarlo mediante correlaciones con otras propiedades del suelo, como el módulo resiliente (MR).

Tabla 43.*Determinación del módulo de reacción de la subrasante*

Valor Efectivo del Módulo de Reacción de la Subrasante k	
$k = Mr \text{ (PSI)} / 19.4 \rightarrow$	650 pci

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

Para el presente estudio, considerando un $MR = 12,600 \text{ psi}$, se utilizó la relación recomendada por AASHTO para estimar el módulo de reacción de la subrasante, obteniéndose un valor de $k = 650 \text{ pci}$, como se presenta en la Tabla 43.

7.3.2.11. Factor de pérdida de soporte (L_s)

El factor de pérdida de soporte (L_s) representa la posible reducción del soporte de la subrasante debido a procesos de erosión o asentamientos diferenciales bajo las losas del pavimento. Este factor se utiliza para ajustar el módulo de reacción efectivo de la subrasante, considerando las condiciones reales de servicio.

Tabla 44.

Rangos típicos de factores de pérdida de soporte para varios tipos de materiales

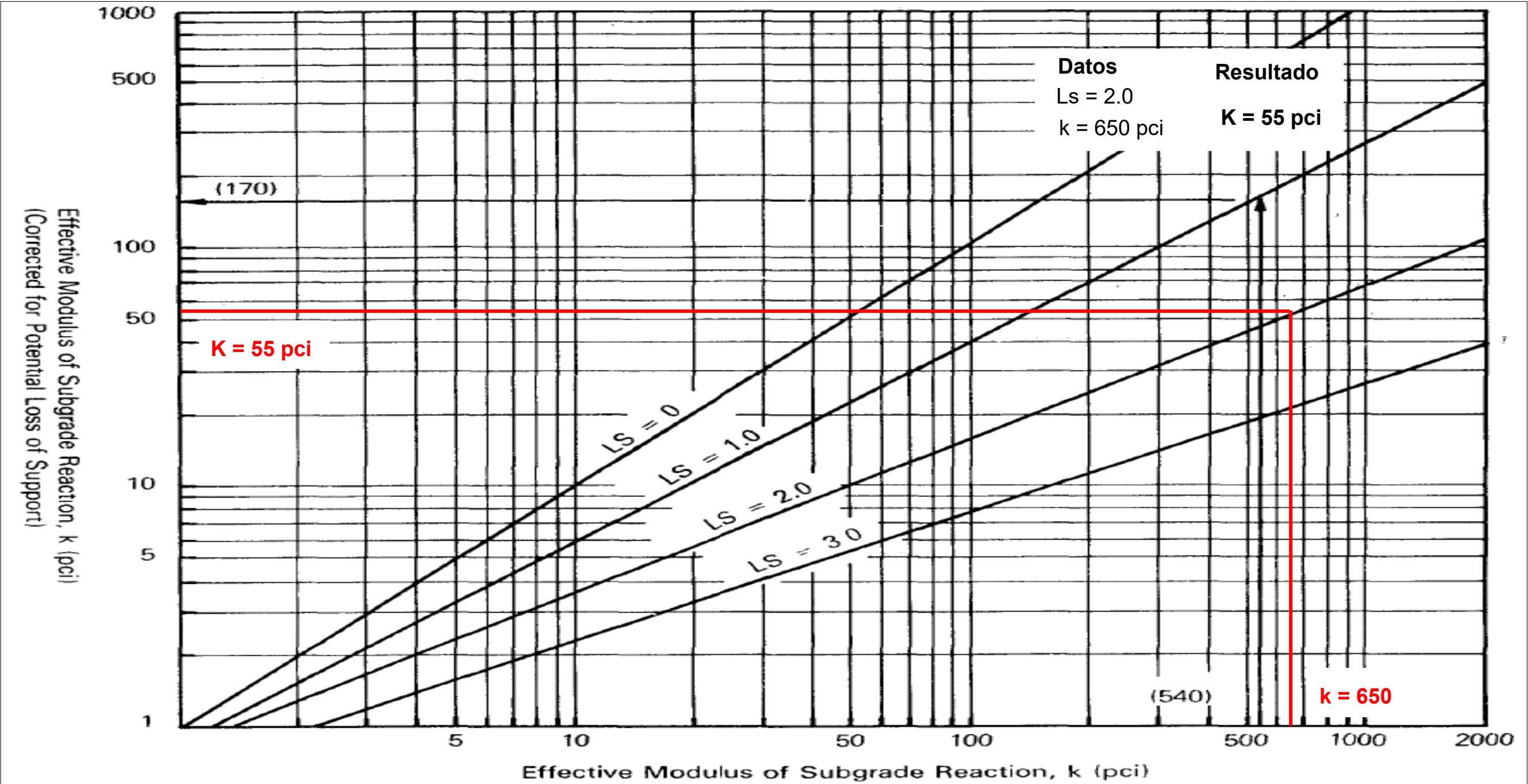
Tipo de material	Módulo de elasticidad o módulo resiliente	Factor de pérdida de soporte
Base granular tratada con cemento	1,000,000 - 2,000,000	0.0 - 1.0
Mezclas de agregado con cemento	500,000 - 1,000,000	0.0 - 1.0
Base tratada con asfalto	350,000 - 1,000,000	0.0 - 1.0
Mezclas bituminosas estabilizadas	40,000 - 300,000	0.0 - 1.0
Limo estabilizado	20,000 - 70,000	1.0 - 3.0
Material granular	15,000 - 45,000	1.0 - 3.0
Subrasante natural	3,000 - 40,000	2.0 - 3.0

Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

Para el presente diseño se considera el uso de una subbase de material granular, la cual proporciona un soporte adecuado, pero puede presentar cierta pérdida de soporte por efectos de humedad o erosión.

De acuerdo a la Tabla 44, con los rangos recomendados por AASHTO, se adoptó un valor de $L_s = 2.0$, representativo para este tipo de material, el cual se emplea para la corrección del módulo de reacción efectivo de la subrasante de la Figura 10.

Figura 10.
Abaco de corrección del módulo efectivo de reacción por pérdida potencial de soporte



Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

Para determinar el módulo efectivo de reacción de la subrasante, se empleó el ábaco de corrección recomendado por AASHTO, el cual permite ajustar el valor del módulo de reacción inicial considerando la pérdida potencial de soporte de la subbase.

En este caso, se utilizó un módulo de reacción de la subrasante $k = 650$ pci y un factor de pérdida de soporte $L_s = 2.0$. Al ubicar estos valores en el ábaco mostrado en la Figura 10, se obtiene un módulo efectivo de reacción de la subrasante $K = 55$ pci, valor que será utilizado en el diseño estructural del pavimento rígido.

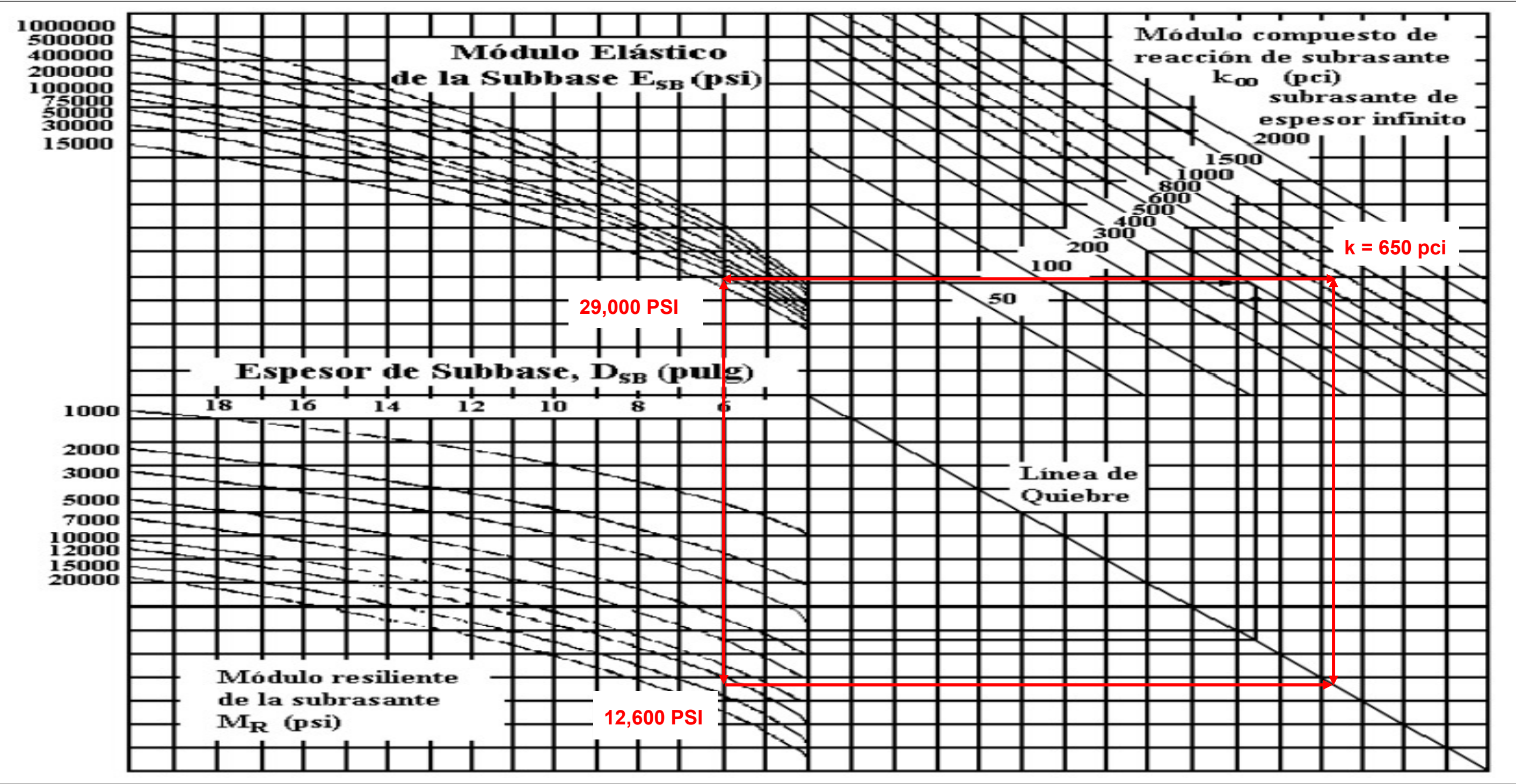
7.3.2.12. Módulo de reacción de la subrasante de diseño

El ábaco mostrado en la Figura 11 permite estimar el módulo compuesto de reacción de la subrasante (k_∞) considerando la interacción entre la subrasante natural y la capa de subbase, procedimiento recomendado por AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos.

Considerando un módulo resiliente de la subrasante $MR = 12,600$ psi y un módulo de reacción $k = 650$ pci, se adoptó un módulo elástico de la subbase $E_{sb} = 29,000$ psi, valor representativo para materiales granulares. Este valor se verificó mediante el ábaco mostrado en la Figura 11, considerando un espesor de subbase de 6 pulgadas.

Figura 11.

Ábaco para estimar el módulo compuesto de reacción de subrasante, considerando una profundidad infinita de una capa rígida



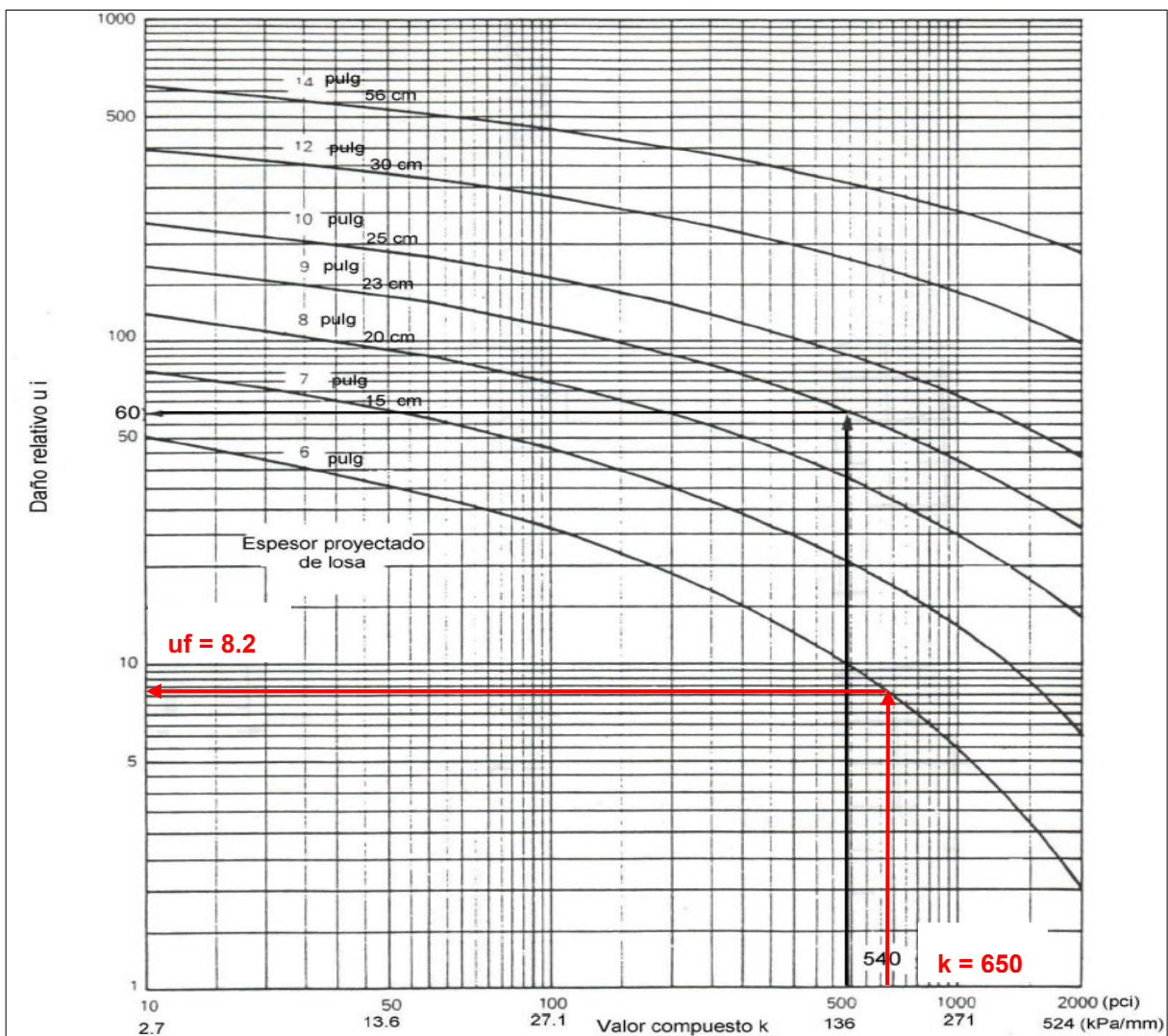
Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

7.3.2.13. Daño Relativo (U_f)

Asumiendo un espesor inicial de losa $D = 6.0$ pulgadas, y utilizando el ábaco mostrado en la Figura 12, se determina el daño relativo (U_f) en función del módulo compuesto de reacción de la subrasante (k). Para un valor de $k = 650$ pci, se obtiene un daño relativo $U_f \approx 8.2$.

Figura 12.

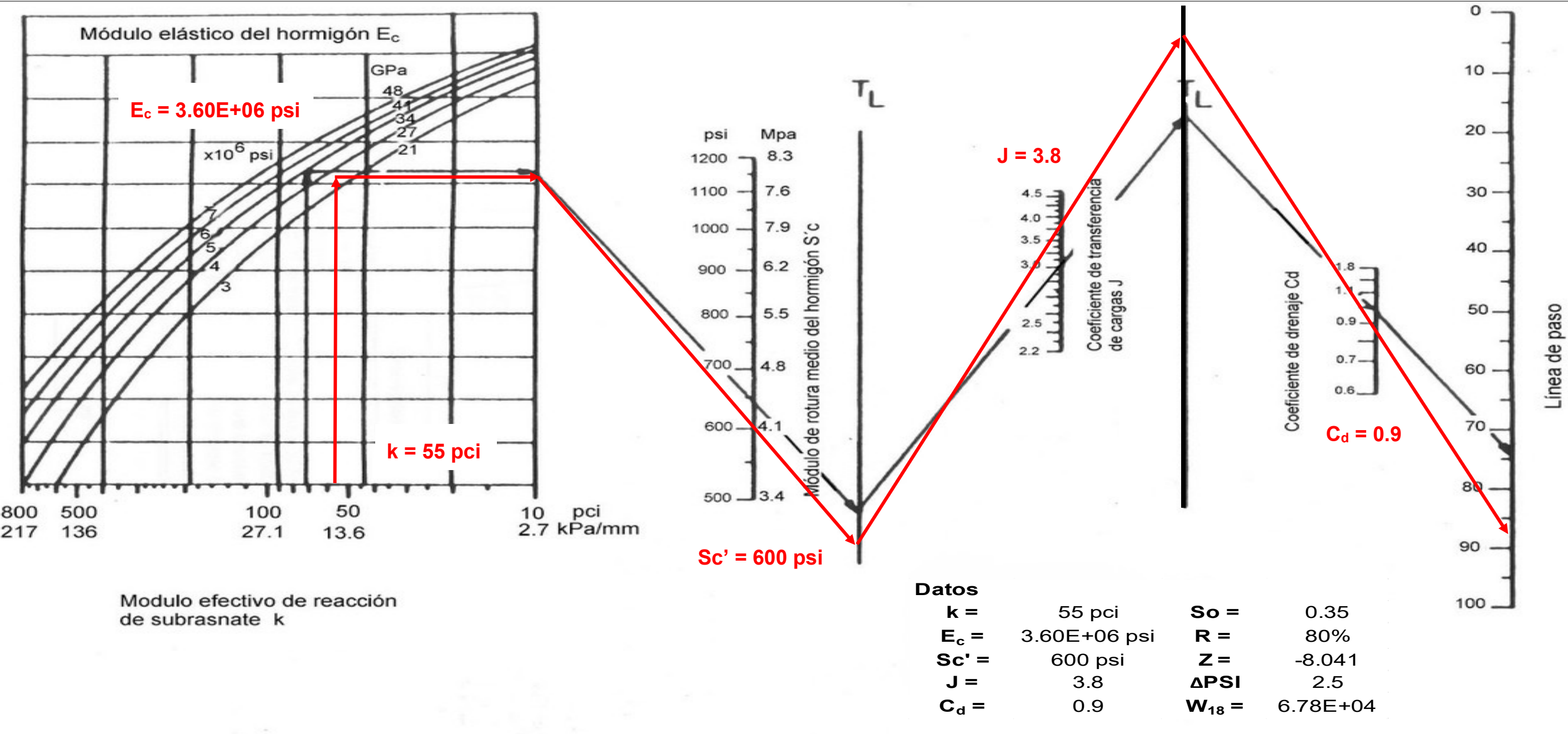
Ábaco para determinar el daño relativo en pavimentos rígidos basado en el espesor de losa y valor soporte



Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

7.3.2.14. Espesor de diseño

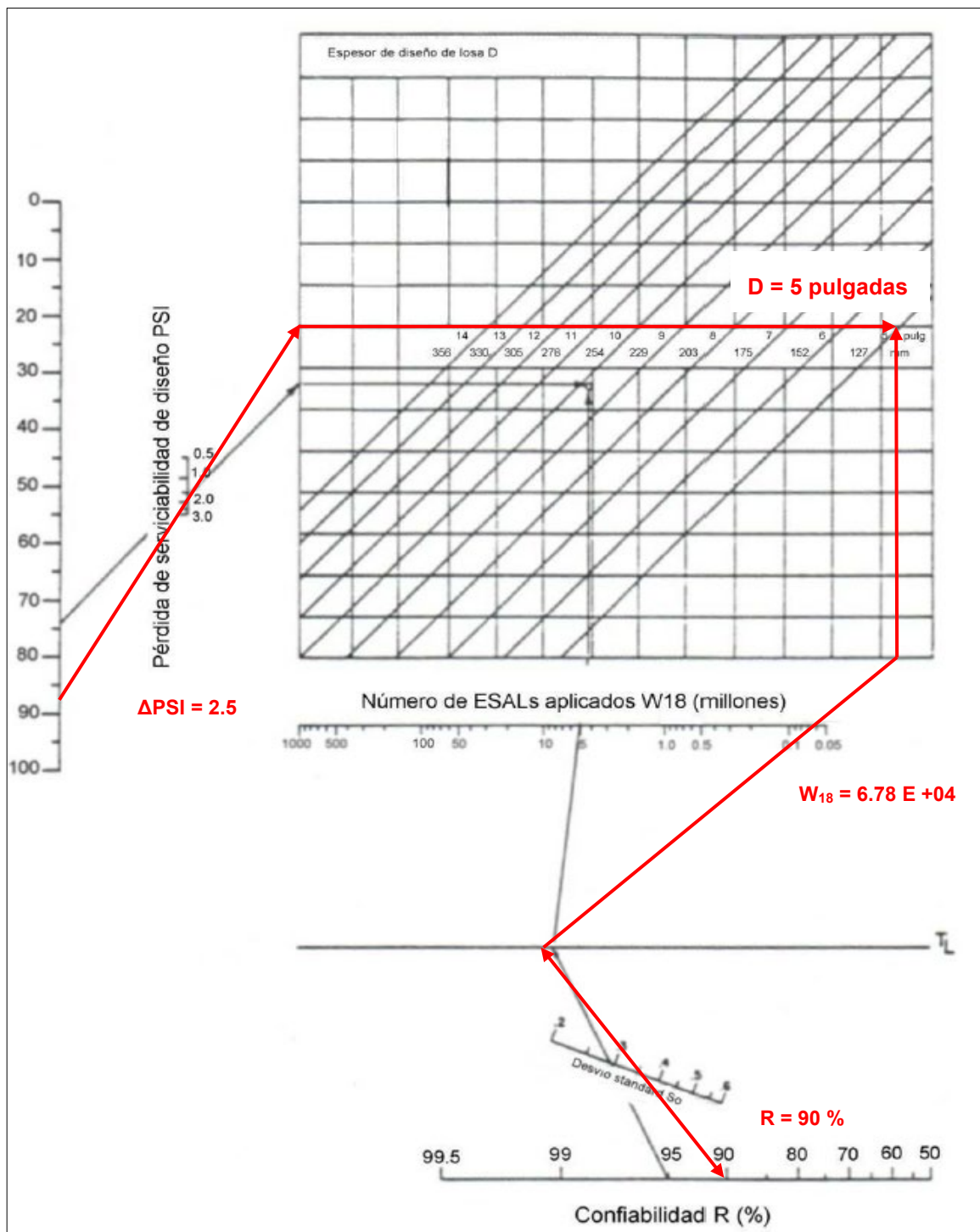
Figura 13.
Ábaco de diseño para pavimentos rígidos (a)



Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

Figura 14.

Ábaco de diseño para pavimentos rígidos (b)



Fuente. Adaptado de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

La aplicación del ábaco de diseño de AASHTO, mostrado en las Figuras 13 y 14, permitió integrar de forma gráfica las principales variables estructurales del pavimento, las propiedades del concreto, las condiciones de soporte de la subrasante y los parámetros de tránsito y confiabilidad del proyecto.

A partir de la interacción de estos factores dentro del procedimiento gráfico, se obtiene un espesor de losa aproximado de 5 pulgadas, el cual satisface las condiciones de diseño establecidas para el tramo en estudio.

No obstante, debido a que la lectura del ábaco es un procedimiento gráfico que depende de la interpretación de escalas y líneas de referencia, el resultado se considera una estimación aproximada.

Por esta razón, el espesor obtenido mediante las Figuras 13 y 14 fue posteriormente verificado utilizando el programa WinPAS 12, el cual implementa el método AASHTO de forma analítica, permitiendo confirmar la validez del espesor adoptado para el diseño del pavimento.

7.4. Programa WinPAS 12

Tabla 45.

Parámetros de diseño utilizados en el programa WinPAS 12

Número de Ejes Equivalentes (ESALs)	67,772
Confiabilidad (R)	90%
Desviación Estándar (So)	0.35
Módulo de Ruptura (S'c)	600 PSI
Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec)	3,597,074.9 PSI
Coeficiente de Transmisión de carga (J)	3.80
Módulo de Reacción (k) de la Subrasante	55
Coeficiente de Drenaje (Cd)	0.90
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5
Serviciabilidad Final (Pt)	2.0
Pérdida de Serviciosibilidad ΔPSI	2.5
C.B.R. de Diseño	8.4%
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)	12,600 PSI
Daño Relativo (Uf)	8.20

Fuente. Elaboración propia a partir de los criterios del método AASHTO-93 para diseño de pavimentos rígidos.

Figura 15.

Resultado del análisis del espesor de losa mediante el software WinPAS 12

Concrete Pavement Design/Analysis Inputs		
Concrete Thickness	5.56	inches
Total Rigid ESALs	67,772	
Reliability	90.00	%
Overall Standard Deviation	0.35	
Flexural Strength	600.0	psi
Modulus of Elasticity	3,587,074.9	psi
Load Transfer Coefficient	3.80	
Modulus of Subgrade Reaction	55.0	psi/in.
Drainage Coefficient	0.90	
Initial Serviceability	4.50	
Terminal Serviceability	2.00	

Save and Close
Help

Concrete Pavement Design/Analysis

Concrete Thickness: 5.56 inches

Solve For

**D = 5.56
pulgadas**

Fuente. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos mediante el programa WinPAS 12 (Pavement Analysis Software).

Con base en los parámetros de diseño, ingresados en el programa WinPAS 12 de la Tabla 45, se obtuvo un espesor requerido de losa de 5.56 pulgadas (14.12 cm). Este resultado indica que dicho espesor es suficiente para cumplir con los criterios del método AASHTO, considerando las condiciones de tránsito, confiabilidad y soporte de la subrasante del proyecto.

El uso del programa permite obtener un resultado más preciso al realizar el cálculo de forma analítica a partir de la interacción de todas las variables de diseño.

7.5. Espesores finales de diseño

Con el uso del ábaco de diseño AASHTO (Figuras 13 y 14) se estimó un espesor aproximado de 5 pulgadas para la losa. Sin embargo, debido a que este procedimiento

es gráfico y depende de la lectura de las escalas, el resultado se considera una estimación preliminar.

Para verificarlo, se utilizó el programa WinPAS 12, que aplica el método AASHTO de forma analítica, obteniéndose un espesor requerido de 5.56 pulgadas (14.12 cm), como se muestra en la Figura 15. Considerando este resultado y adoptando un criterio conservador y constructivo, se definió un espesor final de diseño de 5.9 pulgadas $\approx$ (15 cm) para el pavimento.

Con base en los resultados obtenidos, los espesores finales adoptados para la estructura del pavimento se presentan en la Tabla 46.

Tabla 46.

Espesores adoptados para la estructura del pavimento

Capa	Espesor (pulg)	Espesor (cm)
Losa de concreto hidráulico	5.9	15
Subbase granular	6	15.24
Espesor total de pavimento	11.9	30.24

Fuente. Elaboración propia

7.6. Modulación de la losa

La modulación de losas permite definir las dimensiones de los tableros del pavimento y controlar la aparición de fisuras mediante una adecuada disposición de juntas. De acuerdo con AASHTO-93, la separación de las juntas transversales debe determinarse considerando el espesor de la losa y el ancho del tablero, adoptándose el valor más restrictivo entre ambos criterios.

Lo que se aprecia en la Tabla 47, para un espesor de losa de 5.90 pulgadas (0.15 m), el criterio $SJT \leq 24D$ establece una separación máxima entre juntas de 3.60 m. Por otra parte, considerando un ancho de losa de 3.65 m, el criterio $SJT \leq 1.25A$ permite una separación máxima de 4.56 m.

Tabla 47.*Determinación de la separación de juntas y dimensiones del tablero de losa*

Espesor de losa y ancho	
D = 5.90 pulgadas $\approx$	0.15 m
Ancho =	3.65 m
Separación máxima por espesor	
$SJT \leq 24 D$	
$SJT \leq 24 (0.15 \text{ m}) \rightarrow$	3.60 m
$SJT \approx$	3.60 m
Separación máxima por ancho de losa	
$SJT \leq 1.25A$	
$SJT \leq 1.25 (3.65 \text{ m}) \rightarrow$	4.5625 m
$SJT \approx$	4.56 m
Valor que controla (L)	
Controla el valor menor =	3.60 m
Relación largo / ancho del tablero	
$L / A = 3.60 / 3.65 \rightarrow$	0.98
Dimensiones del tablero	
Largo (m) x Ancho (m) x Espesor (m)	3.60m x 3.65 m x 0.15 m

Fuente. Elaboración propia con base de la Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.

De acuerdo con las recomendaciones de AASHTO-93, se adopta el valor menor, resultando una separación entre juntas de 3.60 m.

Asimismo, la relación $L/A = 3.60 / 3.665 = 0.98$ se encuentra dentro del rango recomendado (0.71 – 1.40), lo que indica que las dimensiones del tablero son adecuadas y favorecen un comportamiento estructural uniforme de la losa.

En consecuencia, se adoptan tableros de 3.60 m $\times$ 3.65 m con un espesor de 0.15 m, dimensiones que cumplen con los criterios geométricos y estructurales recomendados para pavimentos rígidos.

7.7. Diseño de juntas

Debido a los cambios volumétricos del concreto y a las condiciones de servicio de los pavimentos rígidos, es necesario incorporar juntas entre losas para controlar la formación de grietas y permitir el adecuado funcionamiento estructural del pavimento.

De acuerdo con el Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos (SIECA, 2002), las dimensiones de las juntas dependen del espesor de la losa. (Ver Anexos, Tabla 13, pág. XIII)

Para un espesor de 15 cm, se adopta un espaciamiento entre juntas de 3.60 m, una profundidad de corte de 5.0 cm, una profundidad de sellado de 1.0 cm y un ancho de corte de 0.5 cm, como se presenta en la Tabla 48.

Tabla 48.

Recopilación de especificaciones para colocación de juntas

Espesor de losa (cm)	15
Espaciamiento entre juntas (cm)	360
Profundidad de corte de juntas (cm)	5.00
Profundidad del material de sellado (cm)	1.00
Ancho del corte para la junta (cm)	0.50

Fuente. Adaptado del *Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos*, SIECA (2002).

7.8. Diseño de pasajuntas

Las barras pasadoras o dovelas se colocan en las juntas transversales de los pavimentos de concreto para transferir las cargas entre losas adyacentes. Su función es reducir las diferencias de deflexión entre losas cuando circulan los vehículos, evitando el escalonamiento y el deterioro de los bordes, lo que contribuye a mejorar el desempeño y la durabilidad del pavimento.

La Tabla 49 presenta un resumen de los valores correspondientes al espesor de losa utilizado en el diseño, incluyendo el diámetro de la barra, longitud de anclaje y espaciamiento recomendado. (Ver Anexos, Tabla 14, pág. XIII)

Tabla 49.

Recopilación de dimensiones y espaciamiento de las barras de amarre en pavimento de concreto (grado 60)

Espesor de losa	mm	pulg
	150	5.9
Diámetro de la barra	13	1/2
Longitud de la barra	600	23.62
Distancia al extremo libre	760	30

Fuente. Adaptado de ACI 325.12R-02, Guía para el diseño de pavimentos de concreto con juntas, American Concrete Institute.

De forma similar, para el diseño de las barras pasadoras, se utilizaron las recomendaciones de la Portland Cement Association (PCA) para pavimentos de concreto.

Considerando el espesor de losa adoptado, la Tabla 50 presenta los valores seleccionados para el diámetro, longitud y espaciamiento de las barras pasadoras, los cuales corresponden a los rangos recomendados. (Ver Anexos, Tabla 15, pág. XIV)

Tabla 50.

Recopilación de diámetros y longitudes en pasajuntas

Espesor de la losa	cm	pulg
	15	5.9
Diámetro de la barra pasajunta	19	3/4
Longitud total de la barra pasajunta	41	16
Distancia de centro a centro de barra pasajunta	30	12

Fuente. Adaptado de las recomendaciones de la Portland Cement Association (PCA) para barras pasadoras en pavimentos de concreto.

8. CONCLUSIONES

1. Se determinó el tránsito de diseño del tramo Rancho Santana mediante la aplicación del método AASHTO-93, a partir de un aforo vehicular representativo, el análisis de variables socioeconómicas y la proyección del crecimiento del tránsito. El estudio evidenció un TPDA de 251 vehículos con predominio de tránsito liviano (más del 97%), lo que se traduce en una baja incidencia de carga pesada. Considerando un período de diseño de 20 años, una tasa de crecimiento del 2.65% y los factores de distribución correspondientes, se obtuvo un tránsito acumulado de diseño de 1,188,225 vehículos, equivalente a 67,772.40 ESAL, clasificando la vía como de bajo a moderado volumen. Este resultado confirma que las solicitudes estructurales son relativamente bajas, pero suficientes para justificar el uso de un pavimento rígido como solución durable y de bajo mantenimiento.
2. La caracterización geotécnica permitió identificar un perfil estratigráfico dominado por suelos finos en superficie (A-7-5), con baja capacidad de soporte (CBR entre 3% y 5%), sobre materiales granulares de mejor comportamiento mecánico (A-2-7 y A-2-4) con CBR entre 8% y 18%, e incluso superiores en profundidad. A partir del análisis estadístico de las muestras representativas de subrasante y basado en el valor de ESAL obtenido, se ha aplicado el criterio del percentil 75%, se adoptó un CBR de diseño de 8.4%, representativo de las condiciones reales del terreno. Asimismo, el banco de préstamo Santa Juana presenta materiales granulares con CBR entre 32% y 96%, adecuados para su uso como subbase o base, con suficiente volumen para abastecer el proyecto. Estos resultados garantizan que la estructura diseñada contará con un soporte adecuado y materiales de calidad para su construcción.

3. La aplicación del método AASHTO-93 permitió definir los espesores óptimos de la estructura del pavimento, integrando las condiciones de tránsito, soporte de la subrasante y propiedades del concreto. El análisis mediante ábacos proporcionó un espesor preliminar de 5 pulgadas, el cual fue validado mediante el software WinPAS 12, obteniéndose un espesor requerido de 5.56 pulgadas (14.12 cm). Considerando criterios de seguridad, constructibilidad y uniformidad, se adoptó un espesor final de 15 cm para la losa de concreto, sobre una subbase granular de 15.24 cm, conformando una estructura total de 30.24 cm. Esta solución garantiza un adecuado desempeño estructural, capacidad de carga, durabilidad y nivel de serviciabilidad durante el período de diseño, siendo técnicamente viable y coherente con las condiciones reales del tramo.

9. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar una verificación de campo previa a la ejecución, para confirmar que las condiciones de subrasante, drenaje y estado superficial coinciden con las consideradas en el diseño. Además, para futuras etapas, se sugiere incorporar ensayos adicionales (módulo resiliente, módulo de reacción y propiedades del concreto) que permitan mejorar la precisión del diseño y reducir la dependencia de correlaciones empíricas, considerando que se adoptó un CBR de 8.4% como parámetro representativo.
2. Durante la construcción, se recomienda aplicar un control riguroso de calidad en la subbase y la losa de concreto, verificando granulometría, compactación, humedad, resistencia y ejecución de juntas. Asimismo, el material del banco Santa Juana debe ser controlado continuamente, debido a su variabilidad, asegurando el cumplimiento de las especificaciones técnicas y priorizando su uso en subbase o mejoramiento de subrasante.
3. Se recomienda respetar los parámetros del diseño, adoptando el espesor final de 15 cm en la losa, por su mayor seguridad y facilidad constructiva. También es fundamental mantener la modulación de losas, juntas y elementos de transferencia de carga, debido a su influencia en el desempeño del pavimento. El diseño debe considerarse como una base técnica adaptable según condiciones reales de ejecución

10. REFERENCIAS

AASHTO. (2006). *Diseño de Pavimento AASHTO-93*. La Paz: Escuela de Caminos de Montaña de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan.

American Concrete Institute. (2002). *Guide for Design of Jointed Concrete Pavements (ACI 325.12R-02)*. Farmington Hills, Michigan: American Concrete Institute.

ASTM. (2011). Métodos de Ensayos para la Compactación del Suelo en Laboratorio Utilizando una Energía Estándar. En A. Int'l, *ASTM Internacional* (pág. 19). M y M Laboratorio de Suelos y Concreto S.A.C.

ASTM. (2016). Método de prueba estándar para California Bearing Ratio (CBR) de suelos compactados en laboratorio. En ASTM, *ASTM International* (pág. 11). Pensilvania: Clearance Center, 222 Rosewood Drive.

Banco Central de Nicaragua. (2025). *Informe anual 2024*. Managua: Banco Central de Nicaragua.

Corea y Asociados S.A. (CORASCO). (2008). *Manual para la Revisión de Diseño de Pavimentos*. Nicaragua: MTI.

Corea y Asociados S.A. (CORASCO). (2008). *Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: USAID.

Lynch Blackman, H. (2022). *DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS: NUEVOS Y DE REFUERZO (Vías Urbanas, Estacionamientos, Carreteras y Aeropuertos)*. Zulia: Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, ANIH.

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2000). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes NIC-2000*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2021). *Anuario de Aforos de Tráfico, Año 2020*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2023). *Anuario de Aforos de Tráfico, Año 2022*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Paintmaps. (s.f.). *PAINTMAPS.COM*. Obtenido de Paintmaps: <https://tools.paintmaps.com/es/recorte-de-mapa/NI/4-421190545/muestras>

Portland Cement Association. (2016). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Portland Cement Association.

SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*. aacid.

Mapa de macrolocalización



Inicio del tramo Rancho Santana (Estación 0+000)

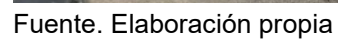


Figura 3

Final del tramo Rancho Santana (Estación 3+000)



Fuente. Elaboración propia

Figura 4

Condición actual del tramo



Fuente. Elaboración propia

Figura 5

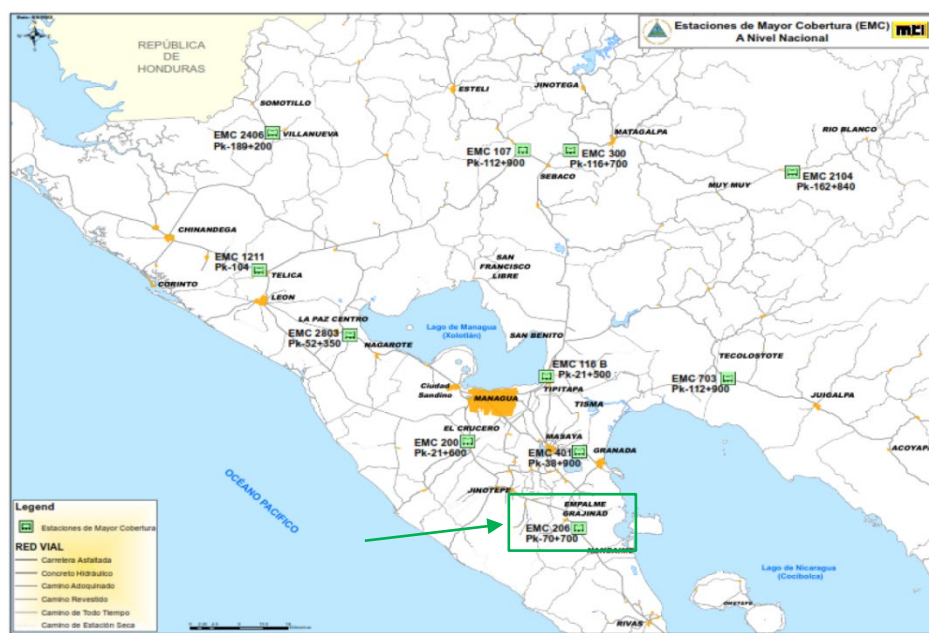
Ubicación del punto de conteo vehicular



Fuente. Elaboración propia a partir de imagen satelital de *Google Earth Pro* (2026), Rancho Santana, Nicaragua

Figura 6

Ubicación geográfica de las estaciones de mayor cobertura



Fuente. Anuario de Aforo de Tráfico (2022)

Tabla 1

Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico de la oficina de diagnóstico, evaluación de pavimentos y puentes.

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadracicl, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx>=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx>=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente. Anuario de Aforo de Tráfico (2020)

Tabla 2

Formato de conteo vehicular.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA INGENIERÍA DE TRÁNSITO																					
CONTEO VEHICULAR																					
ESTACIÓN:										TRAMO:											
SENTIDO:																					
FECHA:										CONTADOR DE TRÁFICO:											
HORA	VEHICULOS DE PASAJEROS								VEHICULOS DE CARGA								Otros Vehículos Pesados			TOTAL	
	Vehículos Livianos					Autobuses			Camiones				Camión		Tráiler Articulado		Agríc	Const	Otros		
	Bici	Motos	Autos	Jeep/SUV	Pick Up	Microbús <15 pax	Minibús 15-30 pax	Grande	Camión Ligero	C2 > 4 ton	C3	C4	≤ 4 ejes	≥ 5 ejes	T2-S1	T2-S2					T3-S2
6:00-7:00																					
7:00-8:00																					
8:00-9:00																					
9:00-10:00																					
10:00-11:00																					
11:00-12:00																					
12:00-13:00																					
13:00-14:00																					
14:00-15:00																					
15:00-16:00																					
16:00-17:00																					
17:00-18:00																					
TOTAL																					

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 3

Factores del primer cuatrimestre del año (Enero - Abril EMC 206).

ESTACIÓN DE MAYOR COBERTURA 206 EMPALME GRAJINAN - RIVAS FACTORES 2022																
Factores del primer cuatrimestre del año Enero - Abril																
Descripción	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clase 12	Clase 13	Clase 14	Clase 15	
Factor Día	1.27	1.27	1.24	1.28	1.28	1.40	1.00	1.24	1.47	1.54	1.00	1.00	1.13	1.13	1.50	
Factor Semana	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.94	1.00	0.97	0.97	0.96	1.00	1.00	1.11	1.11	1.00	
Factor Fin de Semana	0.99	1.01	1.05	1.07	1.07	1.18	1.00	1.09	1.08	1.10	1.00	1.00	0.81	0.81	1.00	
Factor Expansión a TPDA	1.10	0.91	0.92	1.04	1.07	1.46	1.60	1.03	1.00	1.21	1.00	1.00	0.94	0.94	1.10	

Fuente. Anuario de Aforo de Tráfico (2022)

Tabla 4
Registro histórico de la Estación de Mayor Cobertura Empalme Grajinan - Rivas

29	NIC-2	206	EMC	Emp. Grajinan - Rivas	Asfaltada	Troncal Principal	2022	928	1,784	1,398	469	283	118	0	63	438	93	0	0	8	8	17	5,607			
							2020	913	795	1018	158	230	71	0	0	120	0	0	0	0	15	3,320				
							2016	882	1706	1811	252	271	95	0	0	553	0	0	0	0	0	38	5,608			
							2014	710	1651	1920	377	605	173	0	0	916	0	0	0	0	0	95	6,447			
							2012	322	1045	1455	227	296	59	0	0	800	0	0	0	0	0	37	4,241			
							2011	374	787	1060	202	151	74	0	1	454	0	0	0	0	0	4	3,107			
							2010	200	699	1085	206	185	27	0	1	571	0	0	0	0	0	8	2,982			
							2009	299	1039	1198	256	213	35	0	1	564	0	1	0	0	0	18	3,624			
							2008	228	1077	1290	248	300	60	0	1	661	0	0	0	0	0	32	3,897			
							2007	103	834	967	201	217	45	0	1	420	0	2	0	0	0	13	2,803			
							2006	74	796	884	195	217	38	0	5	427	0	1	0	0	0	12	2,649			
							2005	73	728	951	205	239	33	0	1	417	0	21	0	0	0	12	2,679			
							2004	75	752	868	192	212	29	0	1	451	0	2	0	0	0	14	2,594			
							2003	69	714	796	202	187	24	0	9	352	0	1	0	0	0	20	2,374			
							2002	66	682	815	208	189	26	0	1	316	0	0	0	0	0	22	2,325			
							2001	56	572	713	169	208	27	0	0	428	0	2	0	0	0	39	2,214			
							2000	54	542	673	166	180	40	0	0	382	0	1	0	0	0	12	2,049			
							1999	66	567	677	167	181	36	0	0	343	0	1	0	0	0	15	2,053			
							1998	59	532	585	133	161	20	0	1	249	0	2	0	0	0	15	1,757			
							1997	62	484	574	115	189	47	0	1	205	0	5	0	0	0	14	1,696			
							EMC	206																		
							T.CREC.	2.93%		2023	955	1,836	1,439	483	291	121	0	65	451	96	0	0	8	8	17	5,771
							LIV		4,230		PESADO												1,541			
							73%		27%																	

Fuente. Anuario de Aforo de Tráfico (2022)

Tabla 5
Registro histórico de la estación de corta duración Tola - las Salinas

306	NIC-62	6202	ECD	Tola - Las Salinas	Adoquinada Revestida	Colectora Secundaria	2022	1,521	570	653	47	69	7	0	0	9	0	0	0	0	0	19	2,895
					EMC	206																	
					T.CREC.	2.93%	2023	1,566	587	672	48	71	7	0	0	9	0	0	0	0	0	20	2,980
							LIV	2,824			PESADO			155									
							95%			5%													

Fuente. Anuario de Aforo de Tráfico (2022)

Tabla 6

Indicadores macroeconómicos

Conceptos - Concepts	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Actividad económica ^{1/} y empleo ^{2/} - Economic activity/¹ and employment/²																			
PIB a precios constantes (tasas de crecimiento) - Real GDP growth (%)	4.2	5.1	3.4	(3.3)	4.4	6.3	6.5	4.9	4.8	4.8	4.6	4.6	(3.4)	(2.9)	(2.2)	10.5	3.6	4.4	3.6
PIB per-cápita (en US\$) - GDP per cápita (US\$)	1,224.7	1,326.7	1,438.9	1,445.2	1,506.1	1,630.0	1,734.9	1,790.4	1,916.8	2,036.9	2,099.6	2,156.1	2,016.2	1,945.4	1,929.5	2,132.1	2,321.8	2,617.0	2,864.7
PIB per-cápita (tasas de crecimiento) - GDP per cápita growth (%)	8.3	8.3	13.0	(3.6)	4.2	8.2	6.4	3.2	7.1	6.3	3.1	2.7	(6.5)	(3.5)	(0.8)	10.5	8.9	12.7	9.5
Tasa de desempleo abierto - Unemployment rate (%)				7.7	7.9	5.9	5.9	5.7	6.6	5.9	4.5	3.7	5.4	5.6	5.0	4.5	3.5	3.4	3.1
Porcentaje de ocupados con subempleo - Underemployment as a percent of employed persons (%)				42.0	50.5	51.8	51.0	50.1	49.9	50.2	44.4	42.9	45.6	47.5	45.9	44.5	39.4	39.6	38.7
Precios y tipo de cambio - Prices and exchange rate																			
Inflación anual acumulada nacional (IPC año base=2006) - National annual inflation (CPI 2006=100)	9.4	16.9	13.8	0.9	9.2	8.0	6.6	5.7	6.5	3.1	3.1	5.7	3.9	6.1	2.9	7.2	11.6	5.6	2.8
Inflación anual acumulada (Managua) ^{3/} - Managua annual inflation ^{3/}	10.2	16.2	12.7	1.8	9.1	8.6	7.1	5.4	6.5	2.8	3.1	5.8	3.3	6.5	2.6	7.3	11.3	5.2	2.5
Devaluación anual (%) ^{4/5/6/} - Annual devaluation (%) ^{4/5/6/}	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.7	2.9	2.0	2.0	1.1	0.0
Tipo de cambio oficial promedio (C\$ x US\$) - Average exchange rate (C\$ x US\$)	17.6	18.4	19.4	20.3	21.4	22.4	23.5	24.7	26.0	27.3	28.6	30.1	31.6	33.1	34.3	35.2	35.9	36.4	36.6
Tipo de cambio oficial a fin de período (C\$ x US\$) - Exchange rate, end of period (C\$ x US\$)	18.0	18.9	19.8	20.8	21.9	23.0	24.1	25.3	26.6	27.9	29.3	30.8	32.3	33.8	34.8	35.5	36.2	36.6	36.6
Sector monetario y financiero (tasas de crecimiento) - Monetary and financial sector (percentage growth)																			
Base monetaria - Monetary base	28.1	21.3	5.3	19.8	17.1	25.6	4.9	6.7	14.8	26.2	(1.8)	13.6	(9.0)	14.4	26.7	18.1	11.8	11.3	21.0
RIIB / base monetaria (número de veces) - Gross international reserves/monetary base (number of times)	2.0	2.1	2.2	2.6	2.7	2.4	2.4	2.5	2.6	2.3	2.5	2.6	2.4	2.4	2.6	2.8	2.8	3.1	2.9
Depósitos totales - Total deposits	10.1	17.2	7.3	15.2	24.4	17.6	5.5	13.9	19.0	13.9	8.6	10.7	(20.7)	1.1	16.1	12.0	12.9	14.5	10.3
Cartera de crédito bruta - Bank's gross portfolio	30.8	31.6	12.3	(6.3)	2.4	18.9	29.0	21.3	19.5	23.0	18.5	13.9	(8.9)	(13.0)	(3.6)	4.7	15.3	17.1	19.3
Saldo de reservas internacionales netas (millones US\$) - Net international reserve balance (million of US\$)	859.0	1,018.6	1,029.8	1,422.8	1,631.6	1,710.5	1,718.1	1,840.0	2,153.2	2,401.2	2,387.5	2,716.2	2,038.9	2,208.5	3,073.5	3,354.6	4,356.4	5,443.0	6,105.1
Saldo de reservas internacionales brutas (millones US\$) - Gross international reserve balance (million of US\$)	924.2	1,103.3	1,140.8	1,573.1	1,799.0	1,892.3	1,887.2	1,993.0	2,276.2	2,492.3	2,447.8	2,757.8	2,261.1	2,397.4	3,211.9	4,046.6	4,404.4	5,447.0	6,105.1
Sector Público No Financiero (% del PIB) - Non-financial public sector - NFPS (as % GDP)																			
Balance antes de donaciones - Balance of Non-Financial Public Sector (before grants)	(2.9)	(2.1)	(3.0)	(3.9)	(2.2)	(1.6)	(1.7)	(2.1)	(2.6)	(2.8)	(3.1)	(3.1)	(4.6)	(2.2)	(3.0)	(2.0)	0.5	2.4	2.4
Balance después de donaciones - Balance of NFPS (after grants)	0.5	1.0	(0.6)	(1.3)	(0.6)	0.2	(0.3)	(1.1)	(1.4)	(1.6)	(2.0)	(2.0)	(3.9)	(1.6)	(2.5)	(1.6)	0.7	2.6	2.5
Financiamiento externo - External financing NFPS	2.7	2.4	1.4	2.9	2.5	1.9	2.0	2.3	2.5	2.6	2.3	3.2	1.9	3.0	5.4	4.7	3.1	2.5	0.8
Financiamiento interno ^{1/} - Internal financing NFPS ^{1/}	(3.2)	(3.3)	(0.8)	(1.6)	(1.9)	(2.0)	(1.7)	(1.1)	(1.1)	(1.0)	(0.3)	(1.2)	2.0	(1.4)	(2.9)	(3.2)	(3.8)	(5.2)	(3.3)
Sector externo (millones US\$) ^{7/8} - External sector (millions of US\$) ^{7/8}																			
Cuenta corriente (% del PIB) - Current account (as % GDP)	(13.1)	(15.2)	(17.1)	(8.5)	(8.9)	(11.9)	(11.7)	(12.6)	(8.0)	(9.9)	(8.7)	(7.2)	(1.8)	5.9	3.8	(2.8)	(2.9)	8.2	4.2
Exportaciones de mercancías FOB - Exports of general merchandize (FOB)	1,065.9	1,236.0	1,496.3	1,406.7	1,837.5	2,274.9	2,698.6	2,463.0	2,696.6	2,435.8	2,249.4	2,585.3	2,545.7	2,696.8	2,852.0	3,510.6	3,878.8	4,034.2	4,192.9
Exportaciones de zona franca - Exports of goods of free zone	941.9	1,110.3	1,275.7	1,231.9	1,613.3	2,051.8	2,156.4	2,358.2	2,524.9	2,494.0	2,612.8	2,638.1	2,870.4	2,894.1	2,469.1	3,354.5	3,852.0	3,509.0	3,524.3
Importaciones de mercancías FOB - Imports of general merchandize (FOB)	2,777.6	3,311.3	3,995.4	3,229.1	3,872.5	4,863.5	5,420.9	5,225.4	5,452.9	5,418.6	5,361.8	5,597.8	4,829.4	4,352.4	4,411.9	6,058.6	7,284.6	7,693.2	8,452.4
Importaciones de zona franca - Imports of goods of free zone	665.5	752.9	893.6	837.9	1,121.0	1,397.8	1,362.2	1,462.2	1,492.9	1,641.2	1,608.3	1,644.0	1,799.2	1,857.3	1,487.1	2,307.5	2,840.1	2,304.3	2,323.3
Remesas - Remittances	697.5	739.6	818.1	768.4	822.8	911.6	1,014.2	1,077.7	1,135.8	1,193.4	1,264.1	1,390.8	1,501.2	1,682.4	1,851.4	2,146.9	3,224.9	4,660.1	5,243.1
Deuda pública externa - External public debt																			
Saldo de deuda pública externa (millones US\$) - External public debt (million of US\$)	4,556.0	3,415.3	3,541.6	3,856.4	4,068.2	4,263.2	4,480.8	4,723.7	4,796.0	4,804.4	5,042.1	5,546.1	5,949.6	6,278.7	6,956.8	7,805.9	8,122.7	8,549.0	8,657.7
Deuda externa / PIB - External public debt / GDP	67.4	46.0	41.7	46.5	46.4	43.6	42.5	43.0	40.4	37.7	38.0	40.2	45.7	49.4	54.7	54.9	52.0	48.0	44.0
Servicio de deuda externa / exportaciones ^{1/8} - External debt service / exports ^{1/8}	4.3	5.5	3.1	3.2	2.4	2.0	1.8	2.0	2.2	2.7	3.2	3.5	3.9	5.0	6.0	5.0	4.9	6.8	8.2
Partidas informativas (millones C\$) - Information items (million of C\$)																			
PIB (a precios constantes)- Real GDP	118,837.7	124,870.3	129,160.5	124,907.7	130,416.3	138,654.2	147,661.4	154,936.8	162,351.3	170,131.6	177,894.9	186,133.6	179,873.3	174,662.6	170,756.2	188,607.7	195,303.8	203,951.4	211,268.8
PIB (córdobas corrientes) - Nominal GDP	118,837.7	136,950.2	164,602.4	168,791.3	187,052.6	219,182.2	247,993.9	271,529.8	308,403.1	347,707.3	380,260.8	414,279.1	410,987.6	420,613.8	437,052.4	499,745.7	560,881.2	648,866.2	721,278.3
PIB (en millones US\$) - GDP (million of US\$)	6,763.7	7,423.4	8,497.0	8,298.7	8,758.6	9,774.3	10,532.5	10,983.0	11,880.4	12,756.7	13,286.0	13,786.0	13,025.2	12,699.0	12,726.4	14,209.0	15,634.6	17,805.8	19,694.0
Población (miles de habitantes) ^{11/} - Population (thousands) ^{11/}	5,522.6	5,595.5	5,668.9	5,742.3	5,815.5	5,996.6	6,071.0	6,134.3	6,198.2	6,262.7	6,327.9	6,393.8	6,460.4	6,527.7	6,595.7	6,664.4	6,733.8	6,803.9	6,874.7
Base monetaria - Monetary base	8,121.8	9,847.8	10,369.5	12,425.7	14,549.8	18,278.0	19,174.4	20,466.9	23,502.5	29,661.4	29,138.0	33,113.6	30,132.7	34,477.7	43,668.3	51,576.3	57,654.2	64,172.8	77,662.2
Depósitos totales ^{12/} - Total deposits ^{12/}	38,792.8	45,454.7	48,776.4	56,489.1	70,400.3	82,043.5	86,550.1	98,591.8	117,345.7	133,636.1	145,144.1	160,719.0	127,434.1	128,855.3	149,636.2	167,653.5	189,318.5	216,759.3	239,015.6
Cartera de crédito bruta ^{13/} - Gross credit portfolio ^{13/}	31,941.8	42,026.3	47,198.6	44,241.7	45,289.1	53,852.4	69,457.2	84,281.8	100,712.1	123,839.2	146,721.6	167,150.3	152,240.2	132,386.0	127,644.8	133,676.7	154,065.9	180,363.5	215,193.1
Balance del SPNF a/d - Balance of NFPS (before grants)	(3,464.2)	(2,905.7)	(4,875.2)	(6,576.7)	(4,121.9)	(3,457.3)	(4,144.5)	(5,803.4)	(7,957.1)	(9,905.2)	(11,823.4)	(12,810.3)	(18,892.6)	(9,181.9)	(13,259.6)	(10,045.4)	2,863.3	15,788.7	17,151.9
Balance del SPNF d/d - Balance of NFPS (after grants)	578.6	1,311.1	(1,027.8)	(2,195.7)	(1,101.6)	354.2	(626.5)	(3,057.1)	(4,449.6)	(5,450.2)	(7,500.3)	(8,488.4)	(16,110.1)	(6,567.2)	(10,960.3)	(7,753.8)	4,070.4	17,055.1	17,989.3

Fuente. Informe Anual del Banco Central de Nicaragua (2024)

Tabla 7
Producto interno bruto: enfoque de la producción

Cuadro AE-2
 Producto Interno Bruto: enfoque de la producción
 (millones de córdobas de 2006 y porcentaje)

Concepto	2020	2021 ^{p/}	2022 ^{p/}	2023 ^{p/}	2024 ^{e/}	2020	2021 ^{p/}	2022 ^{p/}	2023 ^{p/}	2024 ^{e/}
	(millones de córdobas de 2006)					(tasas de crecimiento real)				
Producto interno bruto	170,756.2	188,607.7	195,303.8	203,951.4	211,268.8	(2.2)	10.5	3.6	4.4	3.6
más: Impuestos netos a los productos	15,695.5	17,896.9	19,050.6	20,708.0	22,001.9	(4.3)	14.0	6.4	8.7	6.2
Agricultura	14,372.8	15,373.4	15,513.2	14,569.4	14,520.1	(1.4)	7.0	0.9	(6.1)	(0.3)
Pecuario	9,790.5	10,512.4	10,437.6	10,585.9	10,724.2	1.4	7.4	(0.7)	1.4	1.3
Silvicultura y extracción de madera	1,536.0	1,560.0	1,589.9	1,612.3	1,628.0	(0.9)	1.6	1.9	1.4	1.0
Pesca y acuicultura	1,839.3	2,080.0	2,228.7	1,902.6	1,737.2	(7.1)	13.1	7.2	(14.6)	(8.7)
Explotación de minas y canteras	3,408.7	4,531.4	4,570.3	5,187.1	5,159.6	7.7	32.9	0.9	13.5	(0.5)
Industrias manufactureras	26,789.0	30,721.8	32,305.6	33,118.9	33,268.7	1.8	14.7	5.2	2.5	0.5
Construcción	3,578.7	4,806.1	4,230.3	4,588.7	5,418.5	9.2	34.3	(12.0)	8.5	18.1
Electricidad	2,033.3	2,255.8	2,298.7	2,591.1	2,644.1	(28.9)	10.9	1.9	12.7	2.0
Agua	1,232.7	1,275.1	1,309.5	1,360.0	1,417.3	7.1	3.4	2.7	3.9	4.2
Comercio	19,787.5	22,864.3	24,519.6	26,277.4	27,918.5	0.5	15.5	7.2	7.2	6.2
Hoteles y restaurantes	3,599.9	3,977.8	5,116.2	6,361.8	7,044.7	(23.5)	10.5	28.6	24.3	10.7
Transporte y comunicaciones	13,009.1	14,114.3	15,294.3	15,989.6	16,687.6	(10.9)	8.5	8.4	4.5	4.4
Intermediación financiera y servicios conexos	4,334.7	4,247.9	4,391.7	4,590.7	4,852.6	(15.1)	(2.0)	3.4	4.5	5.7
Propiedad de vivienda	12,277.3	12,351.0	12,491.3	12,693.8	12,947.1	0.3	0.6	1.1	1.6	2.0
Administración pública y defensa	10,965.2	11,125.4	11,279.8	11,401.3	11,459.8	1.4	1.5	1.4	1.1	0.5
Enseñanza	7,161.0	7,284.1	7,325.0	7,390.1	7,476.0	0.3	1.7	0.6	0.9	1.2
Salud	4,650.3	4,780.5	4,909.1	4,996.8	5,042.5	4.2	2.8	2.7	1.8	0.9
Otros servicios	17,345.6	17,831.8	18,533.4	19,176.4	19,541.4	(0.1)	2.8	3.9	3.5	1.9

p/ : Preliminar.
 e/ : Estimado.
 Fuente: BCN.

Fuente. Informe Anual del Banco Central de Nicaragua (2024).

Figura 7
Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad

Serviciabilidad inicial:

$p_o = 4.5$ para pavimentos rígidos

$p_o = 4.2$ para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

$p_t = 2.5$ o más para caminos muy importantes

$p_t = 2.0$ para caminos de menor tránsito

Fuente. *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.*

Tabla 8

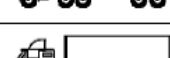
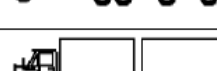
Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples, $pt = 2.0$

Carga por eje		D pulg (mm)								
(kips)	(KN)	6.0	7.0	8.0	9.0	1.0	11.0	12.0	13.0	14.0
		(152.4)	(177.8)	(203.2)	(228.6)	(254.0)	279.4)	(304.8)	(330.2)	(355.6)
2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	17.8	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002	.002
6	26.7	.011	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010	.010
8	35.6	.035	.033	.032	.032	.032	.032	.032	.032	.032
10	44.5	.087	.084	.082	.081	.080	.080	.080	.080	.080
12	53.4	.186	.180	.176	.175	.174	.174	.173	.173	.173
14	62.3	.353	.346	.341	.338	.337	.336	.336	.336	.336
16	71.2	.614	.609	.604	.601	.599	.599	.598	.598	.598
18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.0	1.55	1.56	1.57	1.58	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59
22	97.9	2.32	2.32	2.35	2.38	2.40	2.41	2.41	2.41	2.42
24	106.8	3.37	3.34	3.40	3.47	3.51	3.53	3.54	3.55	3.55
26	115.7	4.76	4.69	4.77	4.88	4.97	5.02	5.04	5.06	5.06
28	124.6	6.58	6.44	6.52	6.70	6.85	6.94	7.00	7.02	7.04
30	133.5	8.92	8.68	8.74	8.98	9.23	9.39	9.48	9.54	9.56
32	142.4	11.9	11.5	11.5	11.8	12.2	12.4	12.6	12.7	12.7
34	151.3	15.5	15.0	14.9	15.3	15.8	16.2	16.4	16.6	16.7
36	160.0	20.1	19.3	19.2	19.5	20.1	20.7	21.1	21.4	21.5
38	169.1	25.6	24.5	24.3	24.6	25.4	26.1	26.7	27.1	27.4
40	178.0	32.2	30.8	30.4	30.7	31.6	32.6	33.4	34.0	34.4
42	186.9	40.1	38.4	37.7	38.0	38.9	40.1	41.3	42.1	42.7
44	195.8	49.4	47.3	46.4	46.6	47.6	49.0	50.4	51.6	52.4
46	204.7	60.4	57.7	56.6	56.7	57.7	59.3	61.1	62.6	63.7
48	213.6	73.2	69.9	68.4	68.4	69.4	71.2	73.3	75.3	76.8
50	222.5	88.0	84.1	82.2	82.0	83.0	84.9	87.4	89.8	91.7

Fuente. *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.*

Tabla 9

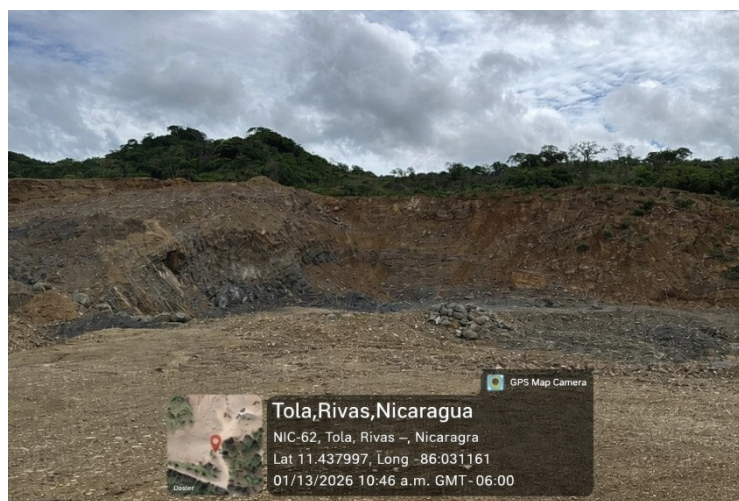
Diagrama de cargas permisibles y pesos máximos permisibles por tipo de vehículos

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
C2		4.50	9.00					13.50
C3		5.00	16.00					21.00
			8.00	8.00				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

Fuente. *Manual para la Revisión de Estudios y Diseños de Pavimentos*, (2008)

Figura 8

Banco de material de préstamo – Santa Juana



Fuente. Elaboración propia

Tabla 10

Clasificación de suelos por el método AASHTO

Clasificación de suelos por el método AASHTO											
Clasificación general	Materiales granulares (35% ó menos, pasa el tamiz No.200)							Materiales Limo-Arcillosos (Más del 35% para el tamiz No.200)			
Grupos	A-1		A-2					A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentaje que pasa el tamiz:											
No.10(2.00 mm)	50 máx.	-	-		-	-	-	-	-	-	
No.40 (0.425 mm)	30 máx.	51 mín.	-	-	-	-	-	-	-	-	
No.200 (0.075 mm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características del material que pasa el tamiz No.40 (0.425 mm):											
Límite Líquido	-		-	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de Plasticidad	6 Máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.*
Índice de grupo	0		0	0	0	4 Máx.		8 Máx.	12 Máx.	16 Máx.	20 Máx.
Terreno de Fundación	Excelente a bueno							Regular a malo			
* El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5, es igual ó menor a LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6, es mayor que LL-30											

Fuente. *Manual para la Revisión de Estudios Geotécnicos, (2008)*

Tabla 11*Especificaciones de Materiales para Base Granular.*

Ensayos	Requerimientos	Metodología
Límite líquido	25% Max	AASHTO-89
Límite plástico	10% Max	AASHTO-90
CBR	80% Mín	AASHTO-193

Fuente. Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (b).

Tabla 12*Especificaciones de materiales para subbase granular*

Ensayos	Requerimientos	Metodología
Límite líquido	25% Max	AASHTO-89
Límite plástico	10% Max	AASHTO-90
CBR	40% Mín	AASHTO-193

Fuente. Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (b).

Figura 9*Método AASHTO para diseño de pavimento rígido*

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_t) \log \left[\frac{S_c' C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left(D^{0.75} - 18.42 \left(\frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right] \quad (9.4)$$

donde:

W_{18} = número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas

Z_R = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada (Ver cap. 6, ap. 6.2.3)

S_o = desvío estándar de todas las variables

D = espesor de la losa del pavimento, en pulg.

ΔPSI = pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

p_t = serviciabilidad final

S_c' = módulo de rotura del hormigón, en psi

J = coeficiente de transferencia de cargas

C_d = coeficiente de drenaje

E_c = módulo de elasticidad del hormigón, en psi

K = módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balasto), en psi/pulg

Fuente. *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento AASHTO-93.*

Tabla 13

Resumen de especificaciones para colocación de juntas

Espesor de losa (cm)	1	2	3	4
	Espaciamiento entre juntas (cm)	Profundidad de corte de juntas (cm)	Profundidad del material de sellado (cm)	Ancho del corte para la junta (cm)
15	360	5.00	1.00	0.50
16	384	5.33	1.07	0.53
17	408	5.67	1.13	0.57
18	432	6.00	1.20	0.60
19	456	6.33	1.27	0.63
20	480	6.67	1.33	0.67
21	504	7.00	1.40	0.70
22	528	7.33	1.47	0.73
23	552	7.67	1.53	0.77
24	576	8.00	1.60	0.80
25	600	8.33	1.67	0.83
26	624	8.67	1.73	0.87
27	648	9.00	1.80	0.90
28	672	9.33	1.87	0.93
29	696	9.67	1.93	0.97
30	720	10.00	2.00	1.00
31	744	10.33	2.07	1.03
32	768	10.67	2.13	1.07
33	792	11.00	2.20	1.10
34	816	11.33	2.27	1.13
35	840	11.67	2.33	1.17

Fuente. Adaptado del *Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos*, SIECA (2002).

Tabla 14

Dimensiones y espaciamiento de las barras de amarre en pavimentos de concreto (Grado 60)

Espesor de losa (mm)	Diámetro de la barra (mm)	Longitud de la barra (mm)	Espaciamiento entre barras centro a centro (mm)			
			Distancia al extremo libre			
			3.0 m	3.7 m	4.3 m	7.3 m
150	13	600	760	760	760	700
150	13	600	760	760	760	580
180	13	600	760	760	760	500
200	13	600	760	760	760	430
230	16	760	900	900	900	600
250	16	760	900	900	900	560
280	16	760	900	900	860	500
310	16	760	900	900	780	460

Fuente. Adaptado de ACI 325.12R-02, Guía para el diseño de pavimentos de concreto con juntas, American Concrete Institute.

Tabla 15

Medida de varillas pasajuntas para diferentes espesores de losas

ESPESOR DE LOSA		BARRAS PASAJUNTAS					
		DIAMETRO		LONGITUD		SEPARACION	
cm.	Pulg.	mm.	Pulg.	cm.	Pulg.	cm.	Pulg.
13 a 15	5 a 6	19	3/4	41	16	30	12
15 a 20	6 a 8	25	1	46	18	30	12
20 a 30	8 a 12	32	1 1/4	46	18	30	12
30 a 43	12 a 17	38	1 1/2	51	20	38	15
43 a 50	17 a 20	45	1 3/4	56	22	46	18

Fuente. Adaptado de las recomendaciones de la Portland Cement Association (PCA) para barras pasadoras en pavimentos de concreto.



Universidad
Nacional de
Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLÍVAR

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6B805A88		
NOMBRE	REAL MONTIEL JASSON ALEJANDRO		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Diurno	SEXO	M
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	DIFCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2020

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	DIFCE-CI	FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:
Clave:

FECHA: 04/03/2026 04:06:22

Creado Por: ETORRES
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:
-- NUEVO INGRESO 2026:
--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO
--REINGRESO 2026:
-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
--PRESENCIAL: 9 DE MARZO
--SABATINO: 7 DE MARZO
--DOMINICAL: 8 DE MARZO



Secretaría Académica
DACAC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **AREA DE CONOCIMIENTO ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN** hace constar que:

REAL MONTIEL JASSON ALEJANDRO

Carné: **2020-0485I** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, en el año 2025 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente



MSc. Beatriz de los Angeles Tórrez Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono (505) 8379890

Recinto Universitario Simón Bolívar.
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 19-nov-2025 beatriz.torres@uni.edu.ni
www.uni.edu.ni

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6CA11831		
NOMBRE	ESCOBAR JARQUÍN MIGUEL ALEJANDRO		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Diurno	SEXO	M
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	DIFCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2018

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	DIFCE-CI	FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS

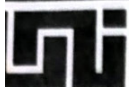
LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:
Clave:

FECHA: 07/03/2026 09:10:45

Creado Por: ETORRES
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:
-- NUEVO INGRESO 2026:
--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO
--REINGRESO 2026:
-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
--PRESENCIAL: 9 DE MARZO
--SABATINO: 7 DE MARZO
--DOMINICAL: 8 DE MARZO



Secretaría Académica
DACAC

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **AREA DE CONOCIMIENTO ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN** hace constar que:

ESCOBAR JARQUÍN MIGUEL ALEJANDRO

Carné: **2018-0457I** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los dieciocho días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.

Atentamente,



MSc. Beatriz de los Angeles Torrez Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono (505) 8379890

Recinto Universitario Simón Bolívar.
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.

PRESENTE POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 18-nov-2024 beatriz.torrez@uni.edu.ni
www.uni.edu.ni

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	70453CA6		
NOMBRE	TORUÑO PINEDA KEVIN JOSUÉ		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Diurno	SEXO	M
AÑO MATRICULADO	6	GRUPO	DIFCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	AÑO ING. EDUC. SUP	2020

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	DIFCE-CI	FORMA DE CULMINACIÓN DE ESTUDIOS

LAS ASIGNATURAS MARCADAS CON (*) SON LLEVADAS POR TERCERA VEZ.
Para Consultar Informe de Calificaciones en <https://singu.setec.edu.ni/>

Correo:
Clave:

FECHA: 04/03/2026 03:54:24

Creado Por: ETORRES
Actualizado Por:

INICIO DE CLASES:
-- NUEVO INGRESO 2026:
--PRESENCIAL: LUNES 2 DE FEBRERO
--SABATINO: SÁBADO 31 DE ENERO
--DOMINICAL: DOMINGO 1 DE FEBRERO
--REINGRESO 2026:
-- CARRERAS DE CIENCIAS DE LA SALUD (II AÑO - VI AÑO): LUNES 26 DE ENERO.
--PRESENCIAL: 9 DE MARZO
--SABATINO: 7 DE MARZO
--DOMINICAL: 8 DE MARZO



**Secretaría Académica
DACAC**

SECRETARIA DE ÁREA ACADÉMICA

F-8: CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario del **AREA DE CONOCIMIENTO
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN** hace constar que:

TORUÑO PINEDA KEVIN JOSUÉ

Carné: **2020-0505I** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **2015** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, en el año 2024 y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los dieciocho días del mes de noviembre del año dos mil veinte y cinco.



Atentamente,

MSc. Beatriz de los Angeles Tórrez Rodríguez
SECRETARIO DE ÁREA ACADÉMICA

Teléfono (505) 8379890

Recinto Universitario Simón Bolívar.
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 18-nov-2025

beatriz.torrez@uni.edu.ni
www.uni.edu.ni