Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

“DISEÑO GEOMÉTRICO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL MÉTODO ASSTHO-93 DE 3 KILÓMETROS QUE CONECTE LA COMUNIDAD DE ESCAMEQUITA CON LA CARRETERA COSTANERA, EN EL DEPARTAMENTO DE RIVAS”

Proyecto de Graduación para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Cristhian Javier Pérez Menocal
Carnet: 2019-0797I

Br. Alvin José Matamoros Jarquín
Carnet: 2016-0158I

Br. Larry José Carrasco Ulloa
Carnet: 2016-1025U

Tutor:

MSc. José Antonio Hernández Hernández

22 de abril de 2026
Managua, Nicaragua

Managua 07 de marzo del 2026

M.Sc. Marcela Carolina Galán Gaitán
Directora de área de conocimiento de arquitectura y construcción
Su Despacho

Estimada M.Sc. Galán:

Reciba un fraterno saludo de mi parte.

A través de la presente me dirijo a usted para comunicarles que he revisado el proyecto de curso titulado: **"Diseño geométrico de estructura de pavimento articulado por el método asshto-93 de 3 kilómetros que conecte la comunidad Escamequita con la carretera Costanera, en el departamento de Rivas."** elaborado por los bachilleres: Larry José Carrasco Ulloa , Cristhian Javier Pérez Menocal , Alvin José Matamoros Jarquín; ha concluido satisfactoriamente y doy mi aprobación para su presentación y defensa ante el tribunal examinador para cumplir con el reglamento académico vigente.

Sin más a que hacer referencia, en espera programación, me despido deseándole éxito en sus labores.

Atentamente,

M.Sc. Ing. José Antonio Hernández H.
Tutor

CC: Archivo.

Área de Conocimiento
Arquitectura y Construcción

Managua, Nicaragua, martes 16 de diciembre de 2025
REF/CULM.EST/TFCE/CIV/017-2025

Cristhian Javier Pérez Menocal
Alvin José Matamoros Jarquín
Larry José Carrasco Ulloa
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 GEOMÉTRICO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL MÉTODO ASSTHO -93 DE 3 KILÓMETROS QUE CONECTE LA COMUNIDAD DE ESCAMEQUITA CON LA CARRETERA COSTANERA, EN EL DEPARTAMENTO DE RIVAS"** ha sido aprobado y se le ha asignado como Tutor(a) al (a la) **MSc. José Antonio Hernández Hernández.**

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:

a) 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.
b) Presentar al tutor ***semanalmente*** los avances obtenidos en el proceso de ejecución conforme el cronograma.
c) Cumplir con al menos el 90% de asistencia en los encuentros programados con el tutor asignado.
d) 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 Carolina Galán Galtán
Directora

Cc. Expediente Culminación de Estudios

1 INTRODUCCIÓN 1
2 ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL 2
2.1 MARCO LEGAL 5
2.2 NORMATIVA TECNICA Y PRINCIPIOS DE INGENIERIA 5
3 OBJETIVOS 6
3.1 OBJETIVO GENERAL 6
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 7
5 FUNDAMENTOS TÉCNICOS 8
5.1 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS. 8
5.2 INGENIERÍA DE TRÁNSITO 9
5.3. ESTUDIO DE SUELOS 11
5.4 ESTUDIO DE PAVIMENTO 13
5.5 DISEÑO GEOMÉTRICO 14
6 METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN 18
6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 18
6.2 MÉTODOS DE INSTRUMENTO DE RECOPILACIÓN DE DATOS 18
6.3 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 19
6.4 ESTUDIO DE TRÁNSITO 19
6.5 ESTUDIOS DE SUELO 20
6.6 DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 20
6.7 DISEÑO GEOMÉTRICO 20
7 RESULTADOS 21
7.1 MACRO LOCALIZACIÓN Y MICRO LOCALIZACIÓN 21
7.2 ESTUDIO TOPOGRÁFICO. 23
7.3 ESTUDIO DE TRÁNSITO 26
 PERIODO DE DISEÑO 37
7.4 ESTUDIO DE SUELO 44

7.5 DISEÑO DE PAVIMENTO 51
CÁLCULO DE ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 57
7.6 DISEÑO GEOMÉTRICO 61
PARÁMETROS GEOMÉTRICOS PARA EL DISEÑO 61
9. CONCLUSIONES 80
10 RECOMENDACIONES 82
11. REFERENCIAS 83
12. ANEXOS I

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la infraestructura vial constituye un eje estratégico para el progreso económico y social de los países en vías de desarrollo, ya que facilita la movilidad, fomenta la competitividad y mejora la calidad de vida de la población. En Nicaragua, la red vial ha experimentado un crecimiento importante en las últimas décadas, impulsado por proyectos nacionales como la Carretera Costanera, cuyo objetivo es conectar comunidades costeras y promover el turismo y el comercio regional. Este contexto evidencia la necesidad de aplicar soluciones técnicas viables y sostenibles en zonas rurales y costeras, donde la transitabilidad se ve limitada por las condiciones del terreno y del clima.

El uso de pavimentos articulados, constituidos principalmente por adoquines de concreto, se ha consolidado como una alternativa constructiva de gran aplicación en Nicaragua, debido a su durabilidad, facilidad de ejecución y bajo costo de mantenimiento en comparación con los pavimentos semirrígido. Su empleo en proyectos urbanos y rurales ha demostrado beneficios técnicos y socioeconómicos, lo cual lo convierte en una opción pertinente para comunidades que requieren accesibilidad y resistencia frente a cargas de tránsito ligero y medio.

En este marco, el presente estudio se centra en el diseño geométrico y estructural de un pavimento articulado, aplicando el método AASHTO-93, para un tramo de 3 kilómetros que conectará la comunidad Escamequita con la Carretera Costanera, en el departamento de Rivas. Para ello, se integran análisis topográficos, de tránsito y de suelos, así como la normativa técnica nacional e internacional que rige el diseño vial. El trabajo busca aportar una propuesta académica y técnica que contribuya a la mejora de la infraestructura local, fortaleciendo la conectividad, la seguridad vial y el desarrollo socioeconómico de la región.

2 ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL

En Centroamérica, se han desarrollado esfuerzos para adaptar los métodos de diseño de pavimentos a las condiciones tropicales y suelos de baja capacidad portante. En este sentido, Loría-Salazar (2012) destaca que el Manual Centroamericano de Construcción de Carreteras y Puentes (CA 2000) incorporó sistemas de diseño basados en AASHTO y el uso de mezclas asfálticas con clasificación Performance Graded, lo cual permitió una mejor adecuación a las condiciones climáticas de la región.

En Nicaragua, los estudios sobre la red vial han puesto de manifiesto la necesidad de emplear alternativas sostenibles y de bajo costo en la construcción y mantenimiento de carreteras. Martínez (2013) señala que los pavimentos rígidos y articulados representan una solución viable para caminos de bajo y medio tránsito, ya que presentan mayor durabilidad y menores costos de conservación en comparación con los pavimentos flexibles. Asimismo, destaca que el análisis de ciclo de vida y la aplicación de metodologías como AASHTO-93 permiten optimizar los recursos disponibles y garantizar soluciones técnicas adaptadas a las condiciones económicas y sociales del país.

En la ingeniería de la construcción se cuenta con un conjunto de especificaciones técnicas establecidas para normalizar la calidad de los materiales y la realización de los ensayos de laboratorio y determina su aplicación en la construcción de la obra. Para realizar correctamente un estudio de materiales, es indispensable, sin duda, conocer detalladamente los parámetros que lo orientan. En la búsqueda de regular la utilización de los materiales de construcción y no poner en riesgo la funcionalidad, se han creado normas internacionales que indican el procedimiento para realizar el análisis de suelos en el laboratorio.

Existen reglamentos y manuales regionales y nacionales que encaminan a planificar, construir, mejorar, mantener y fortalecer la red vial, reduciendo su vulnerabilidad ante los desastres naturales; tal es el caso de la ley Nicaragüense, ley No. 05021-2002, „"Normas técnicas para el aprovechamiento de los bancos de materiales de préstamos para la construcción" y las "Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes (NIC-200)", éste dedica un capítulo a las especificaciones de Calidad de los materiales y es usado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) para construcción y rehabilitación de caminos, carreteras y puentes.

También se tomó en cuenta el "Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos", el cual contribuye a construir mejores y más durables superficies de rodaduras de las carreteras desafiando las nuevas tecnologías, y hace especial énfasis en controlar las propiedades de los materiales. Las dos últimas normativas mencionadas anteriormente son eficaces e importantes, pero en cuanto a la elaboración de ensayes de materiales, ambas se basan en los enunciados y disposiciones de dos normas internacionales: La ASTM y la AASHTO, cuyas especificaciones y procedimientos serán tomadas directamente para la realización de las pruebas de laboratorio en este estudio.

En Nicaragua, los estudios sobre la red vial han puesto de manifiesto la necesidad de emplear alternativas sostenibles y de bajo costo en la construcción y mantenimiento de carreteras. Martínez (2013) señala que los pavimentos rígidos y articulados representan una solución viable para caminos de bajo y medio tránsito, ya que presentan mayor durabilidad y menores costos de conservación en comparación con los pavimentos flexibles. Asimismo, destaca que el análisis de ciclo de vida y la aplicación de metodologías como AASHTO-93 permiten optimizar los recursos disponibles y garantizar soluciones técnicas adaptadas a las condiciones económicas y sociales del país.

En el contexto del departamento de Rivas y su litoral pacífico, la Carretera Costanera constituye un antecedente clave para respaldar estudios de diseño vial locales. Este megaproyecto aspira a conectar comunidades costeras y mejorar la accesibilidad a playas, comercio y turismo.

La ejecución de tipos de estructuras como puentes y elementos de drenaje en zonas costeras sugiere retos técnicos similares a los que pueden enfrentarse en el diseño de pavimentos articulados, en cuanto a suelo, manejo de aguas y durabilidad.

2.1 MARCO LEGAL

- **Ley No. 524 (Ley general de transporte terrestre):** Establece los lineamientos para la planificación, construcción, y mantenimiento de las vías. publicas.

- **Decreto legislativo No. 46 (Ley del derecho de vía):** Define el espacio necesario para caminos y calles, estableciendo anchos mínimos

2.2 NORMATIVA TECNICA Y PRINCIPIOS DE INGENIERIA

- **Anuario de aforos de tráfico 2020:** Es el documento publicado por el ministerio de transporte e infraestructura (MTI) donde podremos obtener datos tales como el flujo, volumen y tipo de tránsito con el propósito de identificar el tipo de diseño vial a utilizar.

- **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (AASHTO-93)**: Normativa utilizada para determinar las distintas capas que conforman el diseño de estructura de pavimento basado en el TPDA.

- **Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial (SIECA, 3ª Edición, 2011):** Normativas regional utilizada en Centroamérica para el diseño de estructuras de pavimento, y normativa principal con la cual se desarrollará el tema.

- **Ingeniería de Transito Rafael Cal y Mayor Reyes:** Considerado el libro guía de la ingeniería de tránsito define los elementos de tránsito, flujo vehicular, capacidad vial, niveles de servicio, seguridad y demás puntos importantes a tratar en el diseño de una carretera.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Realizar el diseño geométrico estructural de pavimento articulado por el método asshto-93 de 3 kilómetros que conecte la comunidad Escamequita con la carretera costanera, en el departamento de Rivas.

3.2 Objetivos Específicos

- Procesar el estudio topográfico proporcionado por el consorcio Edicro-Concremat-Procon que permita determinar el relieve del terreno.

- Ejecutar un estudio de tránsito mediante un aforo manual aplicando la metodología del anuario de aforos de tráfico MTI (2020) que permita el cálculo del TPDA y ejes equivalentes para su diseño.

- Analizar el estudio de suelo proporcionado por el laboratorio del consorcio Edicro-Concremat-Procon que permita la definición del uso del suelo en las distintas capas del pavimento en base a la NIC 2019.

- Calcular los espesores de la estructura de pavimento articulado por el método AASHTO-93.

- Diseñar el tramo en estudio aplicando la normativa de diseño geométrico con enfoque en gestión de riesgo y seguridad vial (SIECA, 2011) utilizando el programa CIVIL 3D.

4 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El diseño geométrico y diseño de pavimento es un proyecto de carácter técnico, enfocado en la planificación y definición de la geometría de una vía.

El proyecto comprende el diseño geométrico y la estructura de pavimento de un tramo de carreta que conectara la comunidad de Escamequita con la carretera la costanera del municipio de San Juan del Sur del departamento de Rivas.

La comunidad tiene un potencial de crecimiento por la conexión con una carretera que tiene un potencial de crecimiento turístico por estar cerca de las playas principales del sur del País. También la carretera permitirá un mayor crecimiento en cuanto a la movilización de personas y producción de la comunidad.

El tramo existente es un camino de tierra de todo tiempo, pero por las características topográficas se hace necesario realizar el diseño geométrico del proyecto; tiene como punto de inicio las coordenadas UTM Este 629778.60 y Norte 1237914.00 y punto final con coordenadas UTM Este 629673.98y N 1240138.12.

Para ambos diseños se hace necesario conocer considerado las condiciones topográficas del terreno, el volumen y tipo de tránsito proyectado, el tipo de suelo existente en la línea del tramo y bancos de materiales, así como los criterios técnicos establecidos en la normativa vial vigente, con el objetivo de garantizar un diseño que establezca los criterios mínimos para su diseño.

Se utilizará el programa Civil 3D para el procesamiento de la información y el diseño geométrico utilizando las normas de diseño SIECA 2011.

5 FUNDAMENTOS TÉCNICOS

Topografía: Es la ciencia, el arte y la tecnología para encontrar o determinar las posiciones relativas de los puntos situados por encima de la superficie de la tierra, sobre dicha superficie y debajo de ella. La disciplina que comprende todos los métodos para medir y recopilar información física acerca de la tierra. **(Wolf, 2016, pág. 1)**

5.1 Levantamientos topográficos.

Los levantamientos topográficos se clasifican en dos categorías generales: geodésicos y planos. La distinción principal reside en las hipótesis en las que se basan los cálculos, aunque las mediciones de campo para los levantamientos geodésicos se efectúan normalmente con mayor precisión. (Wolf, 2016, pág. 7)

Sistemas de referencia de medición.

Los sistemas de referencia permiten definir de forma precisa y consistente la posición de los puntos medidos en un levantamiento topográfico. Son la base para que los datos sean comparables, repetibles y representables en planos y mapas.

Para que las mediciones sean coherentes, se utilizan:

- Sistema de coordenadas planas (X, Y).
- Sistema de coordenadas altimétricas (Z o cota).
- Datum y proyecciones cartográficas (ej. UTM).

Instrumentos utilizados en el levantamiento topográficos.

Los más utilizados son:

- Cinta métrica
- Brújula
- Nivel automático
- Teodolito
- Estación total
- GPS / GNSS
- Jalones, miras y prismas

5.2 Ingeniería de Tránsito

Es aquella fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por las calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte. (Reyes, 1994, pág. 29)

- **Volumen de tránsito**

Se define como el número de vehículos que pasan por un punto específico de una vía durante un período determinado. Se expresa como:

$v=N/T$ (Ec. 1)

Donde
v es el volumen de tránsito, N es el número de vehículos y
T es el intervalo de tiempo.

Tránsito Promedio Diario (TPD)

El TPD es el volumen total de vehículos que circulan en un período mayor a un día e inferior a un año, dividido entre el número de días de dicho período.

$TPD=T/d$ Ec. 2)
Donde
T es el volumen total y d es el número de días.

Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado. (Infraestructura, 2021, pág. 13)

Identificación de Vectores de correspondencia

Se adoptó como término “vector de correspondencia”, para designar la potencialidad con la cual se manifieste la afinidad que pueda existir entre una estación de conteo largo con una estación de conteo corto. Para todas las estaciones, se identifican vectores con incidencia y rangos de variaciones en las características del tráfico:

- Vector Geográfico- R
- Volumen Total del Tráfico- V
- Porcentaje de Vehículos Pesados en el Volumen Total Diario- C
- Razón entre el Total de Vehículos tipo Cx/Tx y el total de vehículos pesados-T

(Infraestructura, 2021, pág. 6)

Estaciones de Mayor Cobertura (EMC)

Se definen como estaciones de conteos continuos en los 365 días al año con conteos clasificados de 24 horas por día, sin embargo, en los últimos años por razón de una mejor distribución en la logística se dividió el período en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 veces al año, por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) que no es más que el promedio de los períodos. (Infraestructura, 2021, pág. 8)

Estaciones de Corta Duración (ECD)

Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA.

Estación de Conteo Sumaria (ECS)

Son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA. Tanto para las estaciones de Corta Duración y de Conteo Sumaria, se realizarán conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m.– 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (martes, miércoles y jueves). (Infraestructura, 2021, pág. 8)

Dependencia de Estaciones

La dependencia es identificar para una estación de conteo de Corta Duración o Conteo Sumaria cuál es la estación de mayor cobertura correspondiente, partiendo del perfil de variación en el flujo vehicular que presente mayor grado de similitud posible. (Infraestructura, 2021, pág. 9)

Factores de Ajustes

Para estimar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos en las estaciones de Corta Duración o Conteo Sumaria, se aplicarán los factores correspondientes de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en las estaciones de mayor cobertura. Partiendo de la dependencia de las Estaciones de Corta Duración o Conteo Sumaria. (Infraestructura, 2021, pág. 9).

Proyección Futura de las Demandas del Tránsito

Una carretera nueva o la mejora de una carretera existente, debe diseñarse para acomodar el tránsito que pueda ocurrir durante el período de diseño, sometida a un mantenimiento razonable. Es difícil definir el período de diseño de una carretera porque los elementos principales pueden tener diferentes períodos de vida física. (Leclair, 2011, pág. 52)

5.3. Estudio de Suelos

El estudio de suelos es un conjunto de actividades esenciales para identificar, clasificar y evaluar las propiedades físicas y mecánicas del terreno. Su objetivo es garantizar la seguridad, estabilidad y economía de las obras de infraestructura, sirviendo de base para el diseño de cimentaciones, pavimentos y terraplenes (Das, 2015, pág. 15)).

- **Clasificación de suelos**

La clasificación agrupa los suelos según sus características granulométricas, plásticas y mecánicas para definir su aptitud constructiva. Los sistemas más

empleados son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el Sistema AASHTO, fundamentales en ingeniería de pavimentos (AASHTO, 1993; ASTM D2487-17).

- **Capacidad de soporte del suelo (CBR)**

La capacidad de soporte es la resistencia del suelo a las cargas de una estructura o pavimento. En el ámbito vial, se mide mediante el ensayo CBR (California Bearing Ratio), que compara la resistencia del suelo con un material estándar (Norma ASTM D1883-16; SIECA, 2011).

- **Granulometría**

Estudia la distribución de tamaños de partículas (gravas, arenas, limos, arcillas). Es fundamental para determinar la estabilidad y capacidad de carga. El SUCS indica que los suelos granulares tienen mejor drenaje y resistencia, mientras que los finos presentan problemas de expansión/contracción (Coduto, 1999).

- **Límites de Consistencia (Límites de Atterberg)**

Determinan el comportamiento del suelo en función de su contenido de agua:

Límite líquido (LL): Contenido de humedad donde el suelo pasa de estado plástico a líquido.

Límite plástico (LP): Contenido de humedad donde el suelo puede moldearse sin romperse.

Índice de plasticidad (IP): Diferencia entre LL y LP, indica la sensibilidad del suelo a cambios de humedad (Terzaghi & Peck, 1948).

- **Humedad Natural**

Cantidad de agua presente en los poros del suelo. Afecta directamente su resistencia y capacidad de compactación. Alta humedad puede generar inestabilidad y asentamientos) (Das, 2015, pág. 25).

- **Compactación**

Proceso de reducción de vacíos del suelo mediante energía mecánica. La prueba Proctor determina la densidad máxima y el contenido óptimo de humedad. Una

compactación adecuada mejora la resistencia del suelo y reduce la permeabilidad, aspectos cruciales en la construcción de carreteras (Coduto, 1999).

5.4 Estudio de pavimento

- Pavimento flexible

Los pavimentos flexibles se caracterizan por ser sistemas multicapa con las capas de mejor calidad cerca de la superficie donde las tensiones son mayores. La capa superior es de concreto asfáltico. Un pavimento flexible trabaja distribuyendo la carga hasta que llegue a un nivel aceptable para la subrasante.

- **Factor de distribución por carril**

El carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESALs. Para un camino de dos carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza en ese carril. En este caso LD = 1. (Cordo, 2006, pág. 57)

- **El módulo resiliente en el diseño de pavimentos**

En la Guía de diseño AASHTO 1993, el módulo resiliente reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base. En el método AASHTO deben usarse valores medios resultantes de los ensayos de laboratorio dado que las incertidumbres son tomadas en cuenta en la confiabilidad R. (Cordo, 2006, pág. 76).

- **Coeficientes estructurales o de capa**

Son coeficientes que están relacionados con parámetros resistentes de bases granulares, subbases granulares, bases tratadas con asfalto y bases tratadas con cemento. Conforme a estos coeficientes, se puede proceder al diseño de un paquete estructural para un pavimento flexible. (Cordo, 2006, pág. 117)

- **Selección del nivel de confiabilidad**

La selección del nivel apropiado de confiabilidad para el diseño de un pavimento está dictada por el uso esperado de ese pavimento. Un subdimensionado de un pavimento tiene consecuencias más graves para un pavimento en el cual se espera que lleve un gran volumen de tránsito (por ejemplo, una autopista urbana)

que un pavimento que experimentará un bajo volumen de tránsito. (Cordo, 2006, pág. 136)

- **Consideraciones de drenaje en el diseño de pavimentos según AASHTO**

Un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas. (Cordo, 2006, pág. 148)

5.5 Diseño Geométrico

Cárdenas (2013) define el diseño geométrico de carretas como el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En este sentido, la carretera queda geométricamente definida por el trazado de su eje en planta o alineamiento horizontal y en perfil o alineamiento vertical (p. 37).

- **Clasificación funcional**

La clasificación funcional es el proceso por el cual las carreteras y calles son agrupadas en clases, o sistemas, de acuerdo a las características de servicio al tráfico que se intente proveer (SIECA, 2011, p. 23).

Nota. Adaptado de *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras* (p. 33), por Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2011.

- **Velocidad de diseño**

La Velocidad de diseño o Velocidad directriz, es la velocidad seleccionada para determinar las características geométricas de la carretera. La velocidad de diseño asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera (SIECA, 2011, p. 55).

Tabla 1: *Velocidad de diseño SIECA 2011*

Clasificación Funcional	Velocidad (KPH)
Autopistas y Carreteras Arteriales Principales en Áreas Rurales	110
Carreteras Colectoras de Carriles Múltiples en Áreas Suburbanas y Rurales	80 – 100
Carreteras Colectoras	30 – 80
Carreteras Vecinales	20 – 60

Nota. Adaptado de *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras* (p. 56), por Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2011.

- **Vehículo de diseño**

En el diseño de cualquier obra vial, el diseñador debe considerar el vehículo más grande, que probablemente use la obra con mayor frecuencia, o un vehículo con características especiales que deben tomarse en cuenta en el dimensionamiento de la vía (SIECA, 2011, p. 38).

- **Distancia de visibilidad de parada**

Según SIECA (2011), se define como la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo cuando surge ante él una situación de peligro (p. 75).

“La distancia de parada es la distancia mínima con que debe diseñarse la geometría de una carretera, cualquiera que sea su tipo” (SIECA, 2011, p.75).

Tabla 2: *Distancia de visibilidad de parada horizontal*

Velocidad (KPH)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Distancia de parada (m)	20	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250

Nota. Adaptado de *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras* (p. 77), por Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2011.

- **Alineamiento horizontal**

Cárdenas (2013) define el alineamiento horizontal como la proyección sobre un plano horizontal de su eje real o espacial, constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes, enlazados entre sí por curvas" (p. 48).

- ✓ **Curvas circulares simples**

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales" (Cárdenas, 2013, p.38).

- ✓ **Curvas espirales de transición**

La curva espiral de transición es un elemento geométrico utilizado para introducir la curva circular principal, esto a través de su radio de curvatura que decrece desde el infinito en la tangente hasta alcanzar el radio de la curva circular. Aunque el uso de curvas en espiral puede llegar a mejorar la apariencia del trazado, tanto AASHTO (2011), como SIECA (2011), coinciden en que su aporte a la seguridad no es esencial.

"No hay evidencia definitiva de que las curvas de transición sean esenciales para la operación segura de la calzada y, como resultado, muchos organismos no las utilizan" (AASHTO, 2011, p. 205).

- ✓ **Radio mínimo**

Según SIECA (2011), el radio mínimo se define como “el valor limitante de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relaciona con el peralte máximo y la máxima fricción lateral seleccionada para el diseño” (SIECA, 2011, pág. 87)

El radio mínimo puede ser determinado por medio de la siguiente ecuación:

$$R_{mín} = \frac{V^2}{127(e_{máx} + f_{máx})}$$ Ec-10. Tomada de (SIECA, 2011)

Donde:

$R_{mín}$: Radio mínimo de curva, m.

$e_{máx}$: Tasa de sobreelevación máxima, en fracción decimal.

$f_{máx}$: Factor de fricción lateral.

V: Velocidad de diseño, en km/h.

- ✓ **Peralte**

Al momento en que un vehículo circula en una curva cerrada y con determinada velocidad se hace necesaria la aplicación de una sobreelevación o peralte que le permita contrarrestar la fuerza centrífuga (Cárdenas, 2013, p. 225).

El uso de curvas con radios más grandes que el mínimo permite que el peralte, la fricción lateral, o ambas, tengan valores inferiores a sus máximos respectivos (AASHTO, 2011, p. 165).

6 METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

6.1 Tipo de investigación

La presente investigación es cuantitativa ya que utilizaremos la recolección de datos numéricos según (Metodología de la investigación, Sexta edición, 2014) es un estudio explicativo con carácter evaluativo. Su principal producto estará relacionado con la propuesta de mantenimiento del tramo en análisis.

Para cumplir con estos objetivos, se sugiere realizar un estudio que integre trabajo de campo, como la observación de fenómenos y la recolección de datos estadísticos, junto con un análisis detallado de la situación actual. El proceso combinará metodologías empíricas con enfoques especializados para ofrecer soluciones concretas.

- **Descripción de la fuente de datos**

La fuente de datos es mixta, se usarán fuentes primarias a través de las observaciones y de los métodos de recopilación de los datos en el municipio de estudio y secundaria a través de la revisión de manuales de diseño geométrico y normas de diseño de pavimentos.

6.2 Métodos de instrumento de recopilación de datos

Para el desarrollo de la monografía, se seleccionaron métodos e instrumentos de recopilación de datos acordes a la naturaleza aplicada de la investigación y a la necesidad de integrar tanto información técnica como normativa.

Se recopilaron documentos oficiales como el Manual Centroamericano de Normas de Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011), la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO-93, y el anuario de aforos de tráfico 2020 del MTI relacionados con diseño de pavimentos. Estos insumos permiten fundamentar la aplicación de parámetros normativos en el análisis y diseño. Se recopiló información de empresa de los estudios previamente realizados.

6.3 Levantamiento topográfico

La información de topografía fue proporcionada por la empresa **GRUPO INTEGRA** Latinoamérica en la cual se procedió a la revisión verificando que el levantamiento consta de 901 puntos con su formato respectivo como su numeración, coordenadas Norte, Este, su elevación y su descripción.

Se procesará los puntos en el programa civil 3D para su posterior análisis para determinación del tipo de terreno y características físicas del tramo en estudio.

Con la determinación del tipo de terreno se procederá a su calificación con el Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras.

6.4 Estudio de tránsito

El estudio de tránsito se llevará a cabo a través de un aforo manual en un punto del tramo, aplicando la metodología del anuario de aforos de tráfico 2020. El conteo se realizará en día de semana, por tres días consecutivos, martes miércoles y jueves durante 12 horas al día de 6:00 a.m. a 6:00 p.m.

Una vez recopilada la información del aforo, se procesará en Microsoft Excel de tal forma que permita el cálculo del del tránsito promedio diario (TPD), con la composición vehicular y de acuerdo a la ubicación del tramo se seleccionará una estación de mayor cobertura (EMC) y con ella se selecciona los factores de ajustes para la expasion de tráfico y el cálculo del el TPDA.

Se seleccionará del aforo el vehículo de diseño, el cálculo de tasas de crecimiento con información de INIDE y del aforo, cálculo de tránsito de diseño y cargas de ejes equivalentes, estas variables serán útil para el diseño.

6.5 Estudios de suelo

Se realizará un análisis de la información del estudio proporcionado por la empresa **GRUPO INTEGRA** Latinoamérica, la información consta de los sondeos realizados sobre la línea del tramo y sondeos a cielo abierto de materiales de banco.

Con la información se procederá a calcular el CBR de diseño.

6.6 Diseño de estructura de pavimento

El diseño de la estructura de pavimento se llevará a cabo en base a la norma AASHTO 93. Para ello se definirán los parámetros de diseño retomados del estudio de tránsito como lo es el cálculo de los ejes equivalentes a partir de los datos del tránsito de diseño. Y las características de los suelos en subrasante, base y subbase, cumpliendo con las especificaciones.

Con los datos anteriormente expuestos se utilizarán los nomogramas para obtener los coeficientes estructurales de cada capa del pavimento, los cuales permitirán determinar los módulos resilientes.

Una vez definidos los módulos resilientes de cada capa, se utilizará el ábaco de diseño de la AASHTO 93 para poder obtener los números estructurales. Finalmente se realizará la comprobación de los números estructurales para validar los resultados.

6.7 Diseño geométrico

El diseño geométrico del tramo se llevará a cabo en el software civil 3d 2025, considerando la normativa para el diseño geométrico con enfoque en gestión de riesgo y seguridad vial (SIECA, 2011). Se definirán los parámetros de diseño necesarios para realizar el modelado, como lo es la velocidad de diseño, peralte máximo, coeficiente de fricción, tipo de terreno, vehículo de diseño. En base a estos parámetros se diseñará el alineamiento horizontal y vertical del tramo, considerando el diseño adecuado de curvas horizontales y verticales. Finalmente, una vez realizado el diseño, se elaborarán planos plantas perfiles y de secciones transversales

7 RESULTADOS

7.1 Macro localización y Micro localización.

El proyecto está localizado en el municipio de San Juan del Sur, departamento de Rivas.

Imagen 1: Macro localización.

Fuente: Google Earth

El tramo en estudio está ubicado en la comunidad de Escamequita al norte de la carretera costanera.

Imagen 2: Micro localización.

Fuente: Google Earht

7.2 Estudio Topográfico.

La topografía es la disciplina que se encarga de representar y medir la superficie de la tierra o de un área en específico, para dicho procedimiento se emplean dos medidas importantes la distancia y la dirección para determinar un punto en las 3 dimensiones, la determinar la distancia se hace uso de la unidad de medida del sistema métrico decimal. Para el estudio topográfico del tamo en estudio se proporcionó la información por la empresa **GRUPO INTEGRA** Latinoamérica.

- **Levantamiento Topográfico**

El levantamiento topográfico consta de los puntos de un levantamiento aplicando el método de perfil longitudinal y secciones transversales, como se explica en con lo cual obtuvieron los objetivos datos del proyecto el levantamiento fue proporcionado por estudio. En la tabla 12 se presentarán muestra de los puntos con sus características.

Tabla 3: Muestra de los puntos levantados

PUNTO	ESTE	NORTE	ELEVACION	DESCRIPCION
1	629775.384	1237919.23	12.9117	ASFALTO
2	629770.56	1237920.71	12.7907	ASFALTO
3	629767.677	1237922.89	12.9441	CERCO
4	629780.891	1237916.42	12.7279	CERCO
5	629788.169	1237913.23	12.821	SECC
6	629796.04	1237909.51	12.7897	SECC
7	629803.665	1237928.14	13.005	CERCO
8	629796.427	1237930.89	12.8753	SECC
9	629787.675	1237935.8	12.7364	HBR.DR
10	629784.766	1237937.5	12.8774	LC
11	629781.287	1237939.99	12.8504	HBR.QS
12	629779.449	1237941.65	12.8131	SECC

Fuente: Elaboración Propia.

- **Clasificación del tipo de terreno según las pendientes.**

Para la clasificación del tipo de terreno se seleccionaron puntos del levantamiento a lo largo de línea del eje central con sus respectivas elevaciones y distancias, esto permitirá el cálculo de pendientes y su clasificación según el Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con el cuadro 3.15 de la página 116.

Tabla 4: Clasificación de terreno

Tipo de Terreno	Rango de Pendientes P(%)
Llano o Plano	$P \leq 5$
Ondulado	$5 > P \leq 15$
Montañoso	$15 > P \geq 30$

Fuente: Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011. Cuadro 3.15 pág. 116

Tabla 5: Cálculo de pendiente del terreno natural.

PUNTO	ESTE	NORTE	ELEVACION	DESCRIPCION	DISTANCIA	PENDIENTE
1	629784.766	1237937.496	12.877	LC		
2	629796.072	1237955.710	12.884	LC	21.43	0.03%
3	629809.992	1237971.038	12.848	LC	20.705	-0.17%
4	629826.515	1237984.442	13.028	LC	21.276	0.85%
5	629843.596	1237989.004	13.001	LC	17.68	-0.15%
6	629863.385	1237992.966	13.039	LC	20.182	0.18%
7	629883.778	1237994.425	13.110	LC	19.965	0.36%
8	629903.708	1237993.237	13.297	LC	20.87	0.90%
9	629924.503	1237991.474	13.394	LC	21.206	0.45%
10	629945.687	1237990.507	13.557	LC	20.703	0.79%
11	629966.393	1237990.510	13.680	LC	20.426	0.60%
12	629986.805	1237989.765	13.881	LC	21.341	0.94%
13	630008.122	1237988.744	14.084	LC	21.833	0.93%
14	630029.954	1237988.960	14.357	LC	21.306	1.28%
15	630051.259	1237988.778	14.600	LC	22.075	1.10%
16	630073.334	1237988.800	14.875	LC	20.449	1.35%
17	630093.738	1237987.442	15.100	LC	41.111	0.55%
18	630134.658	1237983.480	15.930	LC	21.683	3.83%
19	630156.233	1237981.319	16.154	LC	19.745	1.13%
20	630175.977	1237981.173	16.122	LC	21.984	-0.14%
21	630197.849	1237983.388	16.150	LC	20.201	0.14%
22	630217.250	1237989.017	16.254	LC	20.048	0.52%
23	630236.388	1237994.987	16.283	LC	21.38	0.14%
24	630256.478	1238002.301	15.940	LC	20.455	-1.68%
25	630275.797	1238009.023	15.417	LC	20.636	-2.54%

- **Procesamiento de la información.**

Los puntos del levantamiento fueron procesado a través del programa Civil 3D. En la imagen se muestra la información y que posteriormente en el estudio geométrico y elementos de diseño será procesado para su diseño.

Imagen 3: Puntos del levantamiento.

Fuente: Elaboración propia a través del programa Autodesk Civil 3D

7.3 Estudio de Tránsito

- **Recopilación de datos**

Se realizó un aforo vehicular con el propósito de determinar la composición vehicular en la zona de estudio, el conteo se realizó durante 3 días consecutivos del martes 20 de enero al jueves 22 de enero de 2026, la duración fue doce horas continúas iniciando a las 6:00 a.m. y finalizando a las 6:00 p.m. este conteo se realizó en la Est. 0+000 ya que está en la entrada a la comunidad El Jocote donde se puede determinar con precisión el tráfico que ingresa al tramo en estudio.

En la tabla 6 se presentan el resumen delo datos obtenidos en ambos sentidos, se ha determinado el tránsito promedio diario sumando el conteo de los tres días y dividiéndolo entre 3, también de muestra el porcentaje de la composición vehicular.

Tabla 6: Resumen de los datos de aforo.

Tipología	**Vehículos Livianos**			**Vehículo de pasajeros**	**Vehículo de pesados**	
Dias	**Motos**	**JEEP**	**Camioneta**	**Bus**	**C2**	**Total**
Martes	55	6	32	6	4	103
Miércoles	53	7	35	6	2	103
Jueves	58	5	30	6	3	102
Total	166	18	97	18	9	308
TPD	56	6	33	6	3	104
%Tipología	53.85%	5.77%	31.73%	5.77%	2.88%	100.00%
Composición	% Vehículos livianos			% Vehículos pasajeros	% Vehículos carga	
	91.35%			5.77%	2.88%	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

- **Cálculo del tránsito promedio diario (TPDA).**

Posterior a tener los resultados del aforo vehicular se deben de aplicar los factores de ajuste para la determinación del TPDA, el primer paso es seleccionar el vector geográfico de la región más cercana al tramo en estudio, dado que el proyecto se ubica en el municipio de San Juan del Sur se selecciona el vector R1 que pertenece a la región sur como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7: Selección del vector geográfico.

N°.	Vector	Código	Nombre de Región	Departamentos
1	**R1**	**PS**	Pacífico Sur	Masaya, Granada, Carazo, Rivas
2	**R2**	**PN**	Pacífico Norte	León, Chinandega, Managua
3	**R3**	**CN**	Central Norte	Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales
4	**R4**	**AS**	Atlántico Sur	Región Autónoma del Caribe Sur (RACS), Río San Juan
5	**R5**	**AN**	Atlántico Norte	Región Autónoma del Caribe Norte (RACN)

El siguiente paso es seleccionar la EMC y una estación de conteo sumario cercano al tramo en estudio dado que el transito promedio diario anual es de 104 vehículos/día con un tráfico menor a los 300 vehículos por día.

La estación de mayor cobertura (EMC) más cercana la tramo en estudio corresponde la estación 401 correspondiente a Masaya – Granada, pero como dentro de esta estación no se encontró ninguna estación de conteo sumario que presentara similitud a la composición vehicular del aforo, se procedió a buscar una estación en el anuario que cumpliera las características del aforo, obteniendo la estación Sacali- San Gabriel que corresponde la es EMC 1802 San Marcos - Masatepe. En la tabla 8 se muestra la ECS seleccionada perteneciente a la NIC 46.

Tabla 8: Estación de conteo sumario seleccionada.

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	AÑO	MOTOS	AUTOS	JEEP	CMTA.	BUS	LIV 2-5 TON	C2 5+TON	TPDA
345	NN-46	313	ECS	Sacacli-San Gabriel	2020	125	1	1	19	4	7	1	**159**
					2015	90	1	1	14	3	5	1	**115**
					2011	57		2	22	6	3	4	**94**
					2008	28	3	1	32	9	2	5	**80**
				EMC:1802	2002	10	4	8	19	7	1	4	**65**
				Tasa de crecimiento: 6.74%									
						Liv. 147				Pasaj. 4	Pesado 8		
						92%				3%	5%		

Fuente: Anuario de aforos de tráfico año 2020.

Una vez identificada la ECS se verifica que pertenece a la estación de mayor cobertura.

Tabla 9: Selección de la estación de Mayor cobertura.

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marcos - Masatepe	NN-38	3207	ECS	El Regadio - Los Encuentros (Sn Juan Limay)
	NN-39	121	ECS	Estelí - Rodeo Grande
	NN-40	4902 B	ECS	La Aceituna - Achuapa
	NN-41	4903	ECS	Petaquia - Saslale
	NN-43	3506	ECS	Emp. Chilamatillo - La Concordia
	NN-44	309	ECS	San Rafael del Norte - Los Chaguitones
	NN-45	3501	ECD	Emp. Santa Cruz - San Nicolas
	NN-46	119	ECS	La Trinidad - Sacaclí
	NN-46	313	ECS	Sacaclí - San Gabriel
	NN-48	310	ECS	Sisle -Santa Fé
	NN-49	4107	ECS	La Porrita - Sacramento
	NN-51	5704	ECS	Emp.Peñas Blancas - Abisinia

Fuente: ANUARIO DE AFOROS DE TRAFICO AÑO2020. Página 70.

- **Selección de los factores de ajustes.**

Dado que el aforo se realizó en el mes de enero se seleccionará los factores correspondientes al primer cuatrimestre de la estación 1802 correspondiente para el estudio.

Tabla 10: Factores de ajustes de la estación 1802.

Factores del primer cuatrimestre del año Enero - Abril

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx=<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1,34	1,29	1,18	1,25	1,23	1,14	1,38	1,15	1,20	1,21	1,00	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Factor Semana	0,95	0,96	1,00	0,97	0,92	0,93	0,89	0,91	0,83	0,86	1,00	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89
Factor Fin de Semana	1,15	1,11	0,99	1,08	1,30	1,22	1,44	1,33	2,07	1,68	1,00	1,69	1,00	1,00	1,00	1,00	1,48
Factor Expansión a TPDA	1,15	1,15	1,35	1,13	1,20	1,23	1,16	1,15	1,04	1,27	1,00	1,54	1,00	1,00	1,00	1,00	1,88

Fuente: ANUARIO DE AFOROS DE TRAFICO AÑO 2020. Página: 385

Con los volúmenes de tránsito diurno obtenidos mediante el aforo vehicular se determina el TPDA, multiplicando dichos valores por factores de ajuste que se encuentran establecidos en la estación de mayor cobertura seleccionada; 1802 San Marcos – Masatepe

Con las ecuaciones siguientes se determina el TPDA:

$$\mathrm{TPDA} = \mathrm{TP(D)}_{12\mathrm{hrs}} * \mathrm{Fd} * \mathrm{Fs} * \mathrm{Fe}$$

Donde:

$\mathrm{TP(D)}_{(12\mathrm{hrs})}$: Tránsito promedio diurno (12 horas)

Fd = Factor día.

Fs = Factor semana.

Fe= Factor expansión

Para motos:

TPDA = 56*1.34*0.95*1.15 = 82 motos/dia.

Tabla 11: Determinación del TPDA ajustado del tramo en estudio.

Tipología	**Vehículos Livianos**			**Vehículo de pasajeros**	**Vehículo pesados**	
Tipología	Motos	JEEP	Camioneta	Bus	C2	Total
TPD	56	6	33	6	3	104
Factor día	1.34	1.18	1.25	1.38	1.2	
Factor semana	0.95	1	0.97	0.93	0.83	
Fctor Expansión	1.15	1.35	1.13	1.23	1.04	
TPDA	**82**	**10**	**45**	**9**	**3**	**149**
%TPDA	55%	6%	30%	6%	2%	100%
Composición	92%			6%	2%	
	% Vehículos livianos			% Vehículos pasajeros	% Vehículos carga	

Fuente: Elaboración propia.

Proyección del Tránsito Promedio Diario Anual

El diseño del pavimento también requiere de un análisis que permita la estimación del tránsito a desarrollarse durante un lapso de tiempo, al cual se le denomina periodo de diseño. Para estimar las tasas de crecimiento se toma en consideración variables socioeconómicas y su composición, el crecimiento poblacional, producto interno bruto y el historial del tránsito en la zona según datos del MTI.

Para la determinación de las variables socioeconómicas fue necesario la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$\mathrm{Tc} = \left[\left(\frac{\mathrm{TPDAi}}{\mathrm{TPDA0}}\right)^{1/\mathrm{n}} - 1\right] * 100 \quad \text{(Para años discontinuos)} \qquad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDAi: Trafico promedio diario actual.

TPDA0: Trafico promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

$$\mathrm{TCn} = \left(\frac{\mathrm{TPDAn}}{\mathrm{TPDAn} - 1}\right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{(Para años continuos)} \qquad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

TCn: Tasa de crecimiento que se tenga en el periodo de análisis.

TPDAn: Trafico promedio diario del año en análisis.

TPDAn-1: Trafico promedio diario del año anterior.

n: Diferencia de años.

Una vez obtenidas las tasas de crecimiento de un año con otro se procede a aplicar la media geométrica aplicando la siguiente ecuación:

$$\mathrm{Tf} = \left[(\mathrm{TC1} * \mathrm{Tc2} \ldots \mathrm{Tcn})^{1/n} - 1\right] \quad \text{(Para años continuos)} \qquad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Tf: Tasa de crecimiento final

Tcn: Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica.

n: Cantidad de tasas de crecimiento.

$$\mathrm{Tc} = \left[\left(\frac{\mathrm{TPDAi}}{\mathrm{TPDA0}}\right)^{1/n} - 1\right] * 100 \quad \text{(Para años discontinuos)}$$ Ecuación 6

D onde:

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDAi: Trafico promedio diario actual.

TPDA0: Trafico promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

$$TCn = \left(\frac{TPDAn}{TPDAn-1}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Para años continuos})$$ Ecuación 7

Donde:

TCn: Tasa de crecimiento que se tenga en el periodo de análisis.

TPDAn: Trafico promedio diario del año en análisis.

TPDAn-1: Trafico promedio diario del año anterior.

n: Diferencia de años.

Una vez obtenidas las tasas de crecimiento de un año con otro se procede a aplicar la media geométrica aplicando la siguiente ecuación:

$$Tf = \left[(TC1 * Tc2 \ldots Tcn)^{1/n} - 1\right] \quad (\text{Para años continuos})$$ Ecuación 8

Donde:

Tf: Tasa de crecimiento final

Tcn: Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica.

n: Cantidad de tasas de crecimiento.

Determinación de la tasa de crecimiento de diseño.

- Tasa de crecimiento vehicular

De la estación de corta duración 306 que comprende San Sebastián de Yali – El tule código NIC-3, obtendremos los datos para determinar la tasa de crecimiento:

Tabla 12: Datos históricos del TPDA, (ECD).

AÑO	**TPDA**	TC
2020	**159**	
2015	**115**	**6.69**
2011	**94**	**5.17**
2008	**80**	**5.52**
2002	**65**	**3.52**
		5.23%

Fuente: Elaboración Propia.

- Tasa de crecimiento por consumo de combustible

Para determinar la tasa de crecimiento por consumo de combustible nos apoyaremos del Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2024, con énfasis en los combustibles consumidos por los distintos vehículos que conforman el volumen del TPDA:

Tabla 13: Tasa de consumo de combustible

Consumo período nacional 2010-2024		
Año	**Consumo de combustible (miles de barriles)**	**Tasa (%)**
2010	5,143.10	
2011	5,388.00	4.76%
2012	5,615.80	4.23%
2013	5,788.20	3.07%
2014	6,127.10	5.86%
2015	6,813.70	11.21%
2016	7,287.50	6.95%
2017	7,596.40	4.24%
2018	7,060.30	-7.06%
2019	7,267.10	2.93%
2020	7,210.10	-0.78%
2021	8,072.60	11.96%
2022	8,077.50	0.06%
2023	8,984.10	11.22%
2024	8,897.40	-0.97%
	Tasa Prom.	**4.01%**

Fuente: Elaboración Propia.

- Tasa de crecimiento del producto interno bruto (PIB)

Para determinar la tasa de crecimiento del PIB nos apoyaremos del Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2024.

Tabla 14: Tasa de crecimiento del PIB

Ingreso nacional bruto disponible real		
Año	**PIB (millones de córdobas)**	**Tasa(%)**
2010	130,416.30	
2011	138,654.20	6.32%
2012	147,661.40	6.50%
2013	154,936.80	4.93%
2014	162,351.30	4.79%
2015	170,131.60	4.79%
2016	177,894.90	4.56%
2017	186,133.60	4.63%
2018	179,873.30	-3.36%
2019	174,662.60	-2.90%
2020	170,756.20	-2.24%
2021	188,607.70	10.45%
2022	195,303.80	3.55%
2023	203,951.40	4.43%
2024	211,268.80	3.59%
	Tasa Prom.	4.81%

Fuente: Instituto Nacional de Información de Desarrollo de Nicaragua.

- Tasa de crecimiento poblacional

La tasa de crecimiento poblacional será calculada en base a los datos publicados por Instituto Nacional de Desarrollo (INIDE) del municipio **San Juan Del Sur** perteneciente al departamento de Rivas.

Tabla 15: Tasa de consumo de combustible

Crecimiento de población municipio San Juan del Sur		
Año	Población total	Tasa (%)
2008	15,347	
2009	15,405	0.38%
2010	15,449	0.29%
2011	15,467	0.12%
2012	15,553	0.56%
2013	15,607	0.35%
2014	15,660	0.34%
2015	15,711	0.33%
2016	15,762	0.32%
2017	15,811	0.31%
2018	15,860	0.31%
2019	15,907	0.30%
2020	15,953	0.29%
2021	15,997	0.28%
2022	16,040	0.27%
2023	16,082	0.26%
2024	16,123	0.25%
	Tasa Prom. (%)	**0.31%**

Fuente: Instituto Nacional de Información de Desarrollo de Nicaragua.

Tabla 16: Tasa de consumo de combustible

Crecimiento de población municipio Rivas		
Año	Población total	Tasa (%)
2006	44,143	
2007	44,518	0.85%
2008	44,887	0.83%
2009	45,169	0.63%
2010	45,525	0.79%
2011	45,911	0.85%
2012	50,684	10.40%
2013	51,186	0.99%
2014	51,691	0.99%
2015	52,196	0.98%
2016	52,702	0.97%
2017	53,208	0.96%
2018	53,714	0.95%
2019	54,221	0.94%
2020	54,727	0.93%
2021	55,233	0.92%
2022	55,739	0.92%
2023	56,244	0.91%
2024	56,749	0.90%
	Tasa Prom. (%)	0.90%

Fuente: Instituto Nacional de Información de Desarrollo de Nicaragua

Tasa de crecimiento de diseño

Con los datos obtenidos de las tasas de crecimiento del PIB, tasa de crecimiento poblacional, tasa de crecimiento del consumo de combustible y la tasa de crecimiento vehicular histórico determinaremos que la tasa de crecimiento para diseño es:

$$\mathrm{TC(Promedio)} = \frac{5.23\% + 4.01\% + 4.81\% + 0.31\%}{4} = 3.59\%$$

Tabla 17: Tasa crecimiento.

TASA DE CRECIMIENTO			
T.C. Vehicular	**T.C. Combustible**	**T.C. PIB**	**T.C. Poblacional**
5.23%	4.01%	4.81%	0.31%
3.59%			

Fuente: Elaboración Propia.

- **Periodo de Diseño**

Para determinar el periodo de diseño primero se establece su clasificación según el comportamiento vehicular actual, según el aforo que se realizó y aplicando los factores se obtuvo un TPDA de 149 vehículos/día lo cual clasifica como una carretera Local Rural (ver tabla 35, página 50 de este documento) debido a que el tramo en estudio solo conecta una comunidad alejada de las urbes más próximas y tráfico esta entre los rangos de 100 a 500 VPD; con estos datos se establece un periodo de diseño entre 10-20 años establecidos en el Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2011, Cap. 1; Pag. 33. Para el proyecto se seleccionó un **periodo de 15 años.**

Tabla 18: Periodos de diseño.

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Autopista Regional	20 - 40 años
Troncales Suburbanas	15 - 30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	**10 - 20 años**
Colectoras Rurales	

Fuente: Elaboración Propia.

- **Factor de Crecimiento**

Este factor se determina del periodo de diseño y la tasa de crecimiento vehicular calculada:

$$\mathrm{Fc} = 365 * \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right) \qquad Ecuacion\ 9$$

Donde:

FC: Factor de crecimiento.

i: Tasa de crecimiento vehicular

n: Periodo de diseño (15 años).

$$\mathrm{Fc} = 365 * \left(\frac{(1+0.0359)^{15} - 1}{0.0359}\right) = 7{,}089.89$$

- **Factor de Distribución Direccional (FD)**

Es la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, en este caso se estableció un valor de 0.5 en ambas direcciones ya que el tramo en estudio es para conectar a la población beneficiada con la ruta principal más próxima.

Tabla 19: Factor de Distribución por Dirección (FD)

Numeros de carriles en ambas direcciones	FD%
2	50
4	45
6 o mas	40

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993 pg. 192

- **Factor de Distribución de Carril (FC)**

En la normativa para diseño de pavimento A.ASHTO – 93 establece que este factor está basado en el carril de diseño, dicho carril recibe el mayor número ESAL´S; al ser una carretera local rural se consideró un carril por cada dirección, ya que previamente se había aclarado que el principal uso de dicha carretera será

para comunicación de la comunidad, dicho esto el factor de distribución de carril será igual a 1.

Tabla 20: Número de carriles en una dirección (fc)

Numero de carriles en una sola dirección	FC
1	100
2	80 - 100
3	60 - 80
4	50 - 75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993 pg. 193

Tránsito Proyectado *para* el *año* 20*41*

Para calcular el transito proyectado se determinó con la siguiente ecuación sustituyendo los datos conocidos, para cada tipo de vehículo que conforman el TPDA ya ajustado.

$\mathrm{Tn} = \mathrm{To} * (1 + i)^n$ Ecuación 10

Donde:

Tn: Transito proyectado al año n.

To: Transito inicial en el año n.

i: Tasa de crecimiento.

n: Periodo de diseño (15 años).

Motos:

$\mathrm{Tn} = 82 * (1 + 0.0359)^{15} = 140$ veh/dia

Jeep:

$\mathrm{Tn} = 10 * (1 + 0.0359)^{15} = 17$ veh/dia

Camionetas:

$\mathrm{Tn} = 45 * (1 + 0.0359)^{15} = 77$ veh/dia

Bus:

$\mathrm{Tn} = 9 * (1 + 0.0359)^{15} = 16$ veh/dia

C2:

$\mathrm{Tn} = 3 * (1 + 0.0359)^{15} = 5$ veh/dia

$$\boldsymbol{TPDA_{2041} = 255\ veh/dia}$$

Tránsito de Diseño

Para determinar el tránsito de diseño es requerido calcular el volumen de trágico proyectado; el cual se determina con los datos de vida útil de la carpeta de rodamiento, tasa de crecimiento, factor de distribución y el factor de distribución direccional con la siguiente formula:

$$\mathrm{TD} = \mathrm{TPDA0} * \mathrm{FC} * \mathrm{FD} * \mathrm{FC}' \qquad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

TD: Transito de diseño.

TPDA0: Transito promedio diario anual del año cero.

FC: Factor de crecimiento.

FD: Factor de distribución direccional.

FC': Factor de distribución carril.

Tabla 21: Transito de diseño.

Tipo de vehiculos	Tránsito Actual (año 2025)	FC	Factor carril (fc)	Factor dirección	Tránsito de Diseño
Motos	82	7089.89	1	0.5	290,685.49
Jeep	10	7089.89	1	0.5	35,449.45
Camioneta	45	7089.89	1	0.5	159,522.53
Bus	9	7089.89	1	0.5	31,904.51
C2	3	7089.89	1	0.5	10,634.84
Total					**528,196.81**

Factores para determinar ESAL de Diseño

Serviciabilidad Inicial

En la normativa A.A.S.H.T.O. – 93 establece que para pavimentos flexibles (se considerara igual valor para articulado) que el valor de serviciabilidad inicial es 4.2, ya que el diseño es de un pavimento articulado el cual tiene un comportamiento similar se opta por utilizar dicho valor para el diseño.

Tabla 22: Índices de serviciablidad inial.

Valores de serviciabilidad inicial	
Para pavimentos rigidos	Po = 4.5
Para pavimentos flexibles	Po = 4.2

Serviciabilidad Final

Para establecer la serviciabilidad final se consideró el poco bajo volumen vehicular por lo cual se optó por un valor igual a 2.0.

Tabla 22: Índices de serviciablidad inicial.

Valores de serviciabilidad final	
Para pavimentos rigidos	Pt = 2.5
Para pavimentos flexibles	Pt = 2.0

Perdida de serviciabilidad prevista en el diseño (ΔPSI)

La pérdida de serviacibilidad a lo largo del período de diseño se determina por la ecuación:

$$\Delta \mathrm{PSI} = \mathrm{Po} - \mathrm{Pt}$$ Ecuación 13

Donde:

$\Delta \mathrm{PSI}$: Perdida de serviciabilidad.

Po: Serviciabilidad inicial.

Pt: Serviciabilidad final o terminal

$$\Delta \mathrm{PSI} = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

ESAL de Diseño

Las carpetas de rodamiento se diseñan en función de los vehículos de diseño con sus respectivas cargas para poder resistir dichas cargas durante el periodo de vida útil.

El ESAL de diseño se determina por la siguiente ecuación:

$$\mathrm{ESAL\ o\ W18} = \mathrm{TD} * \mathrm{Factor\ ESAL}$$ Ecuación 14

Donde:

ESAL: Cantidad de ejes equivalentes 18 Kips.

TD: Transito de diseño.

FESAL: Factor ESAL.

Factor ESAL

Este factor se determina por las cargas máximas permitidas por eje para cada tipo de vehículo, estas cargas máximas están reguladas por el ministerio de transporte e infraestructura (MTI) del cual se poyó para establecer las cargas máximas, al ser valores que no se encuentran en la Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93 se deberá calcular mediante interpolación de la siguiente ecuación:

$$\mathrm{Y} = \frac{(\mathrm{X}-\mathrm{X1})\mathrm{Y2} \quad (\mathrm{X2}- \quad)\mathrm{Y1}}{(\mathrm{X2}-\mathrm{X1})}$$

Tabla 23: Peso por eje de vehiculos

Tipo de vehiculo	Peso por eje en Ton.	Peso por eje en lbs.
Jepp	1/1	2200/2200
Camioneta	1/2	2200/4400
Bus	5/10	11000/22000
C2	5/10	11000/22000

Cálculo del factor ESAL (factores de equivalencia de carga, eje simple)

Para una carga de 2.20 Kips/2.20 Kips (Jeep).

$X = 2.20 \qquad X1 = 2 \qquad X2 = 4$

$Y1 = 0.0002 \qquad Y2 = 0.002$

$$Y = \frac{(2.20-2)(0.002)+(4-2.20)(0.0002)}{(4-2)} = 0.00038$$

Haciendo las interpolaciones para los demás tipos de vehículos se obtienen los factores en dependencia de estos, para determinar el ESAL de diseño.

Tabla 24: Ejes equivalentes

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES (ESAL)						
Tipo de Vehiculo	W por eje (libras)	W por eje (kips)	Tipo de eje	TD	F. ESAL	ESAL DE DISEÑO
Motos						
Jeep	2200	2.2	SIMPLE	290,685.49	0.00038	110.4605
	4400	4.4	SIMPLE		0.00038	110.4605
Camioneta	2200	2.2	SIMPLE	159,522.53	0.00038	60.61856
	2200	2.2	SIMPLE		0.00038	60.61856
Bus	11000	11	SIMPLE	31,904.51	0.139	4434.726
	22000	22	SIMPLE		2.2	70189.91
C2	11000	11	SIMPLE	10,634.84	0.139	1478.242
	22000	22	SIMPLE		2.2	23396.64
TOTAL						**99,841.67**

El numero ESAL es 99,841.67; lo cual es el número de aplicaciones de cargas correspondientes a un eje, equivalentes de 8.2 Ton o 18 Kips acumuladas en un periodo de diseño de 15 años.

7.4 Estudio de Suelo

Los estudios de suelo para carreteras deben suministrar datos suficientes del subsuelo que permitan definir las propiedades geotécnicas más importantes de los suelos como son: límites de Atterberg, valor soporte (CBR), granulometría, humedad óptima. Además, suministrar información para la selección de bancos de préstamo de materiales para terracerías, sub-base y base.

Previo a la etapa del diseño de estructura de pavimento debemos considerar la cimentación de dicha estructura por ende se realiza un análisis detallado del suelo y su comportamiento determinando las distintas características y propiedades que este posee para poder determinar si es apto para poder construir

El estudio geotécnico de los sondeos de línea y banco de materiales fue realizado por la empresa GRUPO INTEGRA LATINOAMERICA, este estudio permitirá conocer las características físico-mecánicas del suelo, tomando en

cuenta los parámetros que se deben cumplir con lo establecido por el Manual para la revisión de Estudios Geotécnicos (MTI, 2017).

- **Trabajo de campo**

Grupo Integra Latinoamérica efectuó a lo largo de la línea 11 sondeos manuales con profundidades de hasta 1.5 metros y tres estudios de banco de materiales.

- **Clasificación de Suelo**.

El sistema de clasificación AASHTO se utiliza para determinar si un suelo es apto para fungir como materia prima para la construcción de carreteras, en las distintas capas que conforman la cimentación, el relleno de terraplén, la subbase y base de una estructura de pavimento.

En la tabla 25 se presentan los resultados del análisis de los ensayes de los 11 sondeos: granulometría, índices de plasticidad, humedad optima, densidad máxima y CBR para cada sondeo. Los resultados de los ensayes ver anexos a partir de tabla 45 y link.

Tabla 25: Resumen de los ensayos realizado en la línea del tramo en estudio.

GRUPO INTEGRA Latinoamérica

REPORTE DE LABORATORIO

Resultados de las propiedades físicas de suelo

PROYECTO: Estudio de Factibilidad y Diseño para la Rehabilitacion de la Carretera San juan del sur - Escamequita - Carretera Costa nera.

CLIENTE: _____

Localización de Sondeo		Identificacion de Muestras		Estratigrafía			NORMA: AASHTO T 27 y AASHTO T 11												NORMA: AASHTO T 90			Clasificación	NORMA: AASHTO T 99		NORMA: AASHTO T 193		
							Granulometría (% que pasa)												Limites de Atterberg				Densidad máxima	Humeda d óptima	C.B.R		
Estación	Banda	Sondeo	Muestra	Desde (cm)	Hasta (cm)	Espesor (cm)	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	L.L	L.P	I.P	NORMA:			90.00	95.00	100.00
		No.	No.				75	63	50	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2	0.425	0.075	%	%	%	AASHTO M 145	(kg/m3)	(%)	(%)	(%)	(%)
0+000	Derecha	1	1	0	1.5	1.5	100	100	100	100	93	87	81	77	68	56	37	25	43	26	17	A-2-7 (1)	1558	25.8	16	18	20
0+300	Izquierda	2	1	0	1.5	1.5	100	100	100	100	100	100	100	99	99	97	94	91	86	42	44	A-7-5 (50)	1240	35.8	2	3	4
0+600	Derecha	3	1	0	1.5	1.5	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	95	94	74	37	37	A-7-5 (43)	1290	37.0	1	2	3
0+900	Izquierda	4	1	0	1.5	1.5	100	100	100	100	100	100	100	99	99	98	97	96	74	32	42	A-7-5 (48)	1250	36.7	2	3	4
1+200	Derecha	5	1	0	0.6	0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	96	95	73	39	34	A-7-5 (41)	1343	37.0	3	4	5
1+500	Izquierda	6	1	0	0.6	0.6	100	100	100	100	100	100	100	97	96	95	94	93	79	35	44	A-7-5 (49)	1297	34.8	1	2	4
1+800	Derecha	7	1	0	0.6	0.6	100	100	86	82	75	68	58	53	40	29	18	8.2	38	26	12	A-2-6 (0)	1870	13.2	16	20	26
2+100	Izquierda	8	1	0	1.5	1.5	100	100	100	100	100	100	100	98	96	94	93	91	72	32	40	A-7-5 (43)	1343	37.0	1	2	3
2+400	Derecha	9	1	0	1.5	1.5	100	100	100	100	95	90	86	84	74	60	46	30	43	31	12	A-2-7 (0)	1555	24.2	15	18	20
2+700	Derecha	10	1	0	1.5	1.5	100	100	100	100	96	92	91	85	81	66	53	38	55	35	20	A-7-5 (3)	1576	25.8	16	18	20
3+000	Derecha	11	1	0	1.5	1.5	100	100	100	100	92	90	84	81	72	61	40	23	56	37	19	A-2-7 (1)	1493	23.1	15	18	20

- **Determinación de CBR de diseño.**

Después de la determinación de los CBR de los sondeos de línea se toma el de 95% para encontrar el percentil de 75% (Según estudio de tránsito Esals =99,891.447) los valores y metodología de los valores que permitirán el cálculo de muestra en la tabla 10.

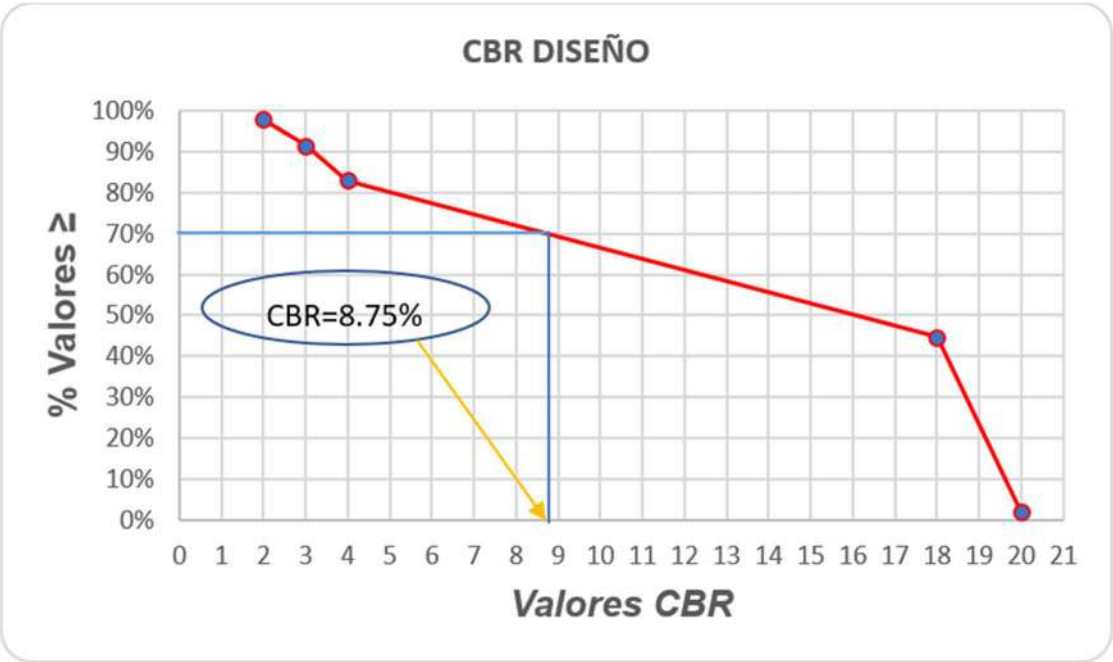
a. Se ordenan los valores de resistencia de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.
b. Se dibuja un gráfico que relacione los valores de C.B.R. con los porcentajes anteriormente calculados y en la curva resultante se determina el C.B.R, para el percentil elegido que para este caso 75% según nuestro estudio de tránsito.

Tabla 26: Percentil de diseño para subrasante.

Cargar equivalentes totales (ESAL´S)	Percentil de diseño (%)
< de 10,000 ESAL´S	60
Entre 10,000 y 1,000,000	75
> de 1,000,000 ESAL´S	87,5

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Imagen 4: Trazo de CBR de diseño para subrasante.



- **Bancos de materiales.**

Muestreo de banco de préstamos.

Banco de Material Cori

Las muestras obtenidas del banco de material Cori presentan el 79% de grava. 20% de arena y 1% de finos. Según el método SUCS (ASTM) Es una grava mal graduada, GP, debido a que posee un porcentaje de finos menor al 5%, un Cu>4 y un Cc fuera de los límites de 1 y 3, rangos que determinan al material como bien o mal graduado. Por su parte, de acuerdo al método HRB (AASTHO), el material se encuentra dentro del sub grupo A-1-b (0), que al igual el método SUCS, clasifica al material como una arena con grava con poco fino o sin ellos.

Conforme a las clasificaciones obtenidas y sobre todo a su concordancia, el material puede ser utilizado tanto como base o como sub-base En cuanto al ensaye de pesos volumétricos, este indico que el material en estudio, es un material poco denso, con un porcentaje de porosidad alto, 46%, el cual se ve reflejado en los valores obtenidos; 1296 Kg/m3 para peso volumétrico seco suelto y 1407 Kg/m3 para peso volumétrico seco compacto. Pese a que su PVSC es menor respecto a los dos bancos anteriores este cumple con los requerimientos de material pasa base respecto al ASTM, que considera un peso volumétrico mínimo de 1,121 Kg/m3.

Se encontraron además valores de CBR para porcentajes de compactación de 90, 95 y 100%, obteniendo valores de 9, 19 y 42.

Debido a su mala granulometría y resistencia mecánica inferior a lo establecido se recomienda: Estabilizar el suelo con un 5.5% o menos de cemento Portland tipo I, ya que con este porcentaje usado se alcanzaron valores de **C.B.R. del 83% para una compactación de 95%** y 93% para una compactación del 100%, con estos valores de C.B.R. alcanzados el suelo aumenta considerablemente sus propiedades mecánicas. **Este banco será utilizado como material para subbase**.

Banco de Material Rosario Norte

Las muestras obtenidas del banco de material el Rosario Norte presentan el 47% de grava. 52% de arena y 1% de finos. Según el método SUCS (ASTM) Es una arena mal graduada, SP, debido a que posee un porcentaje de finos menor al 5%, un Cu>4 y un Cc fuera de los límites de 1 y 3, rangos que determinan al material como bien o mal graduado.

Por su parte, de acuerdo al método HRB (AASTHO), el material se encuentra dentro del sub-grupo A-1-b (0), que al igual el método SUCS, clasifica al material como una arena con grava con poco fino o sin ellos. Conforme a las clasificaciones obtenidas y sobre todo a su concordancia, el material puede ser utilizado tanto como base o como sub-base En cuanto al ensaye de pesos volumétricos, este indico que el material en estudio, es un material denso, a pesar de que su porcentaje de porosidad no es tan bajo, 42%, el cual se ve reflejado en los valores obtenidos; 1456 Kg/m3 para peso volumétrico seco suelto y 1626 Kg/m3 para peso volumétrico seco compacto. Considerando además que, según el ASTM en su especificación de material para base, establece un PVSC mínimo de 1121 Kg/m3, lo cual indica que nuestro PVSC encontrado se encuentra dentro de la normativa para dicho uso.

Se encontraron además valores de CBR para porcentajes de compactación de 90, 95 y 100%, obteniendo valores de 10, 13 y 65.

Considerando que el problema que afecta a este material son los valores inferiores de C.B.R. y presentando granulometría aceptable y el ser un suelo no plástico, se recomienda: Estabilizar el suelo analizado con un % de cemento Portland tipo I menor que el 5%, ya que si se estabiliza con el 5% se alcanzan valores de **C.B.R. del 97%** para una compactación de 95% y 116% para compactación de 100%. Con estos valores el suelo puede ser usado como **base de excelente calidad**.

Tablas de bancos de materiales

Tabla 27: Resultados de estudio de suelo de bancos de materiales

Banco	Tipo de suelo	CBR%			PVS	PVC
		90%	95%	100%	Kg/m3	Kg/m3
Mori	A-1-b (0)	9	19	42	1296	1407
Rosario Norte	A-1-b (0)	10	13	65	1456	1626

Fuente: Grupo Integra Latinoamérica.

Tabla 28: Mejoramiento de bancos de materiales

Banco	% cemento portland Tipo I	CBR%		PVS	PVC
		95%	100%	Kg/m3	Kg/m3
Mori	5.5%	97	116	1296	1407
Rosario Norte	5%	83	93	1456	1626

Fuente: Grupo Integra Latinoamérica.

7.5 Diseño de pavimento

El método de diseño para pavimento flexible que esta dado por la AASHTO 93 identifica el numero estructural (SN), por el cual se obtiene los espesores de capa que conforman el pavimento, estamos hablando de las capas como la base, sub-base, asfáltica o la de rodamiento, esto se da a través de un modelo o una ecuación en la cual se obtienen estos parámetros para el diseño y la ecuación se desarrolló en base a funciones de variables que se presentan en el transito como lo son la desviación estándar, la confiabilidad, el índice de servicialidad entre otras. En nuestro caso este es el método el cual utilizaremos para obtener los parámetros de la vía en estudio.

Esta es la **ecuación 15** que se utiliza para este método de diseño dada por la AASTHO:

$$\log_{10}Wt_{18}=Z_R S_O+9.36\log_{10}(SN+1)-0.20+\frac{\log_{10}\frac{(\Delta PSI)}{4.2-1.5}}{0.4+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}}+2.32\log_{10}M_R-8.07$$

Entre las variables tenemos:
WT18: Hace referencia al número aplicaciones de carga de hasta 80 KN (Números de ESAL's)
ZR: Es el coeficiente estadístico de desviación estándar normal (ZR) y representa el valor de confiabilidad.

Confiabilidad R

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, la Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93 recomienda diferentes niveles de confiabilidad, el cual la selección del nivel apropiado de confiabilidad para el diseño de un pavimento esta dictada por el uso esperado de ese pavimento. para una Carretera según su tipología, en la que, Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad R del 85%, que corresponde a un valor recomendado según el estudio de tránsito, capítulo III, se clasifica como una colectora menor rural.

Tabla 29: Niveles de confiabilidad, según clasificación funcional.

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: Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, página 137.

Desviación estándar So

La desviación estándar tiene en cuenta la variación que puede haber en las variables que intervienen en el diseño del pavimento, estas son, variación de las propiedades de los materiales y de la sub rasante, variación en las estimaciones del tránsito y de las condiciones ambientales. La AASTHO recomienda adoptar valores según las condiciones del proyecto y el tipo de diseño reflejados en la siguiente tabla, en la que se seleccionó un valor de 0.45, siendo este el sugerido para condiciones de pavimento flexible.

Tabla 30: Valores para la desviación estándar.

Condición del diseño	So
Pavimentos Rígidos	0.30-0.40
Pavimentos Flexibles	**0.40-0.50**

Fuente: Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, página 135.

Módulo de resiliencia MR (Sub-Rasante).

La representación de la subrasante en el diseño de la estructura de pavimento es por medio del Módulo de residencia (MR), este valor es calculado por el ensayo T274 de la AASHTO, pero debido a que es un método muy difícil de realizar en muchos lugares, porque se necesitan de equipos especiales para realizar el ensayo, por lo que dicho modulo fue determinado mediante relaciones existentes, tomando como parámetro el CBR(Relación de Soporte de California), dato que fue calculado por medio de ensayos de la AASHTO T-93(Correlaciones del CBR con el MR, mediante las siguientes ecuaciones.

Para materiales de subrasante con CBR menor o igual a 10% en donde B=1500 pero este valor puede variar entre 750 y 3000 para un MR en Psi.

$\mathrm{MR} = 1500 * \mathrm{CBR}$ **Ec. 16**

Para materiales de subrasante con valores de CBR mayor a 10%, se deberán emplear otras formas de correlación, tal como la recomendada por la propia guía de diseño de pavimento AASHTO 93.

$\mathrm{MR} = 4326 * \ln \mathrm{CBR} + 241$ **Ec. 17**

En el estudio de suelo se determina el CBR de diseño el cual corresponde a un 8.75 % y haciendo uso de la **ecuación 13** se determina el módulo de resiliencia para la subrasante.

$\mathbf{MR = 1500 * 8.75 = 13,125\ PSI}$

Drenaje

En el diseño de pavimento, debe siempre tratarse de que tanto la subrasante, subbase y base estén protegidas de la acción del agua. Al considerar las posibles fuentes de agua, es conveniente proteger la sección estructural del pavimento de la entrada del agua, por lo que es necesario interceptar el agua que corre superficialmente lo mejor posible, así como sellar la superficie del pavimento (Manual Centroamericano de diseños de pavimentos, capitulo 6, página 1).

Tabla 31: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.

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	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Diseño de pavimento (AASHTO-93. Página 148

La superficie de este diseño basándonos en el alineamiento vertical cuenta con un buen comportamiento ante la exposición al agua, donde las pendientes longitudinales se consideran satisfactorias para desalojar las aguas de la superficie, evitando la saturación y la infiltración a hacia las diferentes capas de la estructura de pavimento. Por consiguiente, se clasifica el sistema de drenaje como bueno, con un coeficiente de drenaje de 1.00.

Coeficientes estructurales ai

Este método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (ai), los cuales serán requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos. Estos coeficientes permitirán convertir los espesores reales a números estructurales SN.

Estos están representados con la siguiente simbología:

a1: Para la carpeta de rodamiento (Adoquín).

a2: Para la base granular (CBR).

a3: Para la subbase granular (CBR).

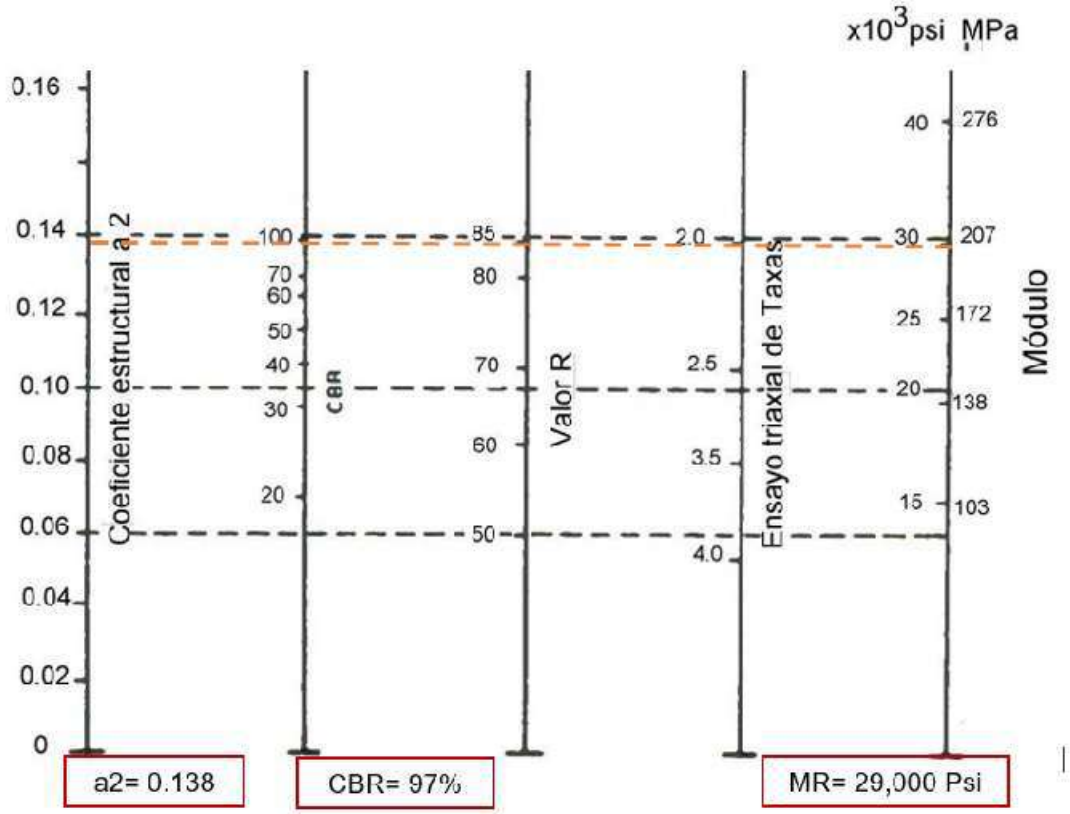
Coeficiente estructural para carpeta de rodamiento de adoquín (a1)

Mediante las especificaciones que establece el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (SIECA 2002, página 107, capitulo 7) se toma el valor de a1=0.45, el cual es considerado para capas de rodamiento de pavimento articulado.

Coeficiente estructural para base granular (a2).

El valor de CBR será el que se obtuvo del banco de material Rosario Norte al cual se realizaron los estudios respectivos y se obtuvo un CBR de 97% al 95% grado de compactación El valor del coeficiente estructural a2 se determinó haciendo uso del siguiente nomograma, **(Ver figura 1)** trazando una recta a ambos extremos, la columna derecha para determinar el Módulo resiliente, MR = 29,000 Psi, la columna izquierda para el coeficiente estructural a2 = 0.138.

Gráfico 1: Relación entre el coeficiente estructural para base granular.



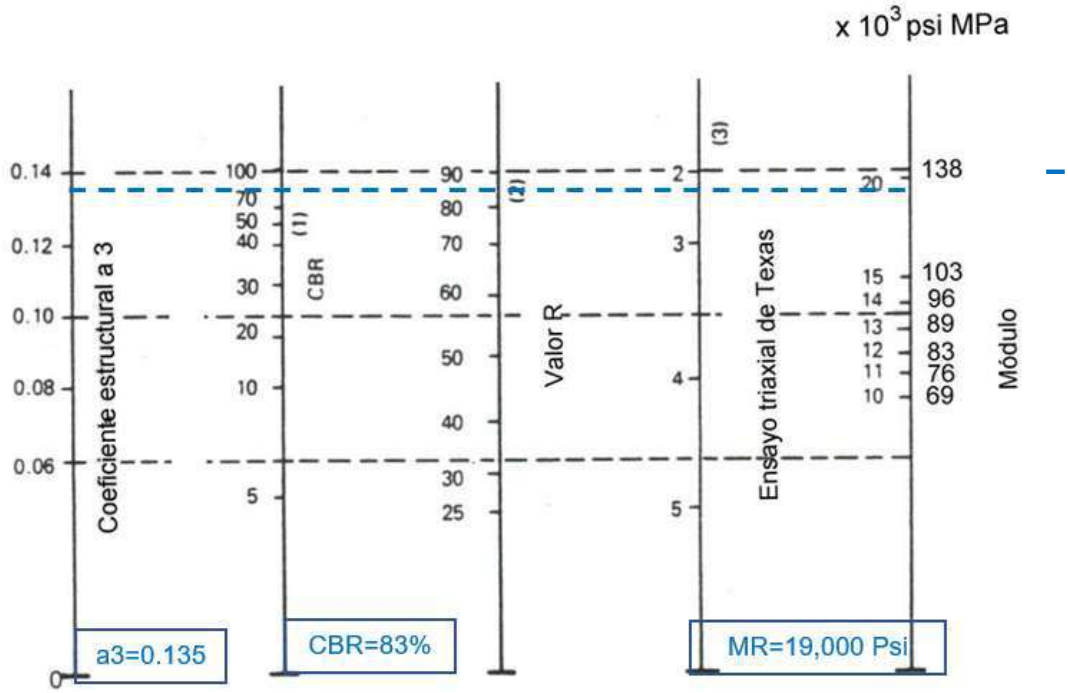
Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO, página 118

Coeficiente estructural para subbase granular CBR (a3)

El valor de CBR usado para la subbase proviene del ensayo realizado al banco de préstamo Cori, este valor de CBR corresponde a 83%, compactado al 95%, utilizando el nomograma establecido por la AASHTO 93 para subbase granulares, **(Ver figura 2)** trazamos una recta horizontal que intercepte la columna de derecha del módulo

resiliente obtenemos un valor de MR= 19,000 PSI y en la columna izquierda el valor del coeficiente estructural a3= 0.135.

Gráfico 2: Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular.

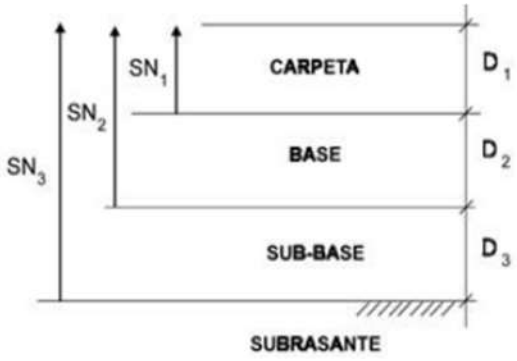


Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO, página 118

Espesores de capa

El método AASHTO 93 es utilizado para diseñar pavimentos considerando el tráfico esperado, las características del suelo y otros factores. Este método busca que los espesores finales de las capas absorban la mayor cantidad de tensión sin sufrir deformaciones y en base a esto son diseñadas.

Gráfico 3: Espesores de capa y coeficientes



Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93

Número estructural SN

Este número permitirá representar la capacidad de soporte del pavimento. Este número indicará la cantidad de espesores o capas que requiera el pavimento para soportar las cargas a las que será sometido durante su vida útil. Para cada capa se considerarán coeficientes relativos que dependerán del material que las conforman.

El número estructural (SN) se puede expresar por medio de la siguiente **ecuación 14** tomada de (AASHTO-93 2001).

$$SN = a1 * D1 + a2 * D2 * m2 + a3 * D3 * m3 \qquad \textbf{Ec. 18}$$

Donde:

D1, D2, D3: Son espesores de capas de rodamiento, base y subbase en pulgadas.

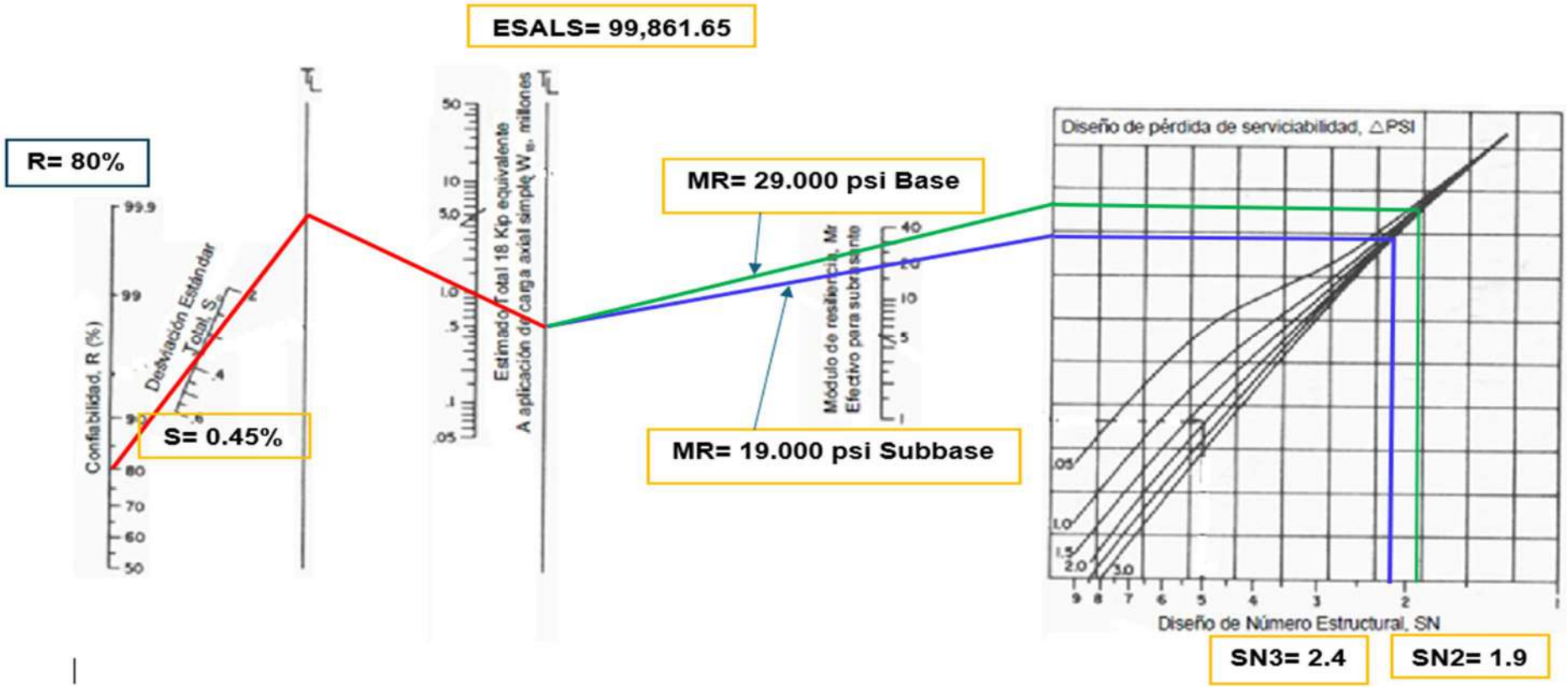
ai: Coeficiente estructural de capa i, independiente de su módulo.

mi: Coeficiente de drenaje por cada capa respectivamente.

Cálculo de espesores de la estructura de pavimento.

Se utilizará el ábaco de diseño para pavimentos flexibles propuesto por la AASHTO para determinar los números estructurales (SN), (**Ver gráfico 3),** obteniendo valores de SN2=1.9 y SN3=2.4**.** En este proceso, se deben considerar diversas variables, tales como la confiabilidad, la desviación estándar, los ESAL'S de diseño, el módulo resiliente de la capa inferior que se está evaluando y la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI).

Gráfico 4: Selección de los números estructurales para base y subbase.



El pavimento que se desea construir adopta un diseño articulado, empleando adoquines de concreto cemento Portland como material de carpeta de rodamiento. En este caso, no es necesario realizar el cálculo del espesor, ya que esta estandarizado en D1=4 pulgadas y un coeficiente a1=0.45, según las especificaciones del Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (SIECA 2002).

1. **Se calcula el SN1 efectivo correspondiente a la capa D1.**

$\mathrm{SN1} = \mathrm{a1} * \mathrm{D1}$ **Ecuación 19**

$\mathrm{SN1}^{*} = 0.45 * 4 = 1.80$

Tenemos SN1 de 1.80 pulgadas para protección de base

2. **Cálculo para el espesor de la base (D2).**

$\mathrm{D2} = \frac{\mathrm{SN2} - SN1}{(\mathrm{a2} * \mathrm{m2})}$ **Ecuación 20**

$\mathrm{D2} = \frac{1.90 - 1.80}{(0.138 * 1)} = 0.72 \text{ pulgadas "No cumple con el espesor minímo"}$

Se propone usar el mínimo requerido para base según la AASHTO, con D2= 4” o 10 cm como se refleja en la tabla siguiente.

Tabla 32: Espesores mínimos sugeridos.

Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 - 15,000	5.0 cm	10 cm
150,000 - 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 - 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 - 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,0000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, página 175.

3. **Se calcula SN2* efectivo usando D2 = 4 pulgadas.**

$$SN2^* = (a2 * D2 * m2)$$ **Ecuación .21**

$$SN2^* = (0.138 * 4 * 1) = 0.552$$

4. **Cálculo del espesor para subbase (D3).**

$$D3 = \frac{SN3-(SN1^*+SN2^*)}{(a3*m3)}$$ **Ecuación 22**

$$D3 = \frac{2.4-(1.80+0.552)}{(0.135*1)} = 0.356\, pulgadas$$

Los criterios de la AASTHO 93 dice que no requiere de una subbase si el resultado da negativo por ende se procede a calcular el espesor de la base nuevamente, pero con el SN3.

$$D3 = \frac{2.4-1.8}{(0.138*1)} = 4.35 \text{ pulgadas } \text{" cumple"}.$$

Espesores finales de diseño

Se empleará una carpeta de rodamiento compuesta por adoquines, con un espesor de 4 pulgadas con una resistencia de 3500 psi, conformado por una capa de arena de 2 pulgadas. Además, se utilizará una base m, con un espesor de 4 pulgadas y subbase de 4 pulgadas.

7.6 Diseño geométrico

Parámetros geométricos para el diseño

- **Clasificación funcional**

La clasificación funcional de las carreteras es un proceso mediante el cual se agrupan las carreteras y calles en diferentes categorías o sistemas según las características de servicio de tráfico, se rige por normas y manuales específicos, como el Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras según el Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras 2011, para su clasificación de acuerdo a los volúmenes de tránsito diario se determinó un TPDA proyectado de 149 Vpd, dicho valor se encuentra entre los rangos establecidos en la **tabla 33** del manual, clasificándola como una colectora menor rural.

Tabla 33: Clasificación funcional de las carreteras.

FUNCIÓN	CLASE DE CARRETERA(1)	NOMECLATURA	TPD(2) (AÑO FINAL DE DISEÑO)	Número de Carriles
ARTERIAL PRINCIPAL	AUTOPISTA	AA	>20,000	6-8
	ARTERIAL RURAL	AR	10,000-20,000	4-6
	ARTERIAL URBANA	AU	10,000-20,000	4-6
ARTERIAL MENOR	ARTERIAL MENOR RURAL	AMR	3,000-10,000	2
	ARTERIAL MENOR URBANA	AMU	3,000-10,000	2
COLECTOR MAYOR	COLECTOR MAYOR RURAL	CMR	10,000-20,000	4-6
	COLECTOR MAYOR URBANA	CMU	10,000-20,000	4-6
COLECTOR MENOR	COLECTOR MENOR RURAL	CR	500-3,000	2
	COLECTOR MENOR URBANA	CU	500-3,000	2
LOCAL	LOCAL RURAL	LR	100-500	2
	LOCAL URBANO	LU	100-500	2
	RURAL	R	<100	1-2

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 33.

- **Vehículo de diseño**

Debido a las variaciones en las dimensiones de los vehículos que circulan por las carreteras, es necesario examinar y agruparlos en clases similares para el diseño geométrico de las vías. Esto se hace seleccionando un vehículo representativo para cada clase y uso, que tenga dimensiones físicas y radios de giros mínimos, pero mayores que la mayoría de los vehículos de su clase. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.37).

Basándonos en la información proporcionada por el estudio de tránsito, se plantea utilizar un camión de carga C-2 (SU), este es una opción adecuada para determinar los elementos geométricos de la vía.

Tabla 34: Dimensiones de los vehículos de diseño.

Vehículo de Diseño	Símbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo Delantero	Voladizo Trasero	WB1	WB2
Vehículo Liviano	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	
Camión	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	
Bus	BUS-14	3.70	2.60	12.20	1.80	2.60	7.30	
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.30	3.10	6.70	5.90	
Cabezal con Semirremolque	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.60	4.50	10.80	
Cabezal con Semirremolque	WB-19	4.10	2.60	20.90	0.90	0.60	4.50	10.80
Cabezal con Semirremolque	WB-20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40-0.80	6.6	13.20-13.80

FUENTE: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 16
Nota: WB1, WB2 es la distancia entre ejes extremos Dimensiones en metros

Los límites de las trayectorias de giro de los distintos vehículos de diseño, al hacer los giros más cerrados, están establecidos por la trayectoria del saliente frontal y la trayectoria de la rueda interior trasera. Este giro supone que la rueda frontal exterior sigue el arco circular, definiendo el radio de giro mínimo según como se determine por el mecanismo de manejo del vehículo.

Donde:

- WB1, WB2: Distancias efectivas entre ejes de los vehículos, o las distancias entre grupos de ejes, comienzan desde el frente y avanzan hacia la parte trasera de cada unidad.
- Voladizo delantero/trasero: es la distancia entre el eje extremo del vehículo y el borde posteriormente mencionados.
- Los radios mínimos de las trayectorias de las ruedas exteriores e interiores y el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central, se muestra en la **tabla 33**.

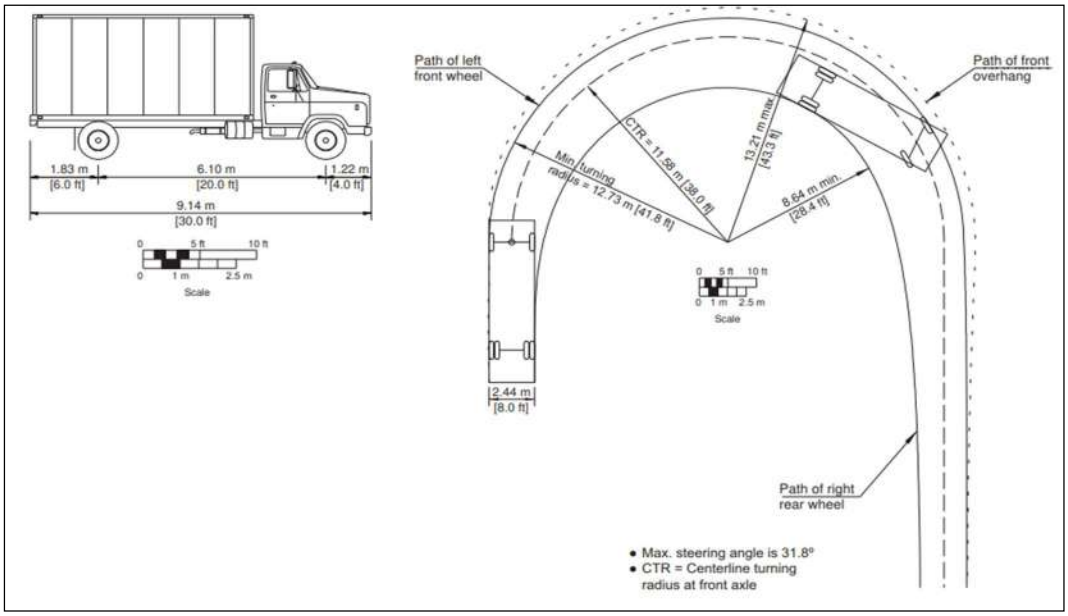
Tabla 35: Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño.

Vehículo de Diseño	Símbolo	Radio de Giro Mínimo de Diseño (m)	Radio en la Línea Central RMG (m)	Radio Interior Mínimo (m)
Vehículo Liviano	P	7.30	6.40	4.40
Camión	SU	12.80	11.60	8.60
Bus	BUS-14	13.70	12.40	7.80
Bus Articulado	A-BUS	12.10	10.80	6.50
Cabezal con Semirremolque	WB-15	13.70	12.50	5.20
Cabezal con Semirremolque	WB-19	13.70	12.50	2.40
Cabezal con Semirremolque	WB-20	13.70	12.50	1.30

FUENTE: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pp. 19

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 39.

Gráfico 5: Mínima trayectoria de giro para vehículo de diseño SU.



Fuente: Manual A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition". 2011, pag 183.

- **Velocidad de diseño**

Debido a que la vía se clasifica como una local rural con un TPDA proyectado de 105 Vpd, y con las características de un relieve plano se adopta **una velocidad de 50 KPH** basado en el Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, página 56, donde especifica que, para carreteras colectoras, el rango de velocidad debe ser de 30 a 80 KPH, y rango de velocidades de 20 a 60 KPH pueden utilizarse en carreteras vecinales optando por una velocidad de 50 KPH, esto con el fin de brindar una mayor seguridad para el conductor y el peatón.

- **Tasa de sobreelevación o peralte máximo.**

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas (frecuencia y cantidad de nieve y hielo); condiciones del terreno (plano o montañoso); tipo de zona (rural o ur bana) y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte.

Se consideran aquí las siguientes tasas: (1) tasa máxima de 0.10 en áreas rurales montañosas, siempre que no exista nieve o hielo, también 0.12 puede utilizarse en algunos casos. (2) generalmente, 0.08 es reconocido como valor máximo razonable (3) 0.06 en área suburbana y (4) 0.04 en áreas urbanas. El peralte puede omitirse en calles urbanas de baja velocidad. **Para este caso se ha seleccionado un peralte de 8%.**

- Factor de fricción lateral (f)

El coeficiente de fricción "f" se define como la fuerza de fricción dividida entre el componente del peso perpendicular al pavimento y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{f} = \frac{\mathbf{V^2}}{(\mathbf{127} * \mathbf{R})} - \mathbf{e} \qquad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, km/h.

R: Radio de curva, m.

e: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

En la **tabla 36**, se presentan los valores del coeficiente de fricción lateral para las distintas velocidades que pueden utilizar en el diseño, es este caso se optó a utilizar un valor de 0.19 en dependencia de la velocidad de diseño (50 KPH) y el peralte máximo (8%).

Tabla 36: Factores de fricción lateral.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%	
		RADIO (m)	
		CALCULADO	RECOMENDADO
20	0.35	7.3	7
30	0.28	19.7	20
40	0.23	40.6	41
50	**0.19**	72.9	73
60	0.17	113.4	113
70	0.15	167.8	168
80	0.14	229.1	229

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 89.

- **Radio mínimo**

Los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la fricción lateral escogida para el diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte so sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.87).

Una vez establecido el máximo factor de peralte o sobreelevación, los radios mínimos de curva horizontal se pueden calcular con la siguiente formula:

$$\mathrm{Rmin} = \frac{\mathrm{V}^2}{127.14(\mathrm{emax} + \mathrm{fmax})} \qquad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

Rmin: Radio mínimo de curva (m).

emax: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

fmax: Factor de fricción lateral.

V: Velocidad de diseño, en KPH.

Sustituyendo los valores de velocidad de diseño, coeficiente de fricción lateral y la tasa de sobreelevación en la ecuación 19, se determina en radio mínimo para el diseño.

$$\text{Rmin} = \frac{50^2}{127.14(0.08 + 0.19)} = 73m$$

El grado de curva o de curvatura, es el ángulo sustentado en el centro de una circulo de radio R por un arco de 100 pies o de 20 metros, según el sistema de medidas utilizado. A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión para el cálculo:

$$G_{20} = \frac{1145.92}{R} \qquad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

G20: Grado de curvatura o ángulo en el centro de la curva, para arco de 20 m.

R: Radio mínimo de curva (m).

Tabla 37: Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	7.3	7	163°42'
30	0.28	19.7	20	57°18'
40	0.23	40.6	41	27°57'
50	0.19	72.9	73	15°42'
60	0.17	113.4	113	10°08'
70	0.15	167.8	168	06°49'
80	0.14	229.1	229	05°00'
90	0.13	303.7	304	03°46'
100	0.12	393.7	394	02°55'
110	0.11	501.5	501	02°17'
120	0.09	667.0	667	01°43'

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 89.

- **Bombeo**

Es la pendiente que se le da a la plataforma o corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad. El bombeo depende del tipo de superficie de rodadura, en el Cuadro se presentan los rangos recomendables. **Para el diseño se ha seleccionado valor del 3% para dar mayor seguridad del drenaje.**

Tabla 38: Pendiente transversal

Tipo de Superficie	Rango de Pendiente Transversal
Alto	1.5-2.0
Bajo	2.0-6.0

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 139.

- **Hombros o espaldones**

Los hombros o espaldones son las áreas de la carretera contigua a los carriles de circulación y que, en conjunto con estos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes y que tiene su justificado en:

- ✓ La necesidad de proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido.
- ✓ Para llenar la importante función de dar estabilidad estructural a los carriles de circulación vehicular por medio del confinamiento.
- ✓ Para permitir los movimientos peatonales en ciertas áreas donde la demanda lo justifique.
- ✓ Para proporcionar el espacio lateral libre suficiente para la instalación de las señales verticales de tránsito.

En la **tabla 39** se muestran los valores mínimos para una colectora menor rural y que se encuentran comprendidos entre 1.2 y 1.60 m. sin embargo a causa de las limitaciones por el derecho de vía quedan obsoleto estos valores y se opta por un diseño sin la presencia de hombros.

Tabla 39: Anchos mínimos de hombros y aceras.

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AA	Autopista	Controlado	Alto	1.0 – 1.5	2.5 - 3.0	
AR	Arterial Rural	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AU	Arterial Urbana	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 – 3.0	2.0
AMR	Arterial Menor Rural	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
AMU	Arterial Menor Urbana	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CMR	Colector Mayor Rural	Controlado	Alto	1.0 -1.5	2.5 – 3.0	1.2 – 2.0
CMU	Colector Mayor Urbana	-	Alto	0.5 – 1.0*	1.2 - 1.8	1.2 – 1.5
CR	Colectoras Menor Rural	-	Intermedio	-	1.2 - 1.6	1.0 – 1.2
CS	Colectoras Menor Urbana	-	Intermedio	-	1.2 – 1.6	1.0 – 1.2
LR	Local Rural	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
LU	Local Urbano	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 – 1.2
R	Rural	-	Bajo	-	-	-

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 142.

- **Número de carriles**

Los carriles se refieren a las divisiones o unidad de medida transversal, en una carretera o autopista que se utilizan para dirigir y separar el flujo de vehículos permitiendo mantener el tráfico organizado y seguro.

En el (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2004, cuadro 1, página 13) se encuentra especificado de acuerdo a la clasificación funcional de la carretera el número de carriles. Para este diseño se designan dos carriles el cual proporcionara una correcta fluidez del tránsito vehicular.

- **Ancho de Calzada y carril.**

En el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras 2011 en la página 141, se considera que el ancho de carril de 3.60 m es el deseable en carreteras rurales y urbanas, porque una carretera de dos carriles con 7.20 m de ancho de calzada ofrece las condiciones óptimas para la circulación, reconociéndose que pueden utilizarse anchos menores. Cuando haya restricciones por el derecho de vía, el carril de 3.30 m se considerará recomen dable; en tanto que el carril de 3.0 m de ancho es aceptable únicamente en el caso de calles o carreteras diseñadas para baja velocidad y bajo volumen de tránsito. **Para el diseño se ha seleccionado un ancho de carril de 3 metros.**

- **Longitudes de transición.**

El diseño de longitudes de transición en el alineamiento horizontal incluye la transición del bombeo normal de una sección transversal en tangente al peralte necesario en curva, así como las curvas de transición entre tangente y curva circular. La transición del peralte se divide en dos distancias: la Distancia de Bombeo (DB), donde el peralte negativo se convierte en 0%, y la Distancia de Transición (Ls), donde el peralte 0% se convierte en el peralte necesario para la curva. Se busca que esta transición sea imperceptible para el conductor por razones de seguridad y comodidad.

- **Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral**

En general, se sugiere que se puede establecer un límite superior en el radio de la curva de modo que solo los radios por debajo de este máximo sean probables obtener beneficios operacionales y de seguridad del uso de curvas de transición en espiral. (A Policy Geometric Designo f Highways and Streets. Cap 3-71, pág 217).

En la siguiente tabla 38 se establece un radio máximo de 148 m para el requerimiento de curvas en espirales de transición para una velocidad de 50 km/h en caso que se requieran curvas con espirales de transición.

Tabla 40: Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral.

Metric		U.S.Customary	
Design speed (km/h)	Maximum radius (m)	Design speed (mph)	Maximum radius (ft)
20	24	15	114
30	54	20	203
40	95	25	317
50	**148**	**30**	**456**
60	213	35	620
70	290	40	810
80	379	45	1025

Fuente: A Policy Geometric Designo f Highways and Streets 2011, Cap 3-71, pág. 217

Alineamiento vertical.

El alineamiento vertical está compuesto por tangentes y curvas, caracterizándose las tangentes por su longitud y su pendiente y se limitan por dos curvas verticales sucesivas. La longitud de la tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente; la pendiente de la tangente es la relación entre la diferencia de nivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma, expresándola generalmente en porcentaje. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.115).

- **Distancia de visibilidad de parada**

Es la distancia que un conductor necesita para detener su vehículo por completo cuando se enfrenta a una situación de peligro o detecta un objeto inesperado en su trayectoria. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.75).

Estas distancias se conocen como distancia de percepción-reacción y la distancia de frenado respectivamente y se calculan con la siguiente expresión:

$$\mathrm{d} = 0.278\mathrm{Vt} + 0.039\frac{\mathrm{v}^2}{\mathrm{a}} \qquad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, Km/h.

t: Tiempo de percepción-reacción, 2.5 segundos.

a: Tasa de desaceleración, $3.4\ m/s^2$.

Cuando la carretera está en pendiente longitudinal, la ecuación de distancia de visibilidad de parada debe modificarse y calcularse con la siguiente ecuación:

$$d = 0.278Vt + \frac{V^2}{254\left(\left(\frac{a}{9.81}\right) \pm G\right)} \qquad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

G: Es la pendiente en valor absoluto (Grado en porcentaje/100).

El Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, brinda diferentes valores de distancia de velocidad de parada en función de la velocidad de diseño, en la que para este caso es igual a 65 m respecto a la velocidad seleccionada anteriormente de 50 Km/h, **Ver tabla 39**.

Tabla 41: Distancia de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical.

VELOCIDAD (KPH)		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
PENDIENTE EN ASCENSO + i %	12	17	29	41	56	72	90	110	131	154	179	205
	11	17	29	42	57	73	91	111	133	156	181	208
	10	17	29	42	57	74	92	112	134	158	184	211
	9	18	29	43	58	75	93	114	136	160	186	214
	8	18	30	43	58	75	94	115	138	162	189	217
	7	18	30	43	58	76	95	117	139	164	191	220
	6	18	30	44	59	77	97	118	141	167	194	223
	5	18	30	44	60	78	98	119	143	169	197	227
	4	18	30	44	60	79	99	121	145	172	198	231
	3	19	31	45	61	80	100	123	148	174	203	234
	2	19	31	45	62	81	102	125	150	177	207	239
	1	19	31	46	63	82	103	127	152	180	210	243
CALCULADO HORIZONTAL	0	18.5	31.2	46.2	63.4	83.0	104.9	129.0	155.5	184.2	215.2	248.6
REDONDEADO HORIZONTAL	0	20	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250
PENDIENTE EN DESCENSO - i %	1	20	32	47	64	85	106	131	158	187	218	252
	2	20	32	48	65	85	108	133	161	191	223	257
	3	20	32	50	66	87	110	136	164	194	227	263
	4	20	33	50	67	88	112	138	167	198	232	269
	5	20	33	50	68	90	114	141	171	203	238	275
	6	20	35	50	70	92	116	144	174	207	243	281
	7	20	35	51	71	93	119	147	178	212	249	289
	8	20	35	52	72	95	121	151	183	218	256	297
	9	20	35	53	74	97	124	154	187	223	262	304
	10	21	36	53	75	99	127	158	192	230	270	314
	11	21	36	54	77	102	131	163	198	236	279	323
	12	21	37	56	78	105	134	167	204	244	287	334

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 77.

- **Pendientes de Control para el Diseño.**

Pendiente máxima: Para el diseño del tramo de en estudio para carreteras rurales y/o locales, en función de la velocidad (50KPH) y por el tipo de terreno (plano) la tabla 40 muestra las máximas pendientes sugeridas.

Tabla 42: Pendiente máxima de diseño.

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH								
	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	9	8	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	12	11	11	10	10	9	8	7	6
Montañoso	17	16	15	14	13	12	10	10	---

FUENTE: AASHTO, 2004, pp. 382

Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011 pág.120

Pendiente Mínima: Es la pendiente que se fija para permitir un drenaje adecuado. En los tramos en relleno puede ser nula, efectuándose el drenaje de la carretera mediante el bombeo transversal, pero en los tramos en corte se **recomienda usar 0.50%,** permitiéndose, excepcionalmente, hasta 0.30%.

Longitud Crítica de Pendientes de Diseño: se usa para indicar la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido. para determinar la longitud crítica de pendiente es una reducción en la velocidad de los camiones debajo de la velocidad de operación. El ideal sería que todo el tránsito operara a esta velocidad, sin embargo, esto no es práctico. AASHTO recomienda en casos normales no superar los 15 KPH de reducción de velocidad para camiones en pendiente.

Por razones económicas y tomando en cuenta las condiciones topográficas en Centroamérica, puede ser razonable utilizar reducciones de velocidad de 25 KPH o 40 KPH es decir, para una velocidad de entrada de 110 KPH, aceptar una reducción de velocidad de hasta 85 KPH o hasta 70 KPH, **la tabla 41** muestra la longitud crítica en pendiente para una velocidad de entrada del orden de 110 KPH y variaciones de velocidad de 25 y 40 KPH.

Tabla 43: Longitud critica de pendiente de diseño.

PENDIENTE (P%)	LONGITUD CRÍTICA (m)	
	$\Delta V < 25$ KPH	$\Delta V < 40$ KPH
3	900	--
4	600	--
5	460	740
6	360	670
7	300	475
8	260	400
9	230	350

FUENTE: AASHTO, 2004, Exhibit 3-59. pp. 242

- **Diseño de curvas verticales en cresta.**

Las longitudes mínimas de curvas verticales en cresta que se basan en el criterio de distancias de visibilidad (S), generalmente son satisfactorias desde el punto de vista de seguridad, confort y apariencia.

Tomando en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad dada, se puede expresar la longitud de la curva vertical en función de su constante K, expresándose entonces L = KA.

Tabla 44: Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.

Velocidad de DiseñoKPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52.0	52
110	220	73.6	74
120	250	95.0	95

K = Longitud (m) por porcentaje de A

Fuente: Manual Centroamericano de normas de diseño SIECA 2011 Pag. 125

- Diseño de curvas verticales en columpio.

- **Tabla 45: Control de diseño para curva vertical en columpio para distancia de visibilidad de parada.**

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63

K = Longitud (m) por porcentaje de A

Fuente: Manual Centroamericano de normas de diseño SIECA 2011 Pag.127

Sobreancho en curvas

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños combinadas con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación.

En carreteras con carriles de 3.6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.108).

El sobreancho necesario en las curvas es la diferencia entre el ancho requerido en una curva Wc y el utilizado en una recta, Wn. El ancho requerido para la circulación en curva tiene varios componentes relacionados con la operación de los vehículos sobre las curvas, a saber:

- ✓ Ancho de huella de cada vehículo que se encuentra o pasa
- ✓ Separación lateral por vehículo, C
- ✓ Ancho de la saliente frontal del vehículo que ocupa el carril o carriles interiores, FA
- ✓ Ancho a tener en cuenta por dificultades durante la conducción en curvas, Z.

La fórmula general para calcular el ancho necesario en curva, WC es:

$$Wc = N(U' + C) + (N - 1)F_A + Z \qquad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

N: Número de carriles.

U: Ancho de la huella del vehículo de diseño (Exterior a exterior de llantas), m.

C: Claro lateral, m.

FA: Ancho de saliente frontal en el carril interior, m.

Z: Ancho extra recomendable, m.

Ancho de huella del vehículo en curva (U).

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum Li^2} \qquad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

U: Ancho de la huella del vehículo en curva, m.

R: Radio de la curva o giro, m.

Li: Distancia entre ruedas del vehículo de diseño, entre ejes consecutivos, m.

C: Claro lateral (asumido de 0.6, 0.75 y 0.9 m).

Ancho de saliente frontal en el carril inferior (FA).

$$FA = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R \qquad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

A: Saliente frontal del eje del vehículo, en el carril interior, m.

R: Radio de la curva, m.

L: Distancia entre ruedas de la unidad o del remolque, m.

Ancho recomendable (Z).

$$Z = 0.1\left(\frac{\mathrm{V}}{\sqrt{\mathrm{R}}}\right) \qquad \text{Ecuación } 31$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, Km/h.

R: Radio de la curva, m.

Tabla 46: Parámetros de diseño.

Parámetros para el diseño geométrico	
Clasificación funcional	Local rural
Tipo de terreno	Plano
Vehículo de diseño	C-2 o SU
Velocidad de diseño	50 kph
Distancia de visibilidad de parada	65
Peralte máximo	8%
Coeficiente de fricción lateral	0.19
Radio mínimo	73 m
Grado máximo de curvatura	15º42'
Pendiente máxima	7%
Pendiente transversal	3%
Número de carriles	2
Ancho de carril	3.00 m

Fuente: Elaboración propia.

9. CONCLUSIONES

- Estudio topográfico: Se procesó la información de 901 puntos proporcionados con los detalles del tramo de estudio, con la información se logró verificar que el terreno es plano por presentar pendientes predominantes menores de 5% según lo establece el Manual Centroamericano de Normas de Diseño para Carreteras.
- Estudio de tránsito: Se llevó a cabo el estudio de tránsito mediante un aforo vehicular, este nos permitió conocer el tránsito promedio diario que circula siendo este de 104 vehículos diarios, con este dato y los factores se ajuste obtuvimos un tránsito promedio diario anual (TPDA) de 149 vehículos. Se realizo la proyección del tránsito promedio diario anual considerando variables como crecimiento poblacional, producto interno bruto, historial de tránsito en la zona según MTI y consumo de combustible a nivel nacional, dando como resultado una tasa de crecimiento del 3.59%. En base al TPDA el tramo de carretera se clasifica como una local rural y un periodo de diseño de 15 años para el año 2041 y un TPDA de 255 vehículos/día y el factor ESALS para cada vehículo se obtuvo un ESALS de diseño de 99,841.67
- Estudio de suelo: Se analizó el estudio de suelo a lo largo de la línea central de 11 sondeos con sus muestras representativas. Los ensayos revelaron la presencia de diversos tipos de suelos, incluyendo A-7-5, A-2-7, A-2-6, A-2-7, y se determinó un CBR de diseño de 8.75% con un percentil de 75 para la subrasante.
- Diseño de Pavimento: Se diseñaron los espesores de capas del paquete estructural utilizando el método AASHTO 93 con los datos obtenidos del estudio de suelo y el ESALS de diseño, se aplicaron los nomogramas para base estabilizada, para calcular el módulo resiliente y los coeficientes estructurales para cada capa, para este caso el espesor de la carpeta de rodamiento es de 4 pulgadas de adoquín, un espesor de 2 pulgadas como cama de arena, un espesor 4 pulgadas de base y 4 pulgadas de subbase.

- Diseño Geométrico: Se diseño geométricamente la vía en estudio garantizando la seguridad y las condiciones ideales para los habitantes según las normas SIECA 2011. En base a resultados del estudio de tránsito, se seleccionó un vehículo de diseño C-2, una velocidad de diseño de 50 km/h de acuerdo al TPDA y topografía, un ancho de carril de 3 metros, peralte máximo del 8%, factor de fricción de 0.19, radio mínimo de 73 metros, pendiente máxima de 7% y un bombeo de 3%. Se elaboraron los planos planta - perfil del tramo en estudio.

10 RECOMENDACIONES

Para complementar el diseño geométrico y pavimento deberá ser necesario complementar con algunos estudios que son de carácter importante para el buen funcionamiento del proyecto.

- El estudio hidráulico será importante para la determinación de las obras de drenaje a construir en el tramo.
- El estudio hidrológico para realizar la cantidad de caudal que podría drenar en la carretera.
- El estudio de impacto ambiental para ver el efecto de la construcción.

11. REFERENCIAS

Cordo, I. O. (2006). *AASHTO Design Procedures For New Pavements.* La Paz: NHI.

Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingenieria Geotecnica.* Mexico: Cengage Learning.

Infraestructura, M. d. (2021). *Anuario de aforo de trafico 2020.* Managua: MTI.

Leclair, R. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carretera.* Guatemala: Proalca.

Reyes, R. C. (1994). *Ingeniería de tránsito.* Mexico: Alfaomega.

SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño de Carreteras.* Guatemala: aecid.

Wolf, P. R. (2016). *Topografia.* Mexico: Alfaomega.

12. ANEXOS

Tabla 44: Análisis Granulométrico Sondeo 1

ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

AASHTO T 11 Y AASHTO T 27

				M. Hum (gr)	2046.0
Clasificacóa H.R.B. (AASHTO M 145)	A-2-7 (1)			M. Inicial (gr)	1736.4

Cálculo de Humedad	
No. Pana:	T-05
Masa Húmeda (gr)	152.0
M. Secada al Horno (gr)	129.0
Húmedad del Suelo (%)	17.8

Material menor a 0.075 mm	
Masa Lavada (gr):	1311.0
M. Lavada menor a 0.075 mm (gr):	425.4
M. tamisada menor a 0.075 mm (gr):	4.0
Masa total menor a 0.075 mm (gr):	429.4

Tamices		**Masa (gr)**	**Masa (gr)**	**Porcentaje**	**Porcentaje**	**Porcentaje**	**Especificaciones**	
Pulgadas	**mm**	**Ret. Acum.**	**Ret. Parcial**	**Retenido**	**Ret. Acum.**	**Pasando**	**Mínima**	**Máxima**
3"	75	0	0	0	0	100	-	-
2 1/2"	63	0	0	0.0	0.00	100	-	-
2"	50	0	0	0.0	0.0	100	-	-
1 1/2"	37.5	0	0	0.0	0.0	100	-	-
1"	25.0	122	122	7.0	7.0	93		
3/4"	19.0	218	96	5.5	12.6	87		
1/2"	12.5	323	105	6.0	18.6	81	-	-
3/8"	9.5	396	73	4.2	22.8	77		
No. 4	4.75	552.0	156	9.0	31.8	68		
No. 10	2.00	760.0	208	12.0	43.8	56	-	-
No. 40	0.425	1091.0	331	19.1	62.8	37		
No. 200	0.075	1307.0	216	12.4	75.3	25		
Fondo	-	1311.0	4	24.7	100.0		-	

Página 1

Tabla 45: Análisis Granulométrico Sondeo

LIMITES DE CONSISTENCIA DE LOS SUELOS

METODOS AASHTO T 89 Y AASHTO T 90

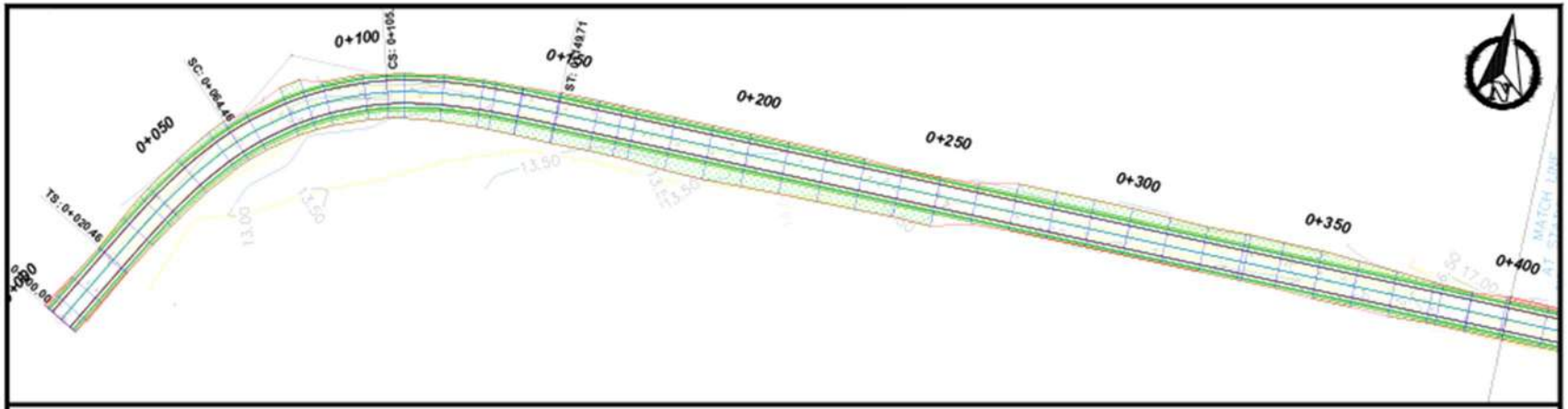
LIMITE LIQUIDO DEL SUELO			89, METODO A		AASHTO T	LIMITE PLASTICO DEL SUELO, AASHTO T 90	
Rango:	30 - 35	25 - 30	20 - 25	15 - 20		-	
No. Golpes de cierre:	30		24	18			
No. Cápsula:	H-13		J-10	J-05		J-05	J-10
Masa Cápsula (gr):	12.52		12.56	12.84		7.44	7.31
M. Cáp + Mat. Húmedo (gr)	36.81		37.12	37.20		23.56	22.89
M. Cápsula + Mat. Seco (gr)	29.80		29.70	29.50		20.23	19.63
M. del Material Humedo (gr)	24.29		24.56	24.36		16.12	15.58
Masa del Material Seco (gr):	17.28		17.14	16.66		12.79	12.32
Masa del Agua (gr):	7.01		7.42	7.7		3.33	3.26
% Humedad:	40.6		43.3	46.2		26.0	26.5
Tipo de Suelo:	Plástico						

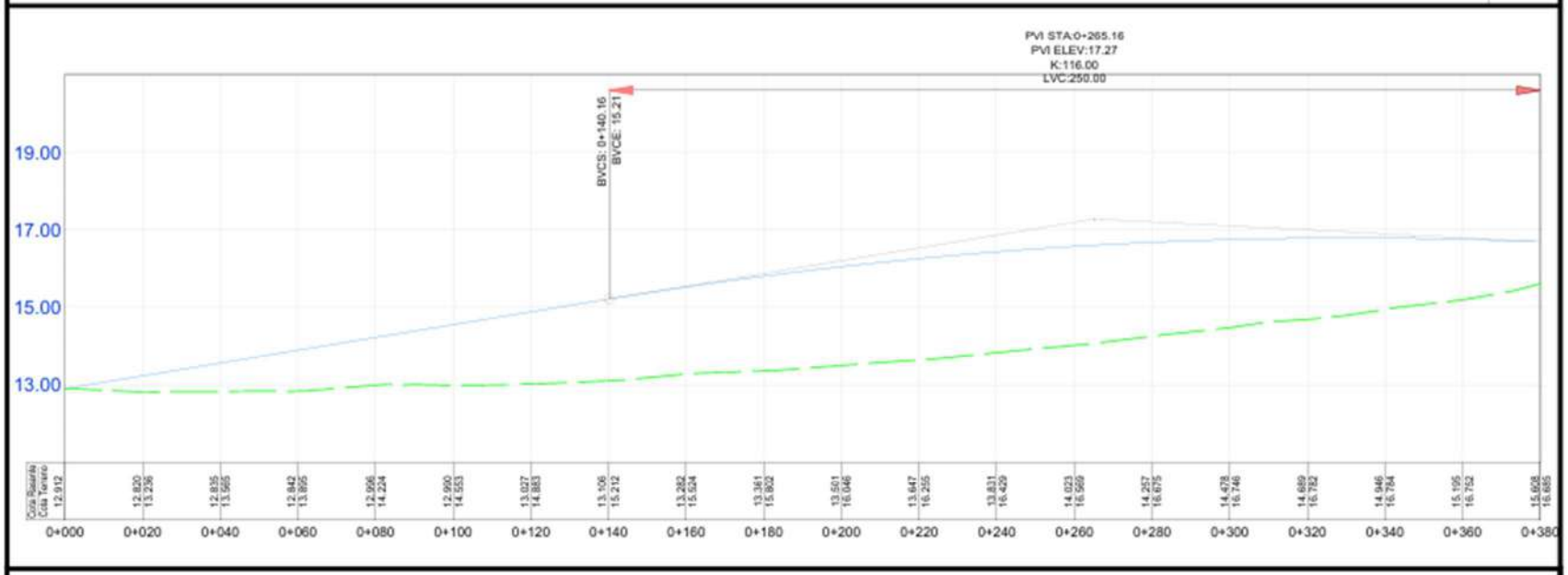
Ver resto de tablas en el link.

Planos

Laminas planta – perfil 1 y 2

Ver resto de los planos en el link





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
AREA DE CONOCIMIENTO DE
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION

AUTORES:
Br. Cristhian Javier Pérez Monocal
Carnet: 2019-0791I
Br. Larry José Carrasco Ulloa
Carnet: 2016-1025U.
Br. Alvin José Matamoros Joaquín
Carnet: 2016-0158I

REVISADO POR:
MSc. José Antonio Hernández Hernández

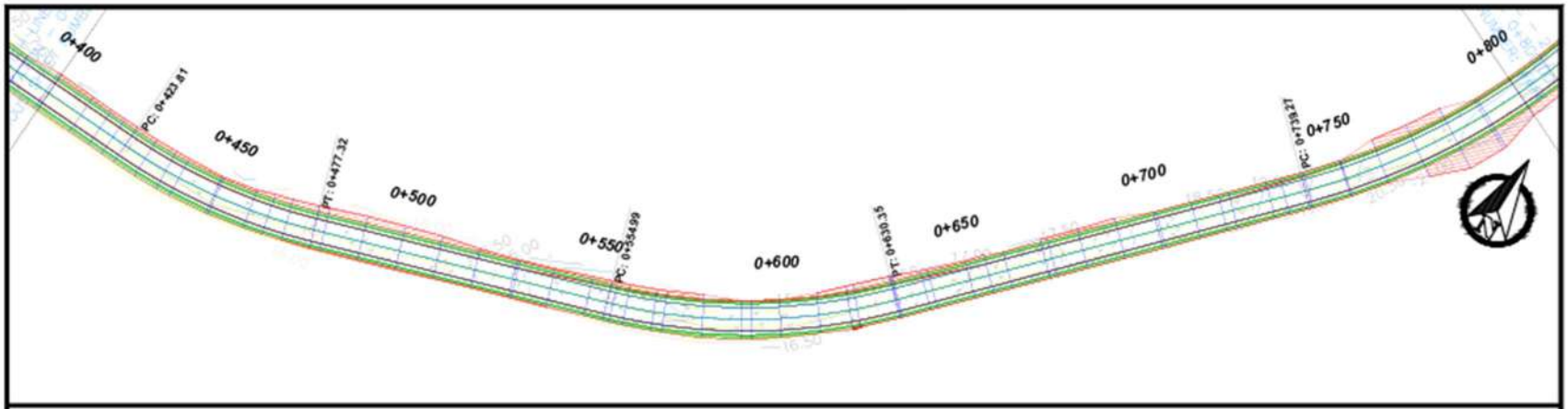
FECHA: MARZO 2026

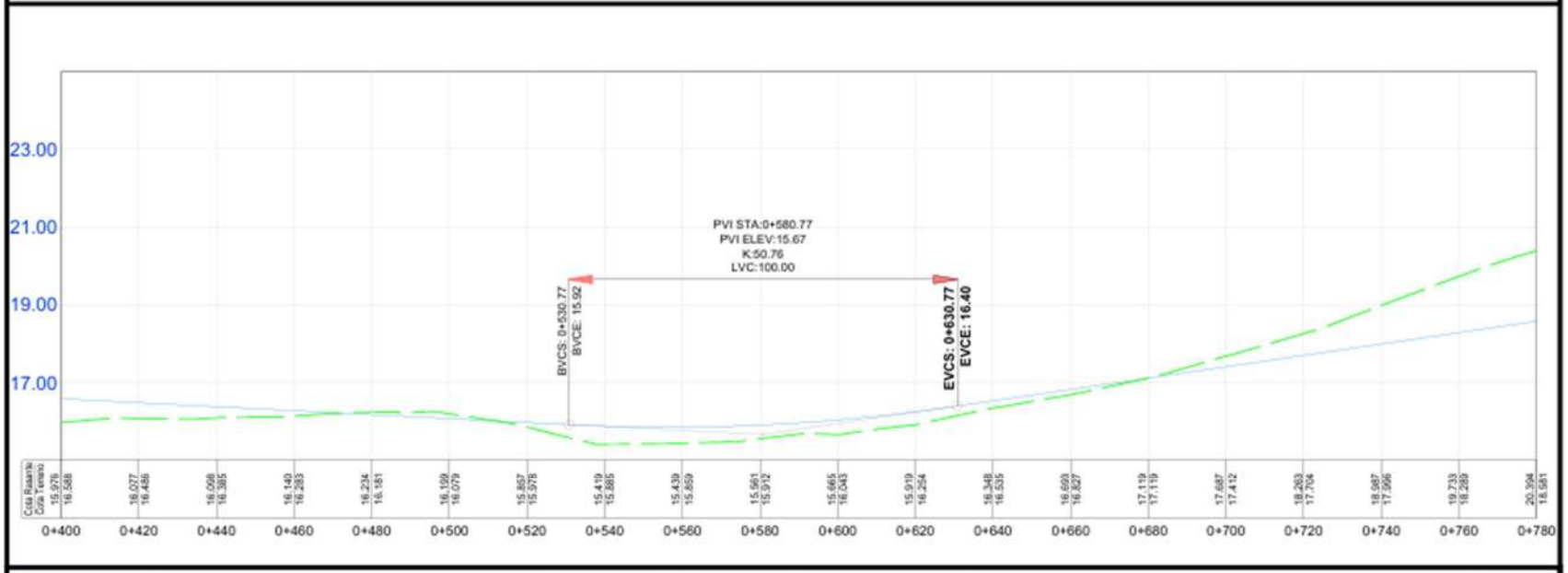
PROYECTO:
DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL MÉTODO AASTHO-93 DE 3 KM QUE CONECTE LA COMUNIDAD DE ESCAMEQUITA CON LA CARRETERA COSTANERA EN EL DEPARTAMENTO DE RIVAS.

CONTENIDO: PLANTA PERFIL EST. 2+880 – EST. 3+000

ESC: 1:1000

LÁMINA 1/8





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
AREA DE CONOCIMIENTO DE
ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION

AUTORES:
Br. Cristhian Javier Pérez Monocal
Carnet: 2019-0781I
Br. Larry José Carrasco Ulloa
Carnet: 2016-1025U.
Br. Alvin José Matamoros Jarquín
Carnet: 2016-0158I

REVISADO POR:
MSc. José Antonio Hernández Hernández

FECHA: MARZO 2026

PROYECTO:
DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL METODO AASTHO-93 DE 3 KM QUE CONECTE LA COMUNIDAD DE ESCAMEQUITA CON LA CARRETERA COSTANERA EN EL DEPARTAMENTO DE RIVAS.

CONTENIDO: PLANTA PERFIL EST. 2+880 – EST. 3+000

ESC: 1:1000

LÁMINA 2/8

Universidad Nacional de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLÍVAR

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	69D09080		
NOMBRE	CARRASCO ULLOA LARRY JOSE		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Diurno	**SEXO**	M
AÑO MATRICULADO	6	**GRUPO**	D1FCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	**AÑO ING. EDUC. SUP**	2016

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	D1FCE-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: 14/04/2026 02:43:02

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

Universidad Nacional de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLÍVAR

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

REPOSICIÓN HOJA DE MATRÍCULA

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6B-221B6-4		
NOMBRE	PÉREZ MENOCAL CRISTHIAN JAVIER		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Diurno	**SEXO**	M
AÑO MATRICULADO	6	**GRUPO**	D1FCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	**AÑO ING. EDUC. SUP**	19

E. M	AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
M	6	D1FCE-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/

FECHA: 15/03/2026

Creado Por: ETORRES
Actualizado Por: BTORREZ1

Universidad Nacional de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLÍVAR

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

REPOSICIÓN HOJA DE MATRÍCULA

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6A-B36D2-6		
NOMBRE	MATAMOROS JARQUIN ALVIN JOSE		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Sabatino	**SEXO**	M
AÑO MATRICULADO	6	**GRUPO**	S1FCE-CIV-S
SIT. ESC	REINGRESO	**AÑO ING. EDUC. SUP**	2016

E. M	AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
M	6	S1FCE-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/

FECHA: 15/03/2026

Creado Por: 6AB36D26
Actualizado Por:

Secretaría Académica de
Área de Conocimiento
Arquitectura y Construcción

CONSTANCIA DE CULMINACION DE ESTUDIOS

La suscrita secretaria Académica del Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), hace constar que:

PEREZ MENOCAL CRISTHIAN JAVIER

Carnet **2019-0797I** Con plan de Estudios **2015**, de conformidad con el Reglamento Académico vigente, ha aprobado las asignaturas del **Programa Académico de Ing.Civil** en el **I Semestre del 2024,** quedando pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio que lo acredite como **Ing. Civil.**

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Dado en la ciudad de Managua, a los 13 días del mes de marzo del año dos mil veintiséis.

Atentamente:

MSc. Beatriz de los Ángeles Tórrez Rodríguez
Secretaria Académica
Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

Teléfono (505) 8379 8901

Recinto Universitario Simón Bolívar RUSB
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua. Apdo.5595

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

Secretaría Académica de
Área de Conocimiento
Arquitectura y Construcción

CONSTANCIA DE CULMINACION DE ESTUDIOS

La suscrita secretaria Académica del Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), hace constar que:

CARRASCO ULLOA LARRY JOSE

Carnet: **2016-1025U** Con plan de Estudios **2015**, de conformidad con el Reglamento Académico vigente, ha aprobado las asignaturas del **Programa Académico de Ing.Civil** en el **II Semestre del 2023,** quedando pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio que lo acredite como **Ing. Civil.**

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Dado en la ciudad de Managua, a los 13 días del mes de marzo del año dos mil veintiséis.

Atentamente:

MSc. Beatriz de los Ángeles Tórrez Rodríguez
Secretaria Académica
Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

CC: Archivo

Teléfono (505) 8379 8901

Recinto Universitario Simón Bolívar RUSB
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua. Apdo.5595

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

Secretaría Académica de
Área de Conocimiento
Arquitectura y Construcción

CONSTANCIA DE CULMINACION DE ESTUDIOS

La suscrita secretaria Académica del Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción, de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), hace constar que:

MATAMOROS JARQUIN ALVIN JOSE

Carnet: **2016-0158I** Con plan de Estudios **2015**, de conformidad con el Reglamento Académico vigente, ha aprobado las asignaturas del **Programa Académico de Ing.Civil** en el **I Semestre del 2022,** quedando pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio que lo acredite como **Ing. Civil.**

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Dado en la ciudad de Managua, a los 13 días del mes de marzo del año dos mil veintiséis.

Atentamente:

MSc. Beatriz de los Ángeles Tórrez Rodríguez
Secretaria Académica
Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

CC: Archivo

Teléfono (505) 8379 8901

Recinto Universitario Simón Bolívar RUSB
Avenida Universitaria.
Managua, Nicaragua. Apdo.5595

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