Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL MÉTODO AASHTO93 DEL TRAMO DE 3KM COMPRENDIDO DESDE ENTRADA ESCUELA TÉCNICA EMPRENDEDORA HASTA ENTRADA MIRADOR LOMAS DEL PUEBLO COMUNIDAD GUAPINOL, DIRIOMO, GRANADA”

Proyecto de Graduación para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Keint Alexander Alonso Guzmán
Carnet: 2018-0794U

Br. Edgard Antonio García Moya
Carnet: 2018-0800U

Br. Elean Alonso Herrera Zeledón
Carnet: 2017-0367U

Tutor:

Msc. José Antonio Hernández Hernández

13 de abril de 2026
Managua, Nicaragua

Área de Conocimiento
Arquitectura y Construcción

Managua, Nicaragua, martes 16 de diciembre de 2025
REF/CULM.EST/TFCE/CIV/015-2025

Keint Alexander Alonso Guzmán
Edgard Antonio García Moya
Elean Alonso Herrera Zeledón
Sus manos. –

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

En el marco de la ***Estrategia de Culminación de Estudios 2025 (Plan Remedial)*** se le(s) comunica que el Tema y objetivos de **Proyecto de Graduación** titulado **"DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO POR EL MÉTODO AASHTO93 DEL TRAMO DE 3KM COMPRENDIDO DESDE ENTRADA ESCUELA TÉCNICA EMPRENDEDORA HASTA ENTRADA MIRADOR LOMAS DEL PUEBLO COMUNIDAD GUAPINOL, DIRIOMO, GRANADA"** ha sido aprobado y se le ha asignado como Tutor(a) al (a la) **M.Sc. 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 Gaitán
Directora

Cc. Expediente Culminación de Estudios

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 De Estructura De Pavimento Articulado Por El Método Aashto93 Del Tramo De 3km Comprendido Desde Entrada Escuela Técnica Emprendedora Hasta Entrada Mirador Lomas Del Pueblo Comunidad Guapinol, Diriomo, Granada."** elaborado por los bachilleres: Elean Alonso Herrera Zeledón, Edgard Antonio Garcia Moya, Keint Alexander Alonso Guzman; 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.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL 2
3. OBJETIVOS 4
Objetivo general 4
Objetivos específicos 4
4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 5
4.1. Ubicación y localización 6
4.1.1. Macro localización 6
4.1.2. Micro localización 7
5. FUNDAMENTOS TÉCNICOS 8
5.1. Estudio de tránsito. 8
5.1.1. Estación de mayor cobertura 9
5.1.2. Tráfico promedio diario anual. 9
5.1.3. Periodo de Diseño 10
5.1.4. Ejes Equivalentes (ESAL) 10
5.1.5. Serviciabilidad ΔPSI 10
5.2. Estudio de suelo. 10
5.3. Pavimento asfaltico o flexible. 11
5.3.1. Adoquín tipo cruz 11
5.3.2. Módulo de resiliencia (MR) 11
6. METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN 12
6.1. Estudio de tránsito: 12
6.1.1. Ejes equivalentes (ESALs o W18) 12
6.3. Diseño de estructura de pavimiento por el método de la AASHTO 93. 14
7. RESULTADOS 15
7.1. ESTUDIO DE TRANSITO 15
7.1.1. Recopilación de datos 15
7.1.2. Determinación del Transito Promedio Diario Anual (TPDA) 21
7.1.3. Tasa de crecimiento vehicular 26
7.1.4. Periodo de diseño 31
7.1.5. Factor de crecimiento 32

7.1.6. Tránsito de diseño 35
7.1.7. ESAL de diseño 40
7.2. ESTUDIO DE SUELOS 44
7.2.1. Clasificación de los suelos 44
7.2.2. Proctor estándar (AASHTO T99) y Proctor modificado (AASTHO T80) 48
7.2.3. Ensayo CBR 51
7.2.4. Límites de Atterberg y pesos volumétricos del banco: 52
7.2.5. Ensaye de Proctor modificado para banco de material Obregón y Capulin. 54
7.2.6. Estabilización con cemento 56
7.3. DISEÑO DE PAVIMENTO 59
7.3.1. Clasificación de los pavimentos 59
7.3.2. Consideraciones del diseño según AASHTO 1993 60
7.3.3. Módulo de resiliencia MR (Sub-Rasante). 62
7.3.4. Drenaje 63
7.3.5. Numero estructural SN 68
7.3.6. Cálculo de espesores de la estructura de pavimento. 68
7.3.7. Diseño estructural (espesores). 72
8. CONCLUSIONES 73
9. RECOMENDACIONES 75
10. REFERENCIAS 76
11. ANEXOS I

1. INTRODUCCIÓN

El tramo de estudio se encuentra ubicado en el departamento de Granada, municipio de Diriomo que está a 48 km de Managua, en la comunidad “El Guapinol”, con una longitud de 3 Km, iniciando desde la coordenada 11° 52’ 34.73” N, 86° 01’ 13.15” O, con elevación 307 msnm y finalizando en la coordenada 11° 52’ 42.33” N, 86° 00’ 24.90” O, con elevación de 303 msnm.

En el municipio de Diriomo se desarrolla actividades en variedad, pero está creciendo en otros ámbitos como es el campo agrícola sus suelos fértiles garantizan siembra de frijol, maíz y otros cultivos no tradicionales como la piña, pitahaya, granadillas y chayotes. Todos estos productos se distribuyen en los mercados municipales de Granada y Masaya así mismo en el pueblo, su transporte en mucha parte es en vehículos livianos como moto taxis, pero se dificulta por mal estado de la vía y en gran parte del invierno no es transitable cabe decir que las autoridades tratan de darle mantenimiento a los caminos, pero siempre tiende a deteriorase.

Otro ámbito que crece de gran manera es el turismo rural, uno de los lugares en desarrollo se encuentra sobre el tramo a trabajar, Lomas del Pueblo, está ubicado en la misma comunidad ya mencionada en las coordenadas 11° 53’ 02.83” N, 86° 00’ 54.07” O, con elevación 401 msnm y en el 1.24 km de los 3 km a elaborar dando así un gran interés económico por el potencial de desarrollo de la vía. Las personas de la localidad no dependen únicamente de estas actividades económicas muchas de ellas se mueven para las empresas textileras que se encuentra cerca del municipio de Diriomo y otro tipo de trabajo que requieren de transporte diario, así como es el estudios secundarios y estudios superiores.

Se pretende con este diseño de pavimento articulado, que el beneficio a la población incurrirá en la disminución de los costos de operación del transporte, así mismo ahorro en mantenimiento e incrementos en los diferentes rubros de producción tanto agrícola como turística.

2. ANTECEDENTES Y MARCO LEGAL

Diriomo surge de las tribus Los Chorotegas que fueran invadidos por los españoles, en si presenta en su mayor parte características coloniales manisfentadose en sus construcciones de viviendas y templo religioso. Un poco alejado de la parte urbana del municipio yace la comunidad El Guapinol a unos 2 Km de distancia, sus mayores construcciones viales ha sido el revestimiento de sus caminos que año a año la alcaldía de Diriomo realiza para la temporada de invierno.

En Nicaragua es un país que depende para su desarrollo de las capacidades de movilización de bienes y personas que residen, especialmente, en su transporte terrestre. El municipio de Diriomo se encuentra atravesado por la carretera que va de Granada a Nandaime en dirección de norte a sur, además cuenta con una carretera regional que conecta a la anterior con los municipios del departamento de Masaya, Carazo y la Capital Managua. Dichas carreteras se encuentran en buen estado y comunican a la ciudad con los centros urbanos de los municipios aledaños y el resto del país y también son las que comunican al casco urbano con la mayoría de las comarcas y los centros poblados que estas contienen.

Las obras viales más destacadas del municipio de Diriomo ha sido la ampliación del tramo Empalme Las Flores—Guanacaste de 17.86 Km (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020). La inversión del BCIE (Banco centroamericano de integración económica), adicionalmente, se realizan obras de drenaje de alcantarillas, construcción de andenes, cajas, puentes, cunetas, ciclovías, entre otras.

Y el reemplazo de adoquinado de 126 ML de la calle hacia el centro de salud de Diriomo en el año 2022, con fondos propios de la municipalidad y el Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP), los cuales fueron ejecutados por el gobierno central y el gobierno del municipio. Desde hace varios años se ha detenido el avance en obras viales en el municipio.

Normativa y documentos de referencia

Normativa internacional

AASHTO - Guide for Design of Pavement Structures (1993): guía empírica ampliamente usada para diseño de pavimentos flexibles y rígidos (cálculo SN, ESAL/W18, factores de confiabilidad, ΔPSI, MR, etc.). Es la referencia técnica principal cuando se aplica el método AASHTO.

ASTM – Normativas para ensayes de laboratorio.

Normativa y documentos nacionales

MTI - Especificaciones Generales Para La Construcción De Caminos, Calles Y Puentes NIC – 2019

MTI - Anuario De Aforos De Trafico Año 2020

Laboratorios acreditados y consultoras - realizan ensayos (CBR, MR, granulometrías, contenido de humedad, densidad, ensayos Marshall/PG para asfalto) exigidos por especificaciones nacionales.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

- Diseñar la estructura de pavimento articulado en el tramo de 3 km comprendido desde entrada escuela técnica emprendedora hasta entrada mirador lomas del pueblo comunidad guapinol, Diriomo, Granada empleando el método de la AASTHO-93.

Objetivos específicos

- Llevar a cabo un estudio de tránsito aplicando metodología MTI para obtención de volúmenes de tránsito, el cálculo del TPDA y ejes equivalentes.

- Ejecutar estudio de suelos sobre la línea del terreno y banco de material para la determinación de las propiedades físicas aplicando normas ASHTO-93.

- Determinar los espesores del pavimento utilizando los datos de estudio de tránsito y estudio de suelos aplicando el método de la AASHTO-93 para que soporte las cargas de diseño.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente trabajo monográfico consiste en el diseño estructural de un pavimento articulado (adoquinado), concebido como una solución de infraestructura vial de carácter aplicado.

El área de estudio se sitúa en el departamento de Granada, específicamente en el municipio de Diriomo. El tramo comprende una longitud de 3 kilómetros, iniciando en el acceso a la Escuela Técnica Emprendedora y culminando en la entrada al Mirador Lomas del Pueblo, en la comunidad El Guapinol.

Socioeconómicamente, la zona representa un punto estratégico de convergencia entre la actividad agropecuaria de pequeña escala y el desarrollo ecoturístico emergente de la meseta de los pueblos. Sin embargo, el contexto físico actual caracterizado por suelos de origen volcánico y una alta pluviosidad genera un deterioro crítico de la vía en épocas de lluvia. Esta deficiencia de infraestructura no solo encarece los costos de operación vehicular, sino que limita el acceso efectivo de la comunidad a la educación técnica y a los servicios básicos, actuando como un freno al desarrollo humano del sector.

Usuarios directos: La comunidad académica de la Escuela Técnica Emprendedora, productores locales que movilizan carga agropecuaria, emprendedores turísticos y las familias residentes en la comunidad El Guapinol que utilizan la vía diariamente.

Usuarios Indirectos: El sector transporte del municipio de Diriomo, turistas nacionales y extranjeros, y las instituciones estatales (Alcaldía y MTI) que se benefician de una infraestructura de menor costo de mantenimiento recurrente.

Protagonistas: El equipo investigador como responsables del diseño técnico, bajo el marco normativo y la supervisión metodológica que rige la práctica de la ingeniería civil en Nicaragua.

Alcances y Limitaciones Alcances:

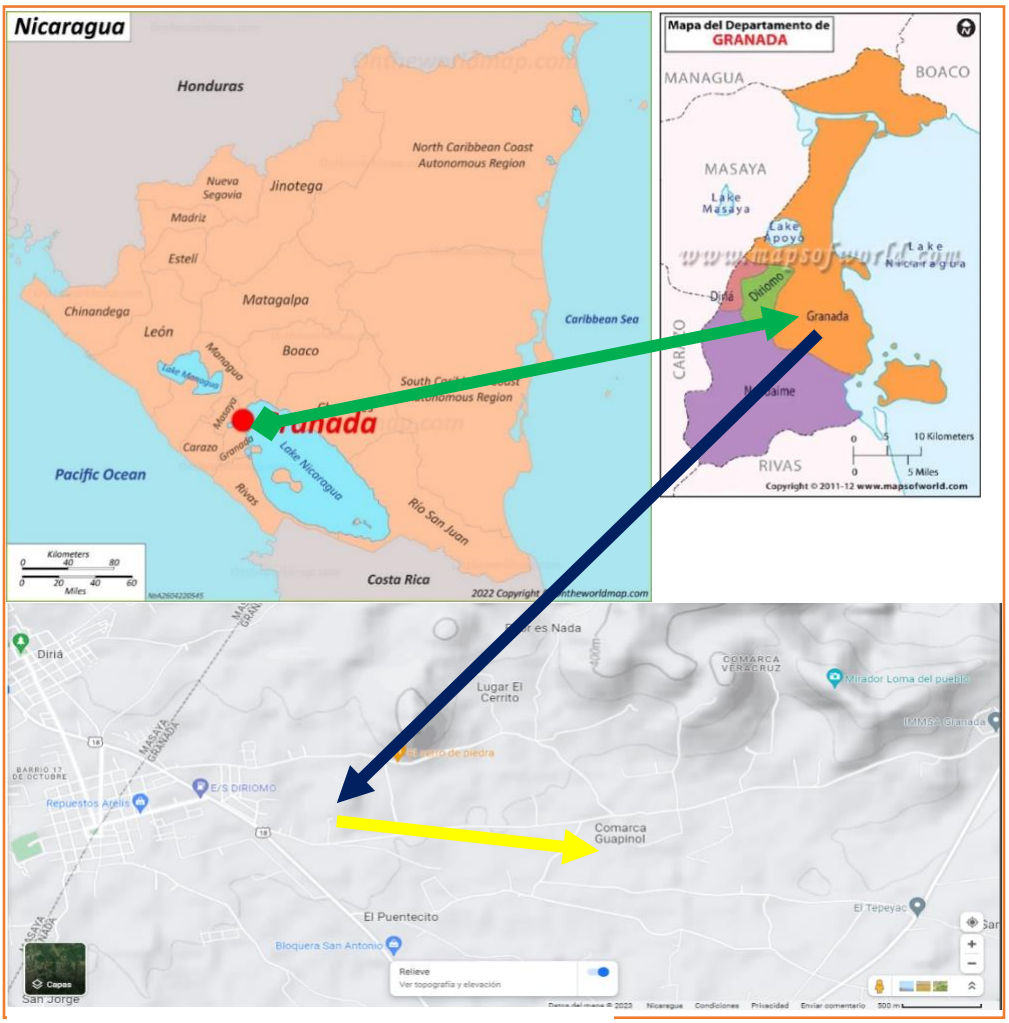
La investigación abarca la caracterización geotécnica para determinar el CBR de diseño, el análisis de demanda de tráfico para el cálculo de ejes equivalentes (ESAL) y el dimensionamiento de las capas estructurales.

El alcance de esta monografía se circunscribe estrictamente al diseño estructural y técnico. No contempla la ejecución física de la obra, el financiamiento de los materiales, ni el estudio de impacto ambiental detallado, centrando su rigor en la viabilidad técnica y la seguridad estructural del diseño propuesto.

4.1. Ubicación y localización

4.1.1. Macro localización

Imagen 1: Departamento de Granada, Municipio de Diriomo, Comunidad El Guapinol.

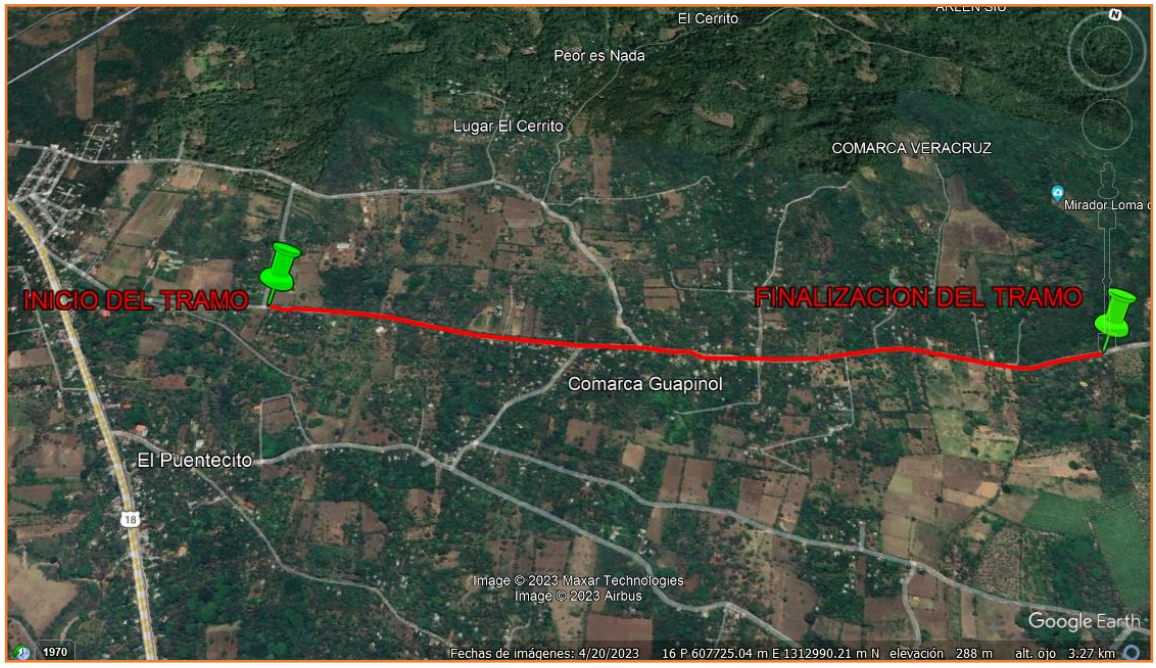


Fuente: (Ontheworldmap.com, s.f.)

4.1.2. Micro localización

Está ubicado a pocos kilómetros de la reserva Volcán Mombacho y Reserva natural Laguna De Apoyo, y es parte de las comunidades del municipio de Diriomo. Y se encuentra a 48 Km de Managua

Imagen 2: Micro localización del tramo.



Fuente: (GoogleEarth, 2023)

5. FUNDAMENTOS TÉCNICOS

5.1. Estudio de tránsito.

Transito es el flujo de vehículos que lleven personas o bienes (o ambas cosas) que circulan en un determinado tramo de carretera, en una vía, en un camino. Los componentes del tránsito, también para los efectos pertinentes del estudio estarán referidos a: los vehículos, la carretera, personas, bienes. También recordemos que la ingeniería de tránsito tiene que ver además de la carretera, la red, terminales, tierras adyacentes y otros modos de transporte.

Los estudios de tránsito sirven tanto para los análisis de ingeniería como para soportar los estudios económicos y estudios de factibilidad (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2008, pág. 28)

Conexos a estos estudios de tránsito podemos agregar:

a. Estudios en intersecciones (conteos volumétricos por flujos y demoras en intersecciones) si los estudios lo requieren b. Inventario y características de la vía, sus facilidades y dispositivos, como también los peatones

b. En la segunda categoría de estudios, están aquellos que son aspectos complementarios de los levantamientos de campo y que por lo general son análisis que se hacen en la oficina de los estudios de campo anteriores. Estos se refieren primeramente al procesamiento de los estudios o levantamientos de campo incluyendo además la información documental obtenida como parte de los estudios mismos. Los estudios de gabinete más conocidos se refieren a: 1. Conteos Volumétricos.
   2. Estudios de velocidades y demoras.
   3. Estudios de tiempos de viaje.
   4. Estudios de origen y destino.
   5. Estudios en intersecciones (conteos volumétricos por flujos y demoras en intersecciones)

5.1.1. Estación de mayor cobertura

Se definen como estaciones de conteos continuos en los 365 días al año con conteos clasificados en 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.

Estaciones de corta duración (ECD).

Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA. Para las estaciones de corta duración se realizan conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (martes, miércoles y jueves). (Ministerio de Transporte e Infraestructura, MTI, Anuario de aforo Managua, 2020)

5.1.2. Tráfico promedio diario anual.

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de un año, dividido entre el número de días de este. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{TPDA = TP(D) * fd * fa * fs}$$

$$(\boldsymbol{Ecuacion\ N_o 1})$$

Donde:

$TPDA$: Transito promedio diario anual

$TP(D)$: Transito promedio diurno, equivalente al trafico promedio diario semanal, cuando se afora en la semana completa durante las 12 horas.

fd: Factor día

fa: Factor ajuste

fs: Factor semana

5.1.3. Periodo de Diseño

Es el tiempo para el cual se estima que un sistema va a funcionar satisfactoriamente, el establecimiento del periodo de diseño o año horizonte del proyecto se puede establecer para cada par de componente del proyecto y depende de los siguientes factores:

- La vida útil de las estructuras o equipamientos teniéndose en cuenta su obsolescencia o desgaste.

- La facilidad o dificultad de la ampliación de las obras existentes.

- Las tendencias de crecimiento de la población futura con mayor énfasis el del posible desarrollo de sus necesidades comerciales e industriales.

5.1.4. Ejes Equivalentes (ESAL)

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan un determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil.

5.1.5. Serviciabilidad ΔPSI

Es la manera en que un pavimento cumple su función de ser cómoda, fácil, rápida y segura para la circulación de los vehículos. El índice de serviciabilidad varia de 5 (Excelente) a 0 (Pésimo). El método AASHTo-93 predice el porcentaje de pérdidas de Serviciabilidad (ΔPSI), para varios niveles de tránsito y cargas de ejes, entre mayor sea la perdida de serviciabilidad (ΔPSI), mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar.

5.2. Estudio de suelo.

El estudio de suelo nos brindará la información necesaria para conocer las condiciones físico - mecánicas del subsuelo a lo largo del camino, así como los posibles bancos de materiales disponibles en la zona.

CBR es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad cuidadosamente controladas y se expresa en porcentaje como la razón de la carga unitaria que se requiere para introducir un pistón dentro del suelo, a la carga unitaria requerida para introducir el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra patrón (piedra partida). La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$\boldsymbol{CBR = \frac{carga\ unitaria\ del\ ensayo}{carga\ unitaria\ del\ patron} * 100\%}$$

$$\boldsymbol{(Ecuacion\ N_o 2)}$$

5.3. Pavimento asfaltico o flexible.

Este tipo de pavimento está constituido por una capa delgada de mezclas asfáltica construida sobre una capa de base y capa de subbase las que normalmente son de material granular, todas estas capas están sobre una capa de suelo compactado, llamada subrasante (Giordani & Leone, 2015).

5.3.1. Adoquín tipo cruz

Según Cemex Nicaragua, el adoquín tipo cruz es un pavimento flexible, elaborados a base de áridos de alto peso específico, que se vibró comprimen en figura de cruz, que al unirse los elementos forman una superficie de rodamiento estable y sólida para la circulación vehicular (CEMEX, 2018).

5.3.2. Módulo de resiliencia (MR)

El módulo de resiliencia (MR) es una medida de la capacidad elástica del suelo o material de una capa de pavimento para recuperar su forma después de ser sometido a cargas repetidas como la de los vehículos.

6. METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

Para la elaboración de este trabajo monográfico y cumplimiento de cada uno de los objetivos ya propuesto, se ha definido seguir una serie de trabajos que se describirá a continuación.

6.1. Estudio de tránsito:

En este estudio se realizará un aforo vehicular, el cual se hará en el tramo a diseñar con coordenadas inicial 11° 52’ 34.73” N, 86° 01’ 13.15” O y final 11° 52’ 42.33” N, 86° 00’ 24.90” O. Utilizando la metodología y formatos del MTI para contabilizar los tipos de vehículos que pasan en ambas direcciones en el tramo durante un periodo de tiempo de 12 horas; este proceso se llevara a cabo en día de semana, martes, miércoles y jueves de 6:00 am- 6:00 pm.

Con los datos que se vayan a recopilar realizaremos el estudio de tránsito, y con ayuda del Microsoft Excel obtendremos el TPDA de la zona en estudio.

Una vez determinado el TPDA, se procede a calcular el ESALs aplicando los factores sugeridos por el Manual centroamericano de diseño de pavimientos, SIECA 2011.

6.1.1. Ejes equivalentes (ESALs o W18)

Este lo obtendremos conociendo el tránsito de diseño (TD) y los factores de equivalencia (ESAL). Estas son las ecuaciones que usaremos:

$$\boldsymbol{TPDA = TD * FD * FS * FT * 365} \qquad (\boldsymbol{Ecuacion\ N_O 3})$$

$$\boldsymbol{ESAL\ o\ W18 = TD * FESAL} \qquad (\boldsymbol{Ecuacion\ N_O 4})$$

Factor equivalente

La obtendremos de la AASTHO 93 apéndice D, para ejes sencillos y dobles.

6.2. Estudio de suelos

Se examinará los resultados de los datos de laboratorio del estudio de suelos que se realizará en el tramo con la finalidad de obtener los parámetros para los espesores de pavimientos.

Llevaremos a cabo un sondeo a cada 250 mts de distancia y 1.5 mts de profundidad para tomar las muestras de materiales encontradas en el tramo a diseñar, este muestreo se llevará al laboratorio de suelos para realizarle ensayes para obtención de CBR del tramo. Una vez recolectadas y agrupadas las muestras, se aplicará los ensayos de laboratorios para determinar las caracterices de los suelos, aplicándose las normas ASTM.

Tabla 1: Ensayes a realizar para estudio de suelos

No	Ensayo	Especificaciones AASHTO
1	Granulometría de los suelos	AASHTO T27 / AASHTO T11
2	Limite liquido de los suelos	AASHTO T89
3	Índice de plasticidad de los suelos	AASHTO T90
4	Ensayo Proctor modificado	AASHTO T180
5	Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio)	AASHTO T193

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos del laboratorio, debemos ver si nuestro CBR cumple con los requerimientos mínimos que se encuentran en la NIC 2019 tomo II. El banco de material Obregon, estará con el fin de proveer fuentes materiales para la capa y subbase si nuestros estudios de laboratorios no cumplen con los requerimientos.

6.3. Diseño de estructura de pavimiento por el método de la AASHTO 93.

El diseño de pavimientos consiste en determinar los espesores de las capas que conforman las superficies de rodadura, este diseño está basado en los estudios de tránsito y las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como otras variables. En el método de las AASHTO 93 los pavimientos se proyecten para que logren resistir el daño que producen el peso de un eje, para el cálculo se transformara a un eje de 80 Kn o 18 kips, con cual se denomina carga de eje simple ASALs. La ecuación de este método de diseño es:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\frac{\Delta PSI}{4.2-1.15}}{0.4+\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

$$(Ecuacion\ N_O 7)$$

Donde:

$W18$: Numero de cargas de 18 Kips (80 Kn) previstas.

Z_R: Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva.

S_O: Desvio estándar de todas las variables.

ΔPSI: Perdida de servicialidad.

M_R: Modulo resiliente de la sub rasante.

7. RESULTADOS

7.1. ESTUDIO DE TRANSITO

Presentaremos los resultados adquiridos mediante el estudio de tránsito, la cual constituye una pieza clave el diseño vial y las proyecciones futuras. Este estudio nos permitirá determinar el Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) a través de un aforo vehicular en el sitio seleccionado en la ejecución del proyecto. También se efectuó la proyección de tránsito para un periodo de diseño de 15 años, considerando la tasa de crecimiento vehicular, el Producto Interno Bruto (PIB) y el crecimiento poblacional como factores determinantes.

7.1.1. Recopilación de datos

El objetivo de esta evaluación es procesar las demandas vehiculares lo que conlleva la cuantificación de tránsito en ambos sentidos de la vía, en la coordenas UTM 606700.30 E, 1313064.48 N como punto de referencia principal, debido a su función como único acceso a los destinos locales **(Tabla 2)**. El estudio realizado se llevó a cabo mediante especificaciones técnicas del MTI, donde se llevó a cabo un análisis previo al aforo, mediante el cual se identificó el tipo de zona, considerando que para caminos rurales el flujo vehicular generalmente es superior a 300 TPDA, eligiéndose la aplicación de conteos vehiculares de corta duración, realizados de manera continua durante un período de 12 horas. (6:00 a 18:00) en tres días, desde el 6 de enero a 8 de enero de 2026. Este aforo se hará de manera manual en la estación 0+000 en el inicio del tramo por lo que no hay intersección de por medio enfrente de Escuela Técnica Emprendedora. (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020, pág. 19).

A partir del conteo vehicular realizado en la zona, se exponen los resultados derivados de las mediciones de 12 horas diarias. Estas cifras corresponden al ciclo de tres días consecutivos definido en la metodología para caracterizar el flujo vial del sector.

Tabla 2. Resultados de aforo vehicular.

TRAMO DE 3KM COMPRENDIDO DESDE ENTRADA ESCUELA TECNICA EMPRENDEDORA HASTA ENTRADA MIRADOR LOMAS DEL PUEBLO COMUNIDAD GUAPINOL, DIRIOMO, GRANADA											
Ubicacion (coordenadas UTM): 606700.30 E, 1313064.48 N hasta 608159.34 E, 1313303.12 N								Fecha: Martes 6 de enero 2026 Ambos sentidos: Oeste-sureste - este-noreste			
Dia	Vehiculos pasajeros								Vehiculos Carga		
	Vehiculos livianos				Autobuses				Camiones		
	Moto	**Automóvil**	**Jeep**	**Camioneta**	**Microbús**	**Mini Bus**	**Bus liviano**	**Liviano 2-5 t**	**Camión rígido (C2)**	**Camión articulado (C3)**	Total vehiculos / 12 horas
Martes	356	368	32	109	18	6	1	35	19	0	944
Miércoles	341	341	27	122	30	14	8	31	18	3	935
Jueves	315	264	22	116	14	4	11	37	17	1	801
Total (T.Diurno)	1012	973	81	347	62	24	20	103	54	4	2680
Total TPD	2519							161			2680
Veh/12 hr, %por tipo	338	326	28	116	22	8	8	36	18	2	902
	37.76%	36.31%	3.02%	12.95%	2.31%	0.90%	0.75%	3.84%	2.01%	0.15%	100.00%
	90%				4%			6%			
	% Vehiculos Livianos				%Vehiculos de pasajeros			%Vehiculos pesados			

Fuente: Elaboración propia.

Los datos que se muestra en nuestra tabla se utilizan para determinar los factores de ajustes, se seleccionó primeramente el vector geográfico, en este caso la región pacífica y al departamento de Granada **(Tabla 3)**. Se eligió la estación de corta duración porque el tránsito promedio diario es mayor de 300 vehículos al día de acuerdo al (Ministerio de transporte e infraestructura, MTI, Anuario de aforo Managua, 2020, pág. 8) más cercano al tramo de estudio, NIC-11B, Emp. Catarina – Emp. El Guanacaste **(Tabla 4)**, número 200, Entrada al INCAE-El Crucero **(Tabla 5)**, no obstante, las composiciones vehiculares difieren de los resultados del aforo, motivo por el cual se seleccionó la estación de Corta Duración NIC-27, Tisma - Masaya (La Inca) **(Tabla 6)**, misma que presenta concordancia con los datos del aforo y forma parte de la Estación de Mayor Cobertura, 1802 San Marcos-Masatepe **(Tabla 7).**

Tabla 3. Vector geográfico.

Numero	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)

Fuente: (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020, pág. 15)

Tabla 4. Trafico promedio diario anual histórico por tipo de vehículo año 2020, (ECD, Emp. Catarina – Emp. El Guanacaste)

187	NIC-27	2702	ECD	Emp. Catarina – Emp. El Guanacaste	2020	2242	1326	374	946	211	62	319	385	229	45		428			2		1	6.57
					2019	1544	1210	337	806	71	47	321	363	252	48		291			1		13	5.304
					2014	1149	1104	411	849	131	47	305	385	301	38		294					10	5.024
					2012	651	708	295	682	134	24	257	302	277	71	1	263			1		7	3.673
					2010	802	839	455	889	118	20	339	361	286	49	1	251					11	4.421
					2009	539	755	403	935	112	13	358	334	249	68		322					10	4.099
					2007	294	469	198	548	63	15	299	220	223	30		175					6	2.54
					2005	208	750	381	858	83	26	354	194	216	28		174	2	1	1		12	3.288
					2003	200	755	379	904	103	21	237	218	284	42		184	0	0	1		22	3.351
					2002	167	562	338	915	89	24	273	191	210	34		194	1				20	3.017
					1999	124	404	356	641	11	19	209	118	216	58		215	1		1	1	7	2.381
					1998	139	484	288	772	20	23	261	150	183	26	2	189	1		1		5	2.544
					1997	113	303	303	674	8	52	207	65	150	23	4	154	1	1	1	1	20	2.08
				EMC:1802																			
				Tasa de crecimiento: 6.74%	2020	2242	1326	374	946	211	62	319	385	229	45		428			2		1	6570
						Liv. 1875				Pasaj. 85			Pesado: 129										
						74%				9%			17%										

Fuente: (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020, pág. 141)

Tabla 5. Dependencia de estaciones, Entrada al INCAE-El Crucero

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	N° ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
200 Entrada al INCAE-El Crucero	NIC-10	1001	ECD	Emp. Santa Rita – Emp. Villa El Carmen
	NIC-11A	1100	ECD	Emp. Coyotepe – Emp. Zambrano
	NIC-11A	1101	ECD	Emp. Zambrano – Tipitapa (Inter NIC-1)
	NIC-11B	1801	ECD	Emp. Catarina – Emp. El Guanacaste
	NIC-12A	1200	ECD	Semáforos Auto Hotel Nejapa – Emp. Santa Rita
	NIC-12A	1203	ECD	León – Telica
	NIC-21B	2115	ECD	Siuna – Emp. Alamikamba
	NIC-25	2502	ECD	Emp. San Miguelito – San Carlos
	NIC-25	2514	ECD	Melchora – Frontera con Costa Rica
	NIC-28	2810	ECD	Cuesta Héroes y Mártires – Entrada a Ciudad Sandino
	NIC-28	2811	ECD	Entrada a Ciudad Sandino – Los Brasiles

Fuente: (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020, pág. 43)

Tabla 6. Trafico promedio diario anual histórico por tipo de vehículo año 2020, la que concuerda con nuestros datos, (ECD, Tisma - Masaya (La Inca)

				Descripcion	Año	Moto	Automóvil	Jeep	Camioneta	Microbús	Mini Bus	Bus liviano	Liviano 2-5 t	Camión rígido (C2)	Camión articulado (C3)	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx <= 4e	V.A	V.C	Otros	TPDA
187	NIC-27	2702	ECD	Tisma-Masay (La INCA)	2020	1309	346	21	199	15		70	70	23	13		10			1		10	2087
					2019	2476	1023	105	324	47		74	103	103	13		15			1		15	4299
					2013	2267	872	84	580	45	2	66	249	64	25		3			1	1	9	4268
					2011	565	623	54	243	17		47	75	16	1		1			1		9	1652
					2010	506	494	57	228	12		42	85	10	3					1		82	1520
					2009	418	331	46	186	9	1	43	66	8			1						1109
					2005	119	185	25	183	5	1	35	60	23	3		5			0		1	644
					1999	16	1	6	27			17	3	3	0					2		7	83
				EMC:1802																			
				Tasa de crecimiento: 6.74%	2020	1309	346	21	199	15		70	70	23	13		10			1		12	2089
						Liv. 1875				Pasaj. 85			Pesado: 129										
						90%				4%			6%										

Fuente: (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020, pág. 179)

Tabla 7. Dependencia de estaciones, San Marcos-Masatepe.

	Estacion correspondiente por vector geografico, coincide con datos del aforo			
ESTACION DE MAYOR COBERTURA	**NIC**	**N° ESTACION**	**TIPO**	**NOMBRE DEL TRAMO**
1802 San Marcos-Masatepe	NIC-21B	2106	ECS	Mulukuku - Siuna
	NIC-21B	2110	ECS	Río Wawa - Emp. Waspam
	NIC-23A	2301	ECD	Santo Tomás - Emp. San Pedro de Lóvago
	NIC-23A	2301B	ECS	Emp. San Pedro de Lóvago - La Libertad
	NIC-23B	711	ECD	Juigalpa - Emp. Betulia
	NIC-23B	715	ECD	Emp. Betulia - La Libertad
	NIC-23B	2309	ECS	Santo Domingo - El Ayote - La Piñuela
	NIC-23B	2310	ECD	Los Chinamos - El Ayote.
	NIC-25	2501	ECD	Emp. Lóvago - Acoyapa
	NIC-25	2507A	ECS	San Carlos - Melchora
	NIC-25B	2513	ECS	La Argentina - Melchora
	NIC-27	2701	ECD	Emp. Zambrano - Tisma
	NIC-27	2702	ECD	Tisma - Masaya (La Inca)

Fuente: (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020, pág. 56)

7.1.2. Determinación del Transito Promedio Diario Anual (TPDA)

Con los volúmenes de tránsito diurno diario alcanzados por medio del aforo vehicular, se llevó a cabo la determinación del TPDA, aplicando los factores de ajustes que se aplican en la estación mayor cobertura que seleccionamos, en este caso, 1802 San Marcos-Masatepe. En la **Tabla 8** contiene los factores de ajustes del primer cuatrimestre (enero a abril), que son correspondiente al periodo que se realizó nuestro aforo.

Tabla 8. Factores del primer cuatrimestre del año 2020 (Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos-Masatepe)

Factores del primer cuatrimestre del año 2020 (Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos-Masatepe)										
Descripcion	Moto	Automóvil	Jeep	Camioneta	Microbús	Mini Bus	Bus liviano	Liviano 2-5 t	Camión	Camión
Factor Dia	1.34	1.29	1.18	1.25	1.23	1.14	1.38	1.15	1.2	1.21
Factor semana	0.95	0.96	1	0.97	0.92	0.93	0.89	0.91	0.83	0.86
Factor fin de semana	1.15	1.11	0.99	1.08	1.3	1.22	1.44	1.33	2.07	1.68
Factor expasion a TPDA	1.15	1.15	1.35	1.13	1.2	1.23	1.16	1.15	1.04	1.27

Fuente: (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020, pág. 385)

Para determinar TPDA se debe aplicar la siguiente ecuación.

$$\boldsymbol{TPDA = TP(D)_{12\,hrs} * Fd * Fs * Fe}$$ **Ecuación N° 1**

Donde:

$TP(D)_{12\,hrs} =$ Tránsito promedio diurno (12 horas)

$Fd = Factor\ dia$

$Fs = Factor\ semana$

$Fe = Factor\ expasion$

Con base en los factores definidos en el Anuario de Aforo de Tráfico 2020, se aplicó el factor diario para la conversión del conteo de 12 horas a 24 horas, el factor semanal para la expansión de tres a siete días y el factor de expansión del TPDA. Los resultados del Tráfico Promedio Diario Anual se muestran en el apartado siguiente **Tabla 9.**

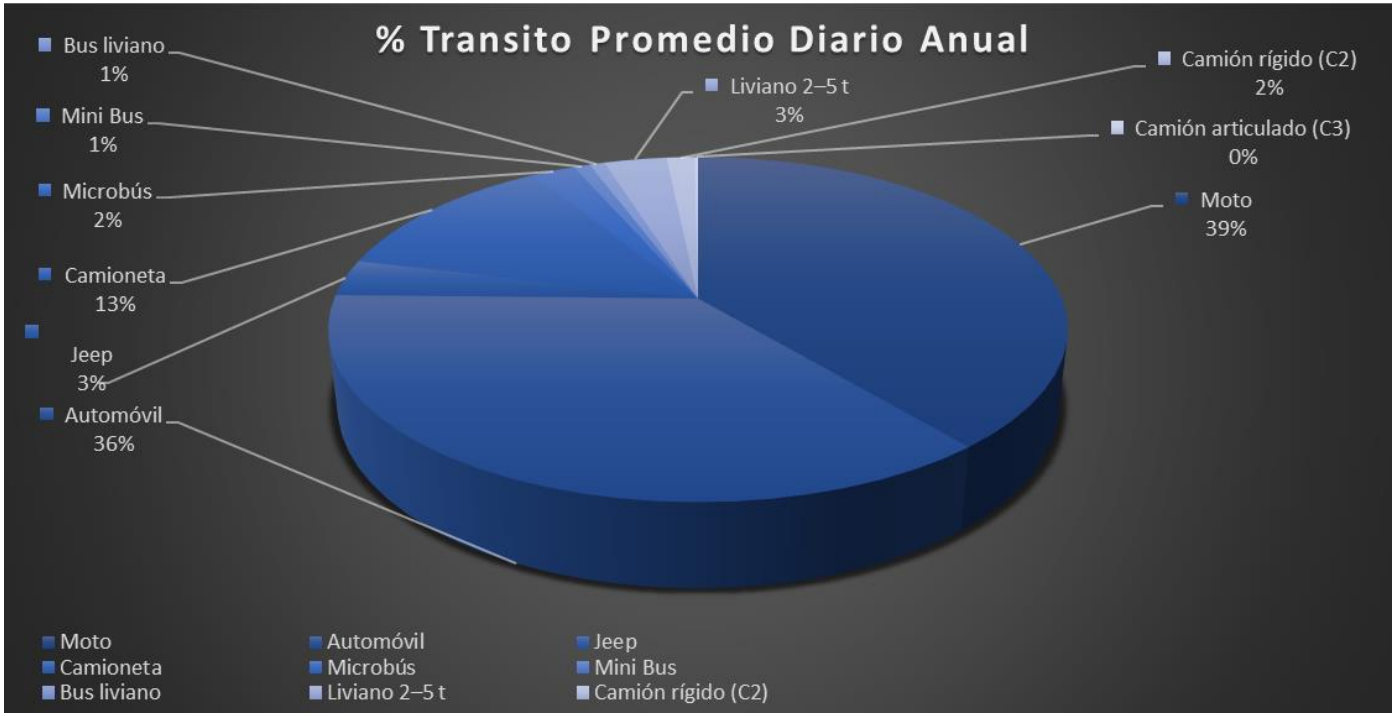
Tabla 9. Transito Promedio Diario Anual, aplicando factores para cada tipología.

Dia	Vehiculos livianos				Autobuses				Vehiculos Carga		Total vehiculos / 12 horas
	Moto	Automóvil	Jeep	Camioneta	Microbús	Mini Bus	Bus liviano	Liviano 2-5 t	Camión rígido (C2)	Camión articulado (C3)	
Martes	356	368	32	109	18	6	1	35	19	0	944
Miércoles	341	341	27	122	30	14	8	31	18	3	935
Jueves	315	264	22	116	14	4	11	37	17	1	801
Factor Dia	1.34	1.29	1.18	1.25	1.23	1.14	1.38	1.15	1.2	1.21	
Factor semana	0.95	0.96	1	0.97	0.92	0.93	0.89	0.91	0.83	0.86	
or expasion a T	1.15	1.15	1.35	1.13	1.2	1.23	1.16	1.15	1.04	1.27	
TPDA	1012	973	81	347	62	24	20	103	54	4	2680
TPDA 2026	1482	1386	130	476	86	32	30	124	56	6	3808
%TPDA 2026	38.92%	36.40%	3.41%	12.50%	2.26%	0.84%	0.79%	3.26%	1.47%	0.16%	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

El transito promedio diario anual perteneciente al tramo entrada Escuela técnica Emprendedora a entrada mirador lomas del pueblo comunidad guapinol, Diriomo es de 3808 vehículos por día, tal como se aprecia en el gráfico siguiente, se presenta la distribución en porcentajes de cada tipología vehicular donde los vehículos livianos representa el mayor porcentaje correspondiente 94% y los vehículos pesados es de 6% del TPDA.

Figura 1. Porcentaje de vehículos que circulan por el tramo en estudio.



Fuente: Elaboración propia

La proyección del tránsito para el periodo de diseño del pavimento integrando el crecimiento vegetativo con variables macroeconómicas y demográficas. Bajo los lineamientos del MTI, fundamentamos la tasa de crecimiento anual (ı) en el análisis del Producto Interno Bruto (PIB), la dinámica poblacional y las series históricas de los Anuarios de Aforo, asegurando que la estructura vial mantenga niveles de servicio más conveniente durante su vida útil. (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020, pág. 19)

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

$$\left[\left(\frac{TPDAi}{TPDAo}\right)^{1/n} - 1\right] * 100$$ (Para años discontinuos) **EcuaciónN° 2**

Donde:

$Tc = Tasa\ de\ crecimiento\ vehicular$

$TPDAi = Trafico\ promedio\ diario\ actual$

$TPDAo = Trafico\ promedio\ diario\ año\ base$

$n = Diferencia\ de\ años$

$$TCn = \left(\frac{TPDAn}{TPDAn-1}\right)^{\frac{1}{n}}$$ (Para años continuos) **Ecuación N° 3**

Donde

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

$TPDAn: Trafico\ promedio\ diario\ del\ año\ en\ análisis.$

$TPDAn - 1: Trafico\ promedio\ diario\ del\ año\ anterior.$

$n = Diferencia\ de\ años$

Determinadas las tasas de crecimiento entre años consecutivos, se procede al cálculo de la media geométrica empleando la siguiente expresión matemática:

$$Tf = \left[(TC1 * Tc2 \ldots Tcn)^{1/n} - 1\right]$$ (Para años continuos) **Ecuación N° 4**

Donde:

$Tf: Tasa\ de\ crecimiento\ final$

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

$n: Cantidad\ de\ tasas\ de\ crecimiento$

7.1.3. Tasa de crecimiento vehicular

La estación de corta duración seleccionada, Tisma–Masaya (INCA), identificada con el código NIC-22, proporciona información histórica representativa del comportamiento del tránsito vehicular en la zona de influencia del proyecto. Estos registros permiten analizar la evolución del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) a lo largo del tiempo y constituyen un insumo fundamental para la determinación de las tasas de crecimiento del tránsito en el área de estudio (**Tabla 10**).

Tabla 10. Datos históricos del TPDA, (ECD).

Datos históricos del TPDA, Tisma-Masay (La INCA)		
Año	**TPDA**	**T.C. Vehicular %**
1999	83	
2005	644	40.75
2009	1109	14.56
2010	1520	37.06
2011	1652	8.68
2013	4268	60.75
2019	4299	0.12
2020	2087	-51.45
T. Crecimiento (Promedio)		15.78

Fuente: (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020, pág. 179)

Ejemplo: Tasa de crecimiento año 1999 a 2005

$$Tc = \left[\left(\frac{644}{83}\right)^{1/(2005-1999)} - 1\right] * 100 = 40.75\%$$

$$TC(Promedio) = 15.78\%$$

Tras el análisis estadístico, el promedio de las tasas de crecimiento positivas resultó en un 15.78 %. No obstante, este valor se identificó como un sesgo debido a una alta dispersión en los registros, producto de fluctuaciones atípicas en el tránsito que no representan una tendencia sostenible a largo plazo.

Ante esta distorsión, y para garantizar un parámetro de diseño coherente con la realidad del parque vehicular, se optó por un análisis de correlación basado en el consumo de combustible. Esta metodología de ajuste es técnicamente superior cuando las series históricas de TPDA presentan valores extremos, permitiendo obtener una tasa de crecimiento más conservadora y estructuralmente confiable para el proyecto.

7.1.3.1. Tasa de crecimiento por consumo de combustible

Se aplicó un criterio de exclusión para este dato atípico, recurriendo al *Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2020* para calcular una tasa basada en el consumo de gasolina y diésel. Este indicador indirecto permite corregir el sesgo y establecer una tasa de crecimiento técnica, coherente y representativa para el período de diseño del proyecto.

Tabla 11. Datos históricos del consumo nacional de combustible.

Tasa de crecimiento por consumo de combustible (2006-2022)		
Año	**Consumo de Combustible (Miles de barriles)**	**TCn (Consumo de combustible) %**
2006	4,702.60	
2007	5,221.60	1.110
2008	4,858.80	0.931
2009	4,918.00	1.012
2010	5,143.10	1.046
2011	5,388.00	1.048
2012	5,615.80	1.042
2013	5,788.20	1.031
2014	6,127.10	1.059
2015	6,813.70	1.112
2016	7,287.50	1.070
2017	7,596.40	1.042
2018	7,060.30	0.929
2019	7,267.10	1.029
2020	7,210.10	0.992
2021	8,072.60	1.120
2022	8,077.50	1.001
Ft		0.0344

Fuente: (Anuario de estadísticas macroeconómicas , 2020, pág. 34)

Ejemplo: Tasa de crecimiento año 2006-2007.

$$TCn = \left(\frac{5221.6}{4702.6}\right)^{\frac{1}{1}} - 1 = 1.10\%$$

Luego de obtener las diversas tasas de crecimiento, se procedió a aplicar la siguiente media geométrica:

$$Tf = \Big[(1.110 * 0.931 * 1.012 * 1.046 * 1.048 * 1.042 * 1.031 * 1.059 * 1.112 * 1.070 * 1.042 * 0.929 * 1.029 * 0.992 * 1.120 * 1.001)^{1/(2022-2006)} - 1\Big]$$

$$= 0.0344 \approx 3.44\%$$

7.1.3.2. Tasa de crecimiento del producto interno bruto (PIB)

La información histórica del Producto Interno Bruto de Nicaragua, obtenida del Banco Central de Nicaragua, permitió analizar su comportamiento desde el año 2006 hasta el 2021, presentándose los resultados en la siguiente **Tabla 12.**

Tabla 12. Datos históricos del producto interno bruto de Nicaragua.

Tasa de crecimiento del producto interno bruto (PIB)		
Año	**BIP (Millones de córdobas)**	**TCn(PIB) %**
2006	118,837.70	
2007	124,870.30	1.051
2008	129,160.50	1.034
2009	124,907.70	0.967
2010	130,416.30	1.044
2011	138,654.20	1.063
2012	147,661.40	1.065
2013	154,936.80	1.049
2014	162,351.30	1.048
2015	170,131.60	1.048
2016	177,894.90	1.046
2017	186,133.60	1.046
2018	179,873.30	0.966
2019	173,074.50	0.962
2020	169,977.30	0.982
2021	187,560.90	1.103
Tf		0.031

Fuente: (Anuario de estadísticas macroeconómicas , 2020, pág. 10)

7.1.3.3. Tasa de crecimiento Poblacional

El análisis de la tasa de crecimiento poblacional se realizó a partir de los datos de población estimada, proporcionados por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), del departamento de Masaya, municipio de La Concepción, correspondientes al período 2006–2022. **(Tabla 13)**

Tabla 13. Población Municipio de Diriomo, periodo 2006-2022
(INIDE).

Población total por año del Municipio de Diriomo 2006-2022		
Año	**Población Total**	**TCn (Factor)**
2006	24,477	
2007	24,776	1.012
2008	25,074	1.012
2009	25,347	1.011
2010	25,642	1.012
2011	25,938	1.012
2012	26,244	1.012
2013	26,559	1.012
2014	26,882	1.012
2015	27,214	1.012
2016	27,556	1.013
2017	27,908	1.013
2018	28,272	1.013
2019	28,648	1.013
2020	29,036	1.014
2021	33,600	1.157
2022	34,381	1.023
Tf		0.0215

Fuente: (Instituto Nacional de Informacion de Desarrollo, (INDE), pág. 61)

Análisis de las tasas de crecimiento a utilizar

La proyección del tránsito vehicular se realizó mediante el cálculo del promedio de las tasas correspondientes al consumo de combustible, crecimiento poblacional y crecimiento del Producto Interno Bruto, lo que permitió obtener un valor de 1 %. **(Tabla 14)**

Tabla 14. Tasas de crecimiento.

Tasas de crecimiento.		
T.C. Combustible	T.C P.I.B	T.C Poblacional
3.44%	3.10%	2.15%
1.0%		

Fuente: Elaboración propia.

$$TC(Promedio) = \frac{(3.44\%+3.10\%+2.15\%)}{3} = 1\%$$

7.1.4. Periodo de diseño

El período de diseño se definió considerando la tipología funcional de la vía y el comportamiento vehicular actual. A partir del análisis de tránsito se obtuvo un TPDA de 3,808 vehículos por día, valor que supera el rango típico establecido para carreteras colectoras rurales; sin embargo, debido a que el tramo se localiza en un entorno predominantemente rural y cumple principalmente funciones de conexión entre comunidades y vías de jerarquía superior, se clasifica como una vía colectora rural de alto volumen. En concordancia con lo establecido en el (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales , 2011, SIECA, pág. 33), se adopta un período de diseño de 15 años, adecuado para este tipo de infraestructura vial.

La siguiente tabla presentó el período de diseño en función de la tipología de la carretera.

Tabla 15. Periodo de diseño, según la tipología de la carretera.

Tipo de Carreteras	Periodo de diseño
Autopistas regionales	20-40 años
Troncales Suburbanas	15-30 años
Troncales rurales	
Colectoras Suburbanas	10-20 años
Colectoras rurales	

Fuente: (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales , 2011, SIECA, pág. 33)

7.1.5. Factor de crecimiento

Dicho factor se determinó en función del período de diseño, considerando además la tasa de crecimiento vehicular. Para calcularlo, se utilizó la siguiente ecuación:

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

Ecuación N°5

Donde:

FC: $Factor\ de\ crecimiento$

i: $Tasa\ de\ crecimiento\ vehicular\ (1\%)$

n: $Periodo\ de\ diseño\ (15\ años)$

$$Fc = 365\left(\frac{(1+\mathrm{i})^n - 1}{\mathrm{i}}\right) = 365\left(\frac{(1+0.01)^{15} - 1}{0.01}\right) = 5875.367$$

Factor de Distribución Direccional

El factor se definió como la relación entre el tránsito y el sentido de circulación. Para vías con flujo vehicular en ambos sentidos, su valor fue generalmente de 0.5, mientras que para vías de un solo sentido correspondió a 1.0. Dado que el tránsito se distribuyó de forma equitativa respecto al total de vehículos que circularon por la vía, se adoptó un valor de 0.5. (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002, Cap 7., pág. 28)

Factor de distribución por carril

Tabla 16. Factor de distribución por carril

Numero de carriles en cada dirección	% ESAL en el carril de diseño
1	1
2	0.80-1.0
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002, Cap 7., pág. 29)

Tránsito proyectado para el año 2041.

Para la estimación del tránsito vehicular proyectado al año 2041, se utilizó la ***ecuación 6***, considerando el volumen de tránsito vehicular del año 2024, una tasa de crecimiento del 1 % y un período de diseño de 15 años.

$$\boldsymbol{T_n = T_0 * (1 + i)n}$$ **Ecuación N°6**

Donde:

Tn: $Transito\ proyectado\ al\ año\ n$

To: $Transito\ inicial\ en\ el\ año\ n$

i: $Tasa\ de\ crecimiento$

n: $Periodo\ de\ diseño\ (15\ años)$

Sustituyendo valores en la **ecuación 6** se obtuvo los siguientes resultados para cada tipología:

Tipología vehicular:

Motocicletas

$Tn = 1482 * (1 + 0.01)^{15} = 1722\ Veh/día$

Vehículos

$Tn = 1386 * (1 + 0.01)^{15} = 1610\ Veh/día$

Jeep

$Tn = 130 * (1 + 0.01)^{15} = 152\ Veh/día$

Camioneta

$Tn = 476 * (1 + 0.01)^{15} = 554\ Veh/día$

Tabla 17. Transito proyectado para el año 2041.

Tipologia vehicular	TPDA actual 2026	Tc	n	Transito proyectado para el año 2041
Motos	1482	0.01	15	1722
Automovil	1386	0.01	15	1610
Jeep	130	0.01	15	152
Camioneta	476	0.01	15	554
Microbús	86	0.01	15	100
Mini Bus	32	0.01	15	38
Bus liviano	30	0.01	15	36
Liviano 2-5 t	124	0.01	15	144
Camión rígido (C2)	56	0.01	15	66
Camión articulado (C3)	6	0.01	15	8
Total	3808			4430

Fuente: Elaboración propia.

7.1.6. Tránsito de diseño

Como primer paso, se determinó el período de proyección del tráfico, el cual se definió en función de la vida útil del pavimento, así como de las tasas de crecimiento, el factor de distribución y el factor de distribución direccional calculados previamente.

El transito proyectado de diseño se calculó mediante la siguiente expresión.

$$\boldsymbol{TD = TPDA0 * FC * FD * FC'}$$ **Ecuacion N° 7**

Donde:

TD: $Transito\ de\ diseño$

$TPDAo$: $Transito\ promedio\ diario\ anual\ del\ año\ cero$

FC: $Factor\ de\ crecimiento$

FD: $Factor\ de\ distribucion\ direccional$

FC': $Factor\ de\ distribucion\ carril$

$$TDmotocicletas = 1482 * 5875.367 * 0.5 * 1 = 4353648$$

En la tabla siguiente se detallaron los resultados obtenidos para cada tipología vehicular, determinados mediante la **ecuación 7**, alcanzándose un total de 11,186,710 vehículos para el tránsito por carril de diseño

Tabla 18. Tránsito de diseño para el año 2041 (Entrada escuela técnica emprendedora hasta entrada mirador lomas del pueblo comunidad Guapinol, Diriomo)

Tipologia vehicular	TPDA actual 2026	Factor de crecimiento	Factor direccuonal	Factor carril	Transito de diseño (TD)
Motos	1482	5875.367	0.5	1	4353648
Automovil	1386	5875.367	0.5	1	4071630
Jeep	130	5875.367	0.5	1	381900
Camioneta	476	5875.367	0.5	1	1398338
Microbús	86	5875.367	0.5	1	252642
Mini Bus	32	5875.367	0.5	1	94006
Bus liviano	30	5875.367	0.5	1	88132
Liviano 2-5 t	124	5875.367	0.5	1	364274
Camión rígido (C2)	56	5875.367	0.5	1	164512
Camión articulado (C3)	6	5875.367	0.5	1	17628
Total					***11186710***

Fuente: Elaboración propia.

Criterios utilizados para la determinación del ESAL de diseño

Serviciabilidad ΔPSI

La serviciabilidad se describió como la capacidad del pavimento para garantizar condiciones adecuadas de comodidad, facilidad, rapidez y seguridad en la circulación vehicular. El índice de serviciabilidad se estableció en un rango de 5 (excelente) a 0 (pésimo). Mediante el método AASHTO 93, se estimó el porcentaje de pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) en función de los niveles de tránsito y las cargas por eje, observándose que un mayor valor de ΔPSI correspondió a una mayor capacidad de carga del pavimento antes de la falla. (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO. (1993), pág. 29)

$\Delta PSI = Po - Pt$ **Ecuación N°8**

Donde:

ΔPSI: $Pérdida\ de\ serviciabilidad\ admisible$

Po: $Índice\ de\ serviciabilidad\ inicia$

Pt: $Índice\ de\ serviciabilidad\ final\ o\ terminal$

Serviciabilidad inicial

Para el diseño se consideró un índice de serviciabilidad inicial de 4.2, propio de pavimentos flexibles, el cual se aplicó a pavimentos articulados, en virtud de su comportamiento estructural similar al de los pavimentos flexibles.

Tabla 19. Valores de serviciabilidad inicial, según la AASHTO 1993.

Valores de serviciabilidad inicial, según la AASHTO	
Para pavimento rigido	Po=4.5
Para pavimento flexibles	Po=4.2

Fuente: (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO. (1993), pág. 181)

Serviciabilidad final

Se reconoció que en zonas con bajos volúmenes de tránsito se admitió una menor serviciabilidad final respecto a vías de mayor jerarquía. En función del estudio de tránsito realizado, el tramo en estudio presentó un comportamiento de flujo vehicular reducido, por lo cual se estableció un valor de serviciabilidad final de 2.0.

Tabla 20. Valores de serviciabilidad inicial, según la AASHTO 1993

alores de serviciabilidad final, según la AASHTO 199	
Caminos muy importantes	Po=2.5
Caminos de transito menor	Po=2.0

Fuente: (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO. (1993), pág. 181)

Perdida de serviciabilidad prevista en el diseño (Δ PSI)

De acuerdo con el método AASHTO, la pérdida de serviciabilidad se calculó como la diferencia entre la serviciabilidad inicial y la final, resultando para este diseño un valor de 2.2. usar educación N° 8

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

Numero estructural SN

El Número Estructural (SN) es un valor abstracto que expresa la resistencia estructural requerida del pavimento. Conforme al (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002, Cap 7.), puede asumirse un valor inicial de SN como referencia preliminar en el proceso de diseño. En el presente estudio se adoptó un SN = 5 como valor referencial, siendo el SN definitivo el obtenido posteriormente mediante la aplicación del método AASHTO 1993.

Tabla 21. Numero estructural SN

Numero estructural SN		
Tipo de vía	**Nivel de tránsito**	**Rango típico de SN**
Calles locales	Bajo	2.0 – 3.0
Vías colectoras	Bajo – medio	3.0 – 4.0
Carreteras secundarias	Medio	4.0 – 5.0
Carreteras principales	Medio – alto	5.0 – 6.0
Carreteras de alto volumen	Alto	> 6.0

Fuente: (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002, Cap 7.)

Nota: Se escoge Carreteras secundarias, nuestro numero estrcutcural (SN)=5

7.1.7. ESAL de diseño

Para el diseño de los pavimentos se consideró el efecto del daño causado por el paso de un eje con carga específica, con el fin de que resistieran un número determinado de cargas a lo largo de su vida útil. Los flujos mixtos de vehículos, conformados por unidades de distinto peso y número de ejes equivalentes a 80 kN (18 kips) **Tabla 22**, se clasificaron bajo el término ESAL (Equivalent Single Axle Load).

El ESAL de diseño se determina mediante la siguiente ecuación:

$ESAL\ o\ W18\ =\ TD * Factor\ ESAL$ Ecuación N°9

Donde

$ESAL$: $Cantidad\ de\ ejes\ equivalentes\ 18\ Kips.$

TD: $Transito\ de\ diseño.$

$FESAL$: $Factor\ ESAL.$

Tabla 22. Esal de diseño

Tipo de eje	Configuración	Carga típica de referencia	Equivalencia conceptual
Eje simple estándar	Un eje con ruedas dobles	80 kN (18 kips)	1.00 ESAL
Eje simple ligero	Un eje con ruedas simples	< 80 kN	< 1.00 ESAL
Eje simple pesado	Un eje con ruedas dobles	> 80 kN	> 1.00 ESAL
Eje tándem	Dos ejes próximos	≈ 2 × 80 kN	Variable (≈ 0.5 – 1.5 ESAL por eje)
Eje trídem	Tres ejes próximos	> 2 × 80 kN	Variable (≈ 0.3 – 1.2 ESAL por eje)

Fuente: (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO. (1993), págs. pp. 2-7 a 2-15.)

Factor ESAL

Para determinar el ESAL de diseño, se utilizaron los factores indicados en la (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993, págs. App D, See p 22), incluyendo los factores equivalentes de carga por eje simple, la clasificación del pavimento (flexible o articulado), la serviciabilidad final (2.20) y el coeficiente estructural SN (Tabla 22).

Para calcular los factores de equivalencia, se utilizaron las cargas de cada tipo de eje y vehículo proporcionadas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (ver Tabla 23). Al no encontrarse estos valores en las tablas de la Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 93, se aplicó la ecuación de interpolación siguiente para su determinación.

$$Y=\frac{(X-X_1)Y_2+(X_2-X)Y_1}{(X_2-X_1)}$$

Ecuación N°10

Tabla 23. Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos.

Tipo de vehículo	Peso por eje en TON	Peso por eje en Lbs
Automóvil	1/1	2200/2200
Jeep	1/1	2200/2200
Camioneta	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-Liv	4/8	8800/17600
Bus-C2	5/10	11000/22000
C3	7/18	15400/35200

Fuente: (Anuario de Aforo de Trafico, MTI, 2020, pág. 34)

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

1. **Para una carga de 2.20 Kips/2.20 Kips (Automóvil).**

$$Y = \frac{(4.40 - 4)(0.009) + (6 - 4)(0.002)}{(6 - 4)} = 0.00034$$

2. **Para una carga de 2.20 Kips/4.40 Kips (Camioneta).**

$$Y = \frac{(8.80 - 8)(0.065) + (10 - 8)(0.035)}{(10 - 8)} = 0.0502$$

Con la aplicación del método de interpolación descrito previamente, se determinaron los factores asociados a cada tipo de vehículo presente en el diseño. Al sustituirlos en la **ecuación 10**, se calculó el ESAL de diseño para cada tipología vehicular.

$$ESAL = 4071630 * 0.00038 = 1548$$

Tabla 24. Cálculo de ESAL de diseño.

Cálculo de ESAL de diseño.					
Vehículo	Peso por eje (Kips)	Tipo de eje	TD	Factor ESAL	ESAL de diseño
Automovil	2.2	Simple	4071630	0.00038	1548
	2.2	Simple		0.00038	1548
Camioneta	2.2	Simple	1780238	0.00038	678
	4.4	Simple		0.0034	6054
Micro <15 pasajeros	4.4	Simple	148	0.0034	2
	8.8	Simple		0.0502	8
Liviano 2-5 t	8.8	Simple	364274	0.0502	18288
	17.6	Simple		0.9206	335352
Camión rígido (C2)	11	Simple	164512	0.1265	20812
	22	Simple		2.35	386604
Camión articulado (C3)	12	Simple	17628	0.23	4056
	32	Simple		10.65	187740
TOTAL ESAL DE DISEÑO					962690

Como resultado del análisis del tránsito, se determinó que el número total de ejes equivalentes de 8.2 toneladas (ESAL o W18) para el diseño del pavimento es de 962,690, valor obtenido a partir de la suma de las contribuciones individuales de cada tipo de vehículo que conforma el tránsito de diseño en el carril considerado.

7.2. ESTUDIO DE SUELOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio y análisis realizados a las muestras de suelo recolectadas en el área de estudio, con el fin de evaluar sus características físicas y mecánicas para el diseño estructural del pavimento. Los resultados incluyen la determinación de propiedades fundamentales como la granulometría, los límites de consistencia, el índice de plasticidad, la clasificación del suelo según el sistema AASHTO y el cálculo del índice de grupo, parámetros que permiten valorar el comportamiento del suelo como subrasante.

El análisis e interpretación de estos resultados constituye la base para definir la capacidad de soporte del suelo y establecer los criterios técnicos necesarios para el diseño adecuado del pavimento, garantizando su funcionalidad, durabilidad y desempeño bajo las condiciones de tránsito y ambientales previstas.

7.2.1. Clasificación de los suelos

Esta primera fase consistió en hacer la visita de campo al sitio correspondiente, para la extracción de las muestras se utilizaron sondeos manuales como uno de los métodos de exploración aprobados para la construcción de carreteras, se realizaron 12 sondeos manuales alternando a cada lado de la vía a cada 250 metros y 1.5 metros de profundidad a lo largo de 3 kilometro, tal y como lo indica el MTI. (Manual para la revisión de estudios geotécnico, MTI, Capitulo 2, pág. 6)

Para posteriormente llevar las muestras al laboratorio para conocer sus propiedades físicas y mecánicas, así como la capacidad portante del suelo para soportar cargas.

Tabla 25: Ensayes realizados a las muestras

Ensayo	Norma AASHTO equivalente
Contenido de humedad	AASHTO T 265
Análisis granulométrico	AASHTO T 27; AASHTO T 11 AASHTO T 11; (Material que pasa tamiz No. 200 por lavado)
Límites de consistencia o de Atterberg de los suelos	AASHTO T 89 - 63; AASHTO T 90 - 87 AASHTO T 89; (Límite líquido) AASHTO T 90; (Límite plástico e índice de plasticidad)
Compactación de suelo, método Proctor estándar y modificado	AASHTO T 99; AASHTO T 180 AASHTO T 180; AASHTO T 180
Valor relativo o relación de soporte de california (C.B.R.)	AASHTO T 193

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos a través de los ensayos de granulometría y estados de consistencia de cada sondeo son los siguientes:

Tabla 26: Resultado de límites de consistencia

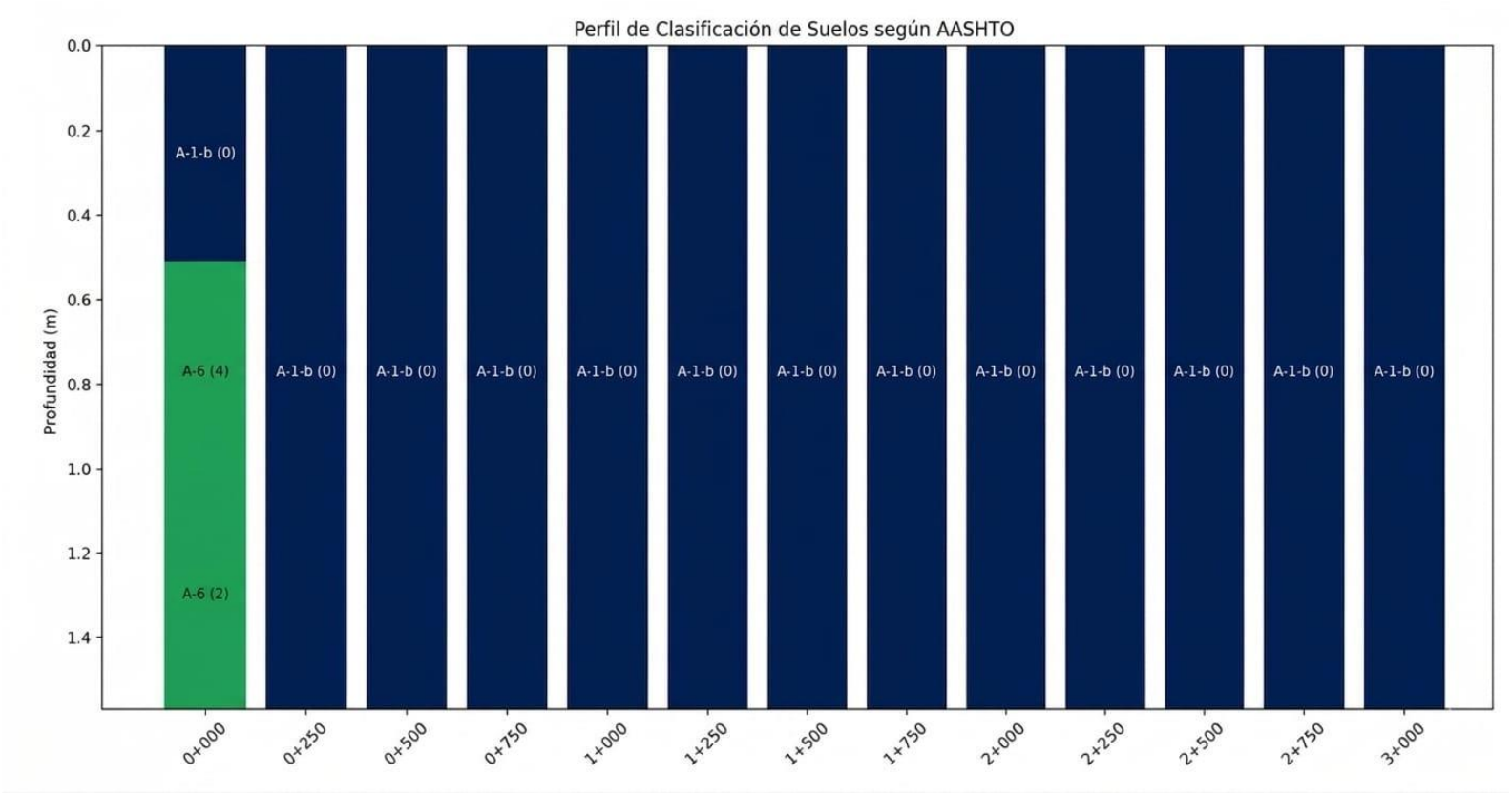
Sondeo-muestra	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
1-1	-	-	NP
1-2	37.1	24.30	12.80
1-3	35.3	26.87	8.48
2-1	-	-	NP
2-2	-	-	NP
2-3	-	-	NP
3-1	-	-	NP
3-2	-	-	NP
3-3	-	-	NP
4-1	-	-	NP
4-2	-	-	NP
5-1	-	-	NP
5-2	-	-	NP
5-3	-	-	NP
6-1	-	-	NP
6-2	-	-	NP
6-3	-	-	NP

Sondeo-muestra	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
7-1	-	-	NP
7-2	-	-	NP
7-3	-	-	NP
8-1	-	-	NP
8-2	-	-	NP
8-3	-	-	NP
9-1	-	-	NP
9-2	-	-	NP
9-3	-	-	NP
10-1	-	-	NP
10-2	-	-	NP
10-3	-		NP
11-1	-	-	NP
11-2	-	-	NP
11-3	-	-	NP
12-1	-	-	NP
12-2	-	-	NP
12-3	-	-	NP

Fuente: Elaboración propia

Nota: Como resultado obtuvimos que solo dos muestras poseían plasticidad.

Grafica1: Columna Estratigráfica del Terreno



Fuente: Elaboración Propia

El perfil estratigráfico del tramo en estudio se describe considerando desde la superficie hasta los 1.50 metros de profundidad que exigen los sondeos manuales. Como se puede observar en el perfil predomina el grupo de suelo **A-1-b (0)** siendo este un suelo sin plasticidad.

7.2.2. Proctor estándar (AASHTO T99) y Proctor modificado (AASTHO T80)

Estos se refieren a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado para diferentes contenidos de humedad. Un suelo con un contenido de humedad es colocado en diferentes capas dentro de un molde cilíndrico, Cada capa de compactada en diferentes porcentajes de compactación, determinando así su peso unitario seco, procedimiento repetido para un número suficiente de contenidos de humedad para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de humedad para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de humedad de agua del suelo. Graficados estos valores representando una relación curvilínea conocida como curva de compactación, donde los valores de contenido de humedad optima y densidad máxima seca son encontrados en dicha curva.

7.2.2.1. Desarrollo del ensaye Proctor estándar

A manera de ejemplo se desarrollaron los cálculos correspondientes para el estrato 1 de la estación 0+000 de la línea del terreno. Que pertenece a la clasificación del suelo que domina en el tramo el A-1-b(0).

1. Determinación del contenido de humedad

Ecuación 11

$$\%w = \frac{(wh + T) - (ws + T)}{(ws + T) - T}$$

Donde:

%w = Contenido de humedad

wh = Peso de la muestra húmeda

ws = Peso de la muestra seca

T = Tara

$$\%w = \frac{(123.2 + 41.2) - (110.8 + 41.2)}{(110.8 + 41.2) - 41.2} = 11\%$$

2. Determinación del peso volumétrico húmedo

Ecuación 12

$$\gamma h = \frac{(Wh + m) - Wm}{Vm}$$

Donde:

γh = Peso volumétrico húmedo en Kg/m3

Wh + m = Peso de la muestra húmeda más molde

Wm = Peso del molde

Vm = Volumen de la muestra.

$$\gamma h = \frac{(1.534kg + 4.213kg) - 4.213kg}{0.0009439m^3} = 1625kg$$

3. Determinación del peso volumétrico seco

Ecuación 13

$$\gamma d = \frac{\gamma h}{1 + (\frac{\%w}{100})}$$

Donde:

γd = Peso volumetrico seco en Kg/m3

γh = Peso volumetrico humedo en Kg/m3

%w = Contenido de humedad

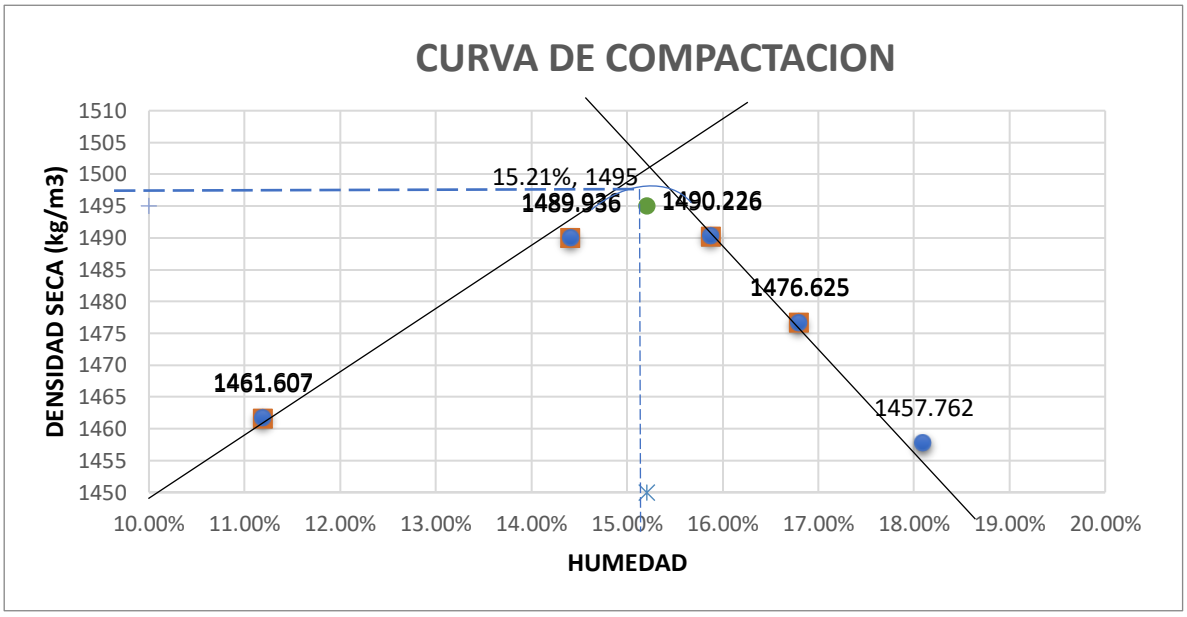
$$\gamma d = \frac{1625kg}{1 + (\frac{11}{100})} = 1462kg$$

Tabla 27: Datos recopilados del Proctor estándar en muestra A-1-b(0)

ENSAYE NO.		1	2	3	4	5
humedades propuestas		**12**	**14**	**16**	**17**	**18**
Volumen del cilindro	m3	0.0009439	0.0009439	0.0009439	0.000943895	0.0009439
Peso del molde cilindro	kg	4.213	4.213	4.213	4.213	4.213
peso del material+ molde del cilindro	kg	5.747	5.822	5.843	5.841	5.838
peso del material	kg	1.534	1.609	1.63	1.628	1.625
Tara No.	-	I-C	A-70	C-180	N-27	A-120
Peso Tara	gr	41.2	41.2	52.9	48.5	47.2
Peso seco + tara	gr	152	169.6	173.8	172.81	177.6
Peso humedo+tara	gr	164.4	188.1	193	193.7	201.2
%humedad	%	**11.19%**	**14.41%**	**15.88%**	**16.80%**	**18.10%**
Peso Volumetrico Humedo(Yh)	kg/m3	1625.181	1704.639	1726.887	1724.768	1721.590
Peso Volumetrico seco(Ys)	kg/m3	**1461.607**	**1489.963**	**1490.226**	**1476.625**	**1457.762**
Peso Volumetrico Saturado (Ydz)	kg/m3					
				DENSIDAD MAXIMA -MDS(kg/m3)		**1495**
				HUMEDAD OPTIMA-OCH(%)		**15.21%**

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 2: Curva de compactación



Fuente: Elaboración Propia

De los datos obtenidos en la tabla anterior, se graficaron los pesos volumétricos secos versus los contenidos de humedad, obteniendo la curva de compactación de donde se adquiere la densidad seca máxima (1495 kg/m3) y la humedad optima (15.21%) para lograr la compactación correcta del suelo.

7.2.3. Ensayo CBR

El ensaye CBR (California Bearing Ratio) es crucial para evaluar las propiedades de los suelos, este ensaye estandarizado por (Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils, ASTM D1883-21, 2021.) y (Standard Method of Test for The California Bearing Ratio, AASHTO T 193, 2022), se utiliza para evaluar la idoneidad del suelo para diversas aplicaciones en pavimentación.

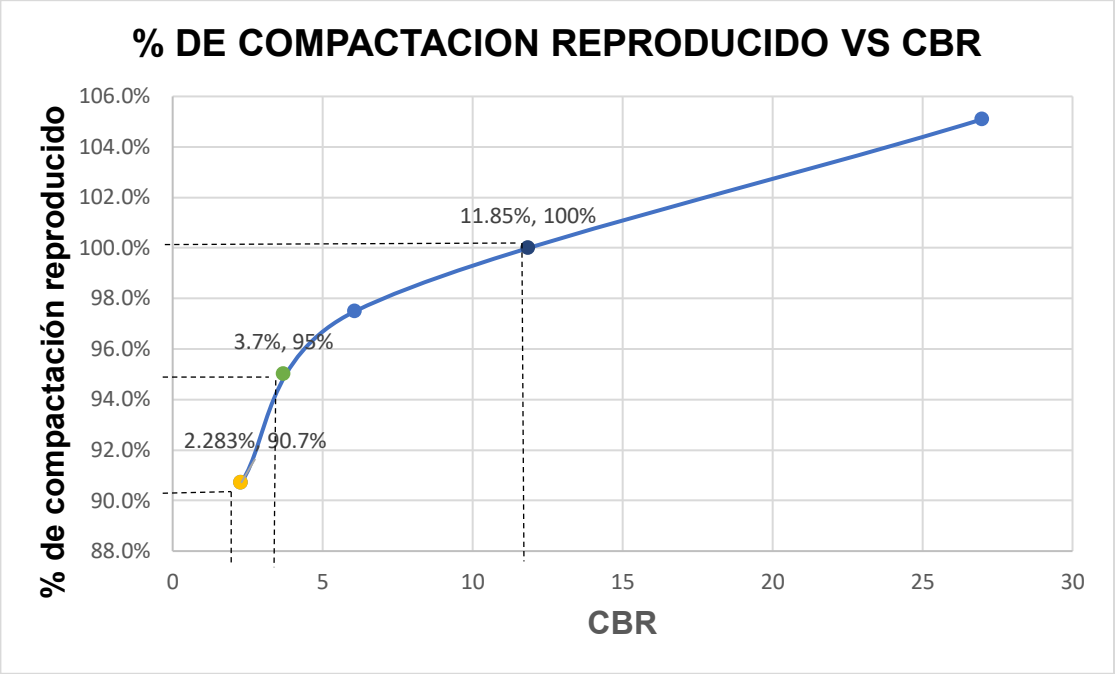
Para la realización del ensaye CBR, la muestra se saturó por un tiempo de cuatro días (96 horas), antes de ejecutar el ensaye. Luego con estos resultados se realizaron las curvas de presiones de penetración con su respectiva corrección.

Tabla 28: Resultado CBR del suelo(A-1-b)

% de compactación	Valor de CBR %	Densidad Máxima (kg/m3)	Humedad Óptima %
90	2.28	1490	15.21
95	3.7	1495	15.21
100	11.85	1499	15.21

Fuente: elaboración propia

Gráfica 3: % De compactación reproducido VS CBR del suelo A-1-b



Fuente: elaboración propia

Resultados del estudio de suelo a bancos de materiales Obregón y Capulin No1 Granada, Nicaragua

7.2.4. Límites de Atterberg y pesos volumétricos del banco:

Tabla 29: Resultados límites de Atterberg y pesos volumétricos de los bancos.

	Obregon	Capulin	SUBBASE	BASE
Límite líquido	NP	NP	25 Max	25 Max
Índice de plasticidad	NP	NP	6 Max	0 (NP)
Índice de grupo	0	0		
Peso volumétrico seco suelto (kg/m3)	1,310.43	1,563.33		
Peso volumétrico seco compacto (kg/m3)	1,455.33	1,689.22		

Fuente: elaboración propia

Tabla 30: Granulometría del banco de material Obregón

Tamaño del tamiz		Material del banco	Porcentaje en peso que pasa el tamiz designado				
			Designación de la graduación				
			A	B	C	D	E
			Subbase	Subbase	base	base	base
63mm	2 1/2"	100%	100				
50mm	2"	100%	97-100	100	100		
37.5mm	1 1/2"	100%		97-100	97-100	100	
25.0mm	1"	99%	65-79(6)			97-100	100
19.0mm	3/4"	98%			67-81(6)		97-100
12.5mm	1/2"	96%	45-59(7)	60-80(7)			
9.5mm	3/8"	91%				56-70(7)	69-79(6)
4.75mm	No.4	74%	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(8)	47-59(7)
425lim	No.40	22%	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)
75lim	No.200	6%	4-8(3)	0-12(4)	4-8(3)	4-8(3)	4-8(3)

Fuente: NIC-2019. Cuadro: 1003.6

Tabla 31: Granulometría del banco de material Capulin No 1

Tamaño del tamiz		Material del banco	Porcentaje en peso que pasa el tamiz designado				
			Designación de la graduación				
			A	B	C	D	E
			Subbase	Subbase	base	base	base
63mm	2 1/2"	100%	100				
50mm	2"	100%	97-100	100	100		
37.5mm	1 1/2"	99%		97-100	97-100	100	
25.0mm	1"	97%	65-79(6)			97-100	100
19.0mm	3/4"	96%			67-81(6)		97-100
12.5mm	1/2"	90%	45-59(7)	60-80(7)			
9.5mm	3/8"	88%				56-70(7)	69-79(6)
4.75mm	No.4	71%	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(8)	47-59(7)
425lim	No.40	21%	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)
75lim	No.200	6%	4-8(3)	0-12(4)	4-8(3)	4-8(3)	4-8(3)

Fuente: NIC-2019. Cuadro: 1003.6

Ambos bancos de materiales cumplen con los requisitos de graduación exigidos para el uso de materiales en Subbase tipo B y Base tipo E.

7.2.5. Ensaye de Proctor modificado para banco de material Obregón y Capulin.

La diferencia de este ensaye con el Proctor estándar radica únicamente en la energía de compactación empleada, del orden 4.5 veces superior al estándar, esto se debe a la necesidad de emplear maquinarias de compactación más pesadas dado el aumento de la carga por eje experimentado por los vehículos, se eligió Proctor modificado para los bancos de materiales, pues es el material que se pretende utilizar en el diseño de la base. Se realizaron 4 determinaciones con diferentes grados de humedad y posteriormente realizar las gráficas Humedad-densidad seca.

Como resultado obtuvimos que la humedad óptima para alcanzar la densidad seca máxima es:

Para el banco Obregón = (1,740 kg/m3) es: **12.90 %.**

Para el banco Capulín No 1,970 kg/m3) es: **10.60 %**

Tabla 32: Resultado del CBR del banco de material Obregón

% de compactación	Valor de CBR %	Densidad Máxima (kg/m3)	Humedad Óptima %
90	36	1733	12.90
95	61	1740	12.90
100	85	1745	12.90

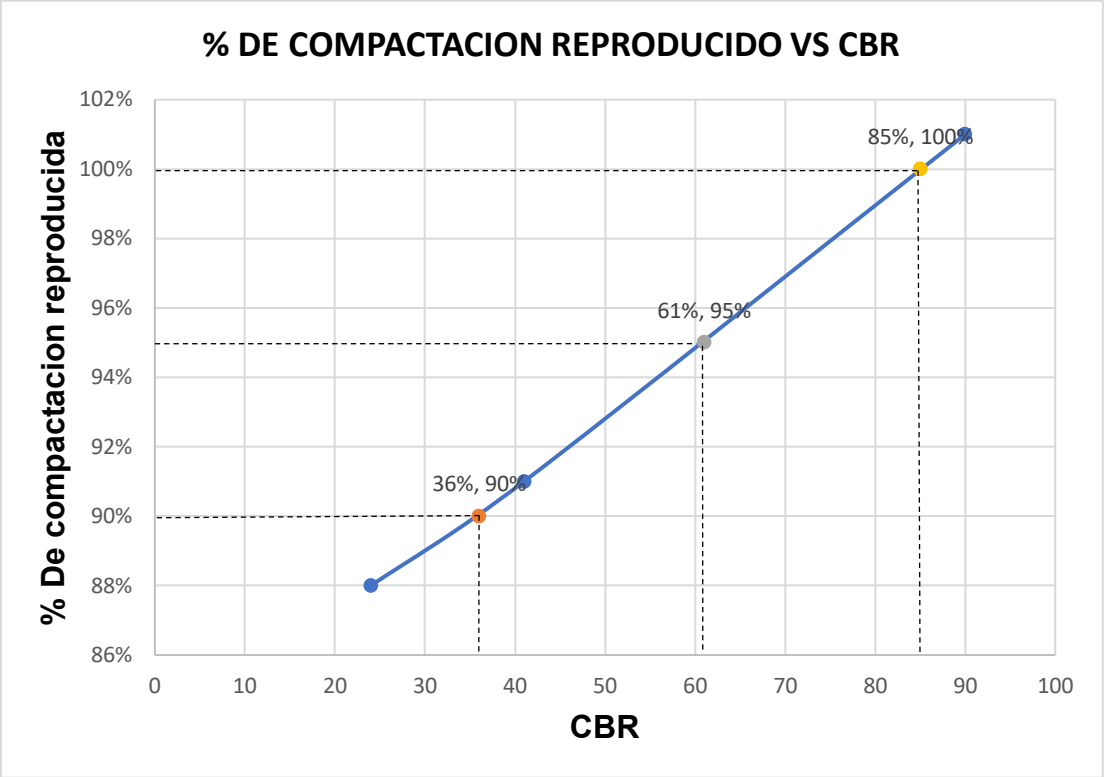
Fuente: elaboración propia

Tabla 33: Resultado del CBR del banco de material Obregón

% de compactación	Valor de CBR %	Densidad Máxima (kg/m3)	Humedad Óptima %
90	34	1966	10.60
95	58	1970	10.60
100	80	1975	10.60

Fuente: elaboración propia

Gráfica 4: % De compactación reproducido VS CBR del banco Obregón



Fuente: elaboración propia

Gráfica 5: % De compactación reproducido VS CBR del banco Capulin No 1

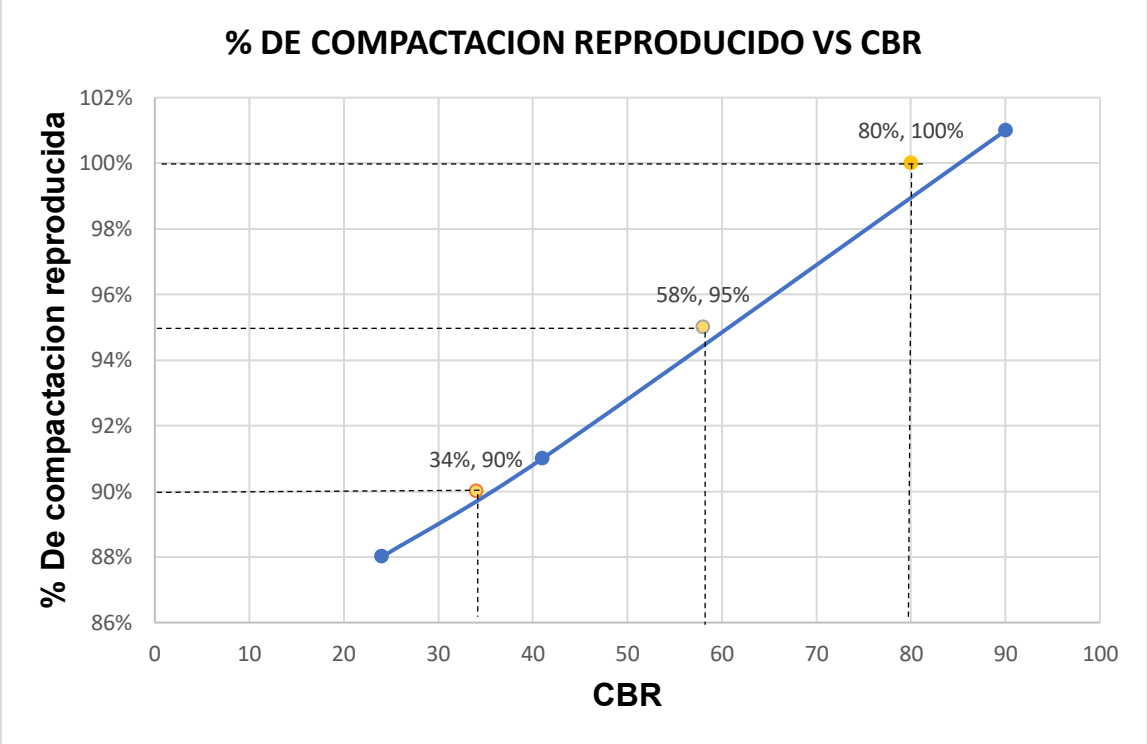


Tabla 34: Resultados del banco de material Obregón según las especificaciones NIC–2019

Propiedades	Especificación	Banco Obregón	Banco Capulin
Para Sub Base			
Gradación	Cuadro 1003-6	Cumple	Cumple
Limite líquido, AASHTO T89	25 max	Cumple	Cumple
Índice de plasticidad, AASHTO T90	6 máx	Cumple	Cumple
Desgaste de los ángeles, AASHTO T96	40% máx	Cumple	Cumple
CBR al 95% de AASHTO MODIFICADO (AASHTO T180) y 4 días de saturación	30% mín	Cumple	Cumple
Para Base			
Gradación	Cuadro 1003-6	Cumple	Cumple
Limite líquido, AASHTO T89	25 max	Cumple	Cumple
Índice de plasticidad, AASHTO T90	0 (NP)	Cumple	Cumple
Desgaste de los ángeles, AASHTO T96	35% máx	Cumple	Cumple
CBR al 95% de AASHTO MODIFICADO (AASHTO T180) y 4 días de saturación	80% mín	No Cumple	No Cumple

Fuente: elaboración propia

7.2.6. Estabilización con cemento

Los resultados de los ensayos realizados al material de banco no cumplen con las especificaciones técnicas requeridas por la NIC-2019 para ser utilizado como material de base en la estructura de pavimento. En consecuencia, se decidido por utilizar la estabilización con cemento como mecanismo para aumentar su resistencia. (Para subbase se utilizará material del banco Obregón pues ofrece mejores resistencias que el Capulín No1).

La NIC – 2019 establece los requisitos que debe cumplir una base estabilizada con cemento, **ver tabla 35**

Tabla 35: Requisitos para la capa base estabilizada según Normas NIC-2019

1	Tamaño máximo, AASHTO T-28	40 mm
2	% Que pasa el tamiz de 0.075 mm, AASHTO T-27 y T11	
	a-Contenido mínimo	2 min
	b-Contenido máximo	35 máx
3	Contenido de material orgánico, AASTHO T267	2% máx
4	Limite líquido, AASHTO T89	30% máx
5	Índice de plasticidad, AASHTO T90	15% máx
6	Desgaste Los Angeles, AASHTO T96	50% máx
7	CBR a 95% de AASHTO modificado (AASTHO T180) y 4 dias de saturación	min 30%

Fuente*: (NIC-2019, Tomo II, Seccion 1003.21.4)*

Para este proceso se procedió a aplicar los requerimientos establecidos por la NIC-2019 y el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento que describen lo siguiente:

1. El cemento portland a utilizar deberá ajustarse a la norma AASHTO M 8563, la cantidad aproximada de cemento debe estar comprendida dentro de un 3% mínimo y un 8% como máximo de cemento en peso, respecto al peso del material a estabilizar.

2. Después del tratamiento, el material deberá tener una resistencia ultima a la compresión de, por lo menos 2100 kn/m2 o 21.41 kg/cm2, medida después de 7 días de curado y 7 días de saturación en el sitio, con mezcla compactada al 95% de AASHTO Modificada (AASHTO T 180).

Tabla 36: Resultados después de la estabilización con cemento

Banco de material	Yd máxima (Kg/m3)	Proporción %	Proporción (Bolsas/m3)	Resultados del ensaye a la compresión (Kg/cm2)	Promedio (Kg/cm2)
Obregón	1739	3%	1.23	20.68	21.21
	1738	3%	1.23	21.74	
	1750	5%	2.05	29.23	30.31
	1742	5%	2.05	31.38	
	1717	7%	2.87	35.12	34.28
	1917	7%	2.87	33.43	

Fuente elaboración propia

Las muestras estabilizadas ensayadas al 5% y 7% de cemento cumplen con la resistencia mínima establecida en la NIC 2019 que es de 17.5 kg/cm² compactado al 95% del Proctor modificado y 7 días de saturación, se propone utilizar la proporción del 5% de cemento con una resistencia a la compresión de 30.31 kg/cm2 (430 PSI).

Usando la proporción de 5% de cemento podemos calcular la cantidad de bolsas de cemento de 42.5 kg para 1 m3 de material.

$$\frac{BolsasC}{M^3} = \frac{Densidad\ seca\ máxima\ *\ proporcion}{42.5}$$

$$\frac{BolsasC}{M^3} = \frac{1743 * 0.05}{42.5} = 2.05\ bolsas/m3$$

7.3. DISEÑO DE PAVIMENTO

Aquí nos adentramos en el diseño de la estructura del pavimento articulado empleando el método AASHTO 1993, una herramienta clave para definir con precisión los espesores de las capas que darán vida a la vía. Para que el diseño sea realmente efectivo y duradero, no partimos de supuestos, sino que integramos los datos reales obtenidos en los estudios de tránsito y estudio de suelos, permitiendo que la estructura responda tanto a las cargas vehiculares como a la capacidad de soporte del suelo.

Un punto importante a destacar es que, ante la falta de un procedimiento local específico para pavimentos articulados, hemos adoptado con éxito los criterios de diseño para pavimentos flexibles. Esta adaptación nos permite aplicar una metodología probada a superficies de rodadura compuestas por adoquines, garantizando una solución técnica sólida, eficiente y perfectamente ajustada a las necesidades del proyecto.

7.3.1. Clasificación de los pavimentos

Los pavimentos pueden clasificarse en distintas categorías de acuerdo con diversos criterios, tales como el tipo de material empleado, la función que cumplen, el espesor de sus capas y su capacidad estructural, entre otros factores. La selección del tipo de pavimento debe realizarse considerando las condiciones de tránsito, el entorno donde será construido y el presupuesto disponible, con el fin de asegurar su durabilidad y un desempeño adecuado a lo largo de su vida útil.

7.3.1.1. Pavimentos flexibles

Los pavimentos flexibles están constituidos por una carpeta bituminosa que se apoya, generalmente, sobre dos capas granulares no rígidas: la base y la subbase.

7.3.1.2. Pavimentos semirrígidos

Los pavimentos semirrígidos corresponden a una estructura mixta, compuesta por una carpeta asfáltica flexible apoyada sobre capas con comportamiento rígido, como losas antiguas de concreto o bases estabilizadas con cemento u otros materiales similares.

7.3.1.3. Pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos están formados superficialmente por losas de concreto hidráulico, las cuales se apoyan sobre una estructura granular que, en algunos casos, recibe el nombre de subbase**.**

7.3.1.4. Pavimento articulado o de adoquines

Este tipo de pavimento está constituido por bloques prefabricados, generalmente de concreto, conocidos comúnmente como adoquines. Estos elementos se colocan sobre una cama o colchón de arena, la cual se apoya sobre una capa de subbase granular o, en algunos casos, directamente sobre la subrasante.

7.3.2. Consideraciones del diseño según AASHTO 1993

Confiabilidad (R)

La Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993 establece distintos niveles de confiabilidad en función de la clasificación funcional de la vía. La selección del nivel de confiabilidad para el diseño del pavimento está determinada por el uso previsto y la importancia del tramo dentro de la red vial.

Para el tramo en estudio se adoptó un nivel de confiabilidad del 85%, valor recomendado para este tipo de carretera. De acuerdo con el estudio de tránsito presentado en el Capítulo I, la vía se clasifica como una carretera colectora menor de carácter rural.

Tabla 37: Niveles de confiabilidad, según clasificación funcional.

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	zona urbana (%)	zona rural (%)
Rurales interestatales y	85-99.9	80-99.9
Arteriales principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993, págs. 9, Capítulo 2)

Tabla 38: Valores de Zr en función de la confiabilidad R.

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037

Fuente: (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993, pág. 93)

Desviación estándar (S_0)

La desviación estándar S_0 representa la variabilidad asociada a los factores que intervienen en el diseño del pavimento, tales como las propiedades de los materiales, las características de la subrasante, las estimaciones del tránsito y las condiciones ambientales.

La Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993 recomienda adoptar valores de desviación estándar en función de las condiciones del proyecto y del tipo de estructura de pavimento, los cuales se presentan en la tabla correspondiente.

Para el tramo en estudio se seleccionó un valor de S_0 = 0.45, que corresponde al valor recomendado para pavimentos flexibles.

Tabla 39: Valores para la desviación estándar

Condicion de diseño	So
Pavimentos rigidos	0.30-0.40
Pavimentos flexible	0.40-0.50

Fuente: (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO. (1993), pág. 135)

7.3.3. Módulo de resiliencia MR (Sub-Rasante).

La caracterización de la subrasante en este diseño se define a través del Módulo de Resiliencia (MR), un parámetro esencial que describe cómo reacciona el suelo de forma elástica ante el paso constante de los vehículos. Sí bien la normativa técnica sugiere el ensayo AASHTO T-274 para su medición directa, las limitaciones de acceso a laboratorios con equipamiento tan especializado nos llevan a utilizar correlaciones empíricas basadas en el CBR (determinado bajo la norma AASHTO T-193).

En este sentido, para suelos con una capacidad de soporte moderada o baja, definida por un CBR menor al 10%, la guía AASHTO 1993 propone una relación matemática donde el coeficiente de proporcionalidad estándar es 1500. Este valor, que puede oscilar entre 750 y 3000 según la naturaleza específica del terreno, permite transformar el índice de soporte en una unidad de rigidez elástica (psi), asegurando que el modelo de diseño sea coherente con el comportamiento real de los materiales finos presentes en la subrasante

$$MR = 1500 \times CBR$$

En el Capítulo III del presente documento se determinó el CBR de diseño, correspondiente a un valor de 3.7 % para la subrasante. Haciendo uso de la Ecuación (¿), se calcula el módulo de resiliencia de la siguiente manera:

$$MR = 1500 \times 3.7 = 5550\ PSI$$

Por lo tanto, el módulo de resiliencia de la subrasante adoptado para el diseño estructural del pavimento es de 5,550 psi, valor que será utilizado en el cálculo del Número Estructural (SN) conforme al método AASHTO 1993.

7.3.4. Drenaje

Para la determinación de los coeficientes de drenaje de la base y la subbase se tomaron como referencia los lineamientos establecidos en la *Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO 1993*, la cual clasifica las condiciones de drenaje en función de la eficiencia del sistema y del porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento permanece expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

En el presente proyecto se consideran pendientes adecuadas que facilitan el escurrimiento superficial, así como la ausencia de condiciones que generen saturación prolongada en las capas granulares. En consecuencia, se adoptó una condición de drenaje buena, asignando los siguientes coeficientes de drenaje:

$Base: m_2 = 1.00m$

$Subbase: m_3 = 1.00m$

Estos valores se encuentran dentro del rango recomendado por la AASHTO para materiales granulares que operan bajo condiciones de drenaje favorable. Asimismo, los coeficientes adoptados son coherentes con los criterios establecidos en el SIECA (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales , 2011, SIECA, pág. 4), el cual adapta la metodología AASHTO a las condiciones climáticas y constructivas de la región.

7.3.4. Coeficientes estructurales (a_i)

El método AASHTO asigna a cada capa del pavimento un coeficiente estructural (a_i), el cual se utiliza en el diseño estructural para transformar los espesores reales de las capas en el número estructural del pavimento (SN). Estos coeficientes representan la contribución relativa de cada capa al comportamiento estructural del pavimento.

Los coeficientes estructurales se representan mediante la siguiente simbología:

- a_1: Coeficiente correspondiente a la capa de rodadura (adoquín).
- a_2: Coeficiente correspondiente a la base granular (en función del CBR).
- a_3: Coeficiente correspondiente a la subbase granular (en función del CBR).

Coeficiente estructural para la carpeta de rodadura de adoquín (a_1)

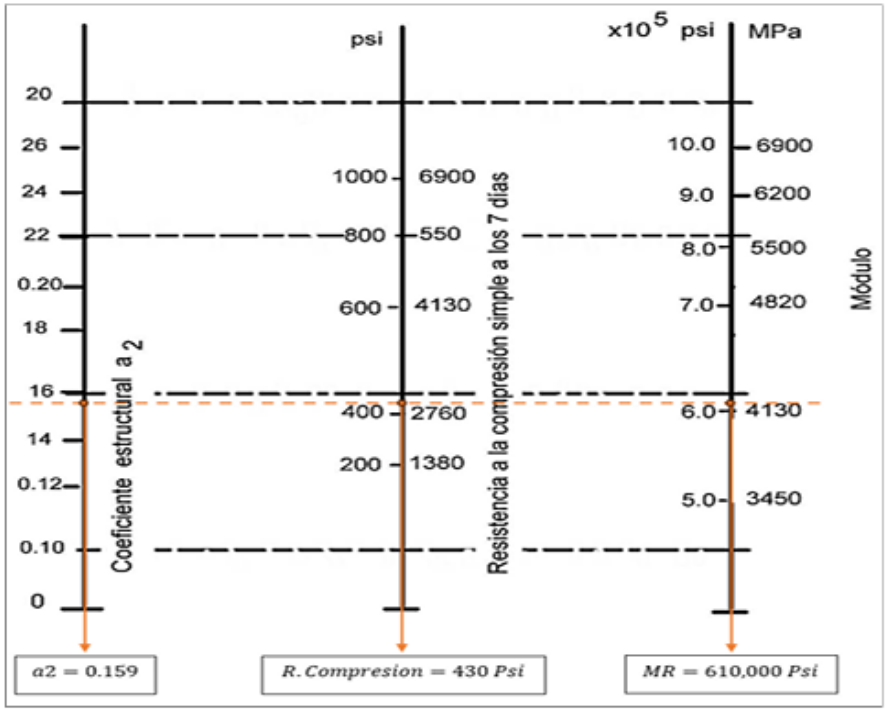
De acuerdo con las especificaciones del (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002, Cap 7., pág. 107), se adopta un valor de $a_1 = 0.45$, el cual corresponde al coeficiente estructural recomendado para capas de rodadura en pavimentos articulados.

Coeficiente estructural para base estabilizada (a_2).

Para calcular el coeficiente estructural de la base (a_2), nos basamos en el uso de material estabilizado con cemento del banco Obregón (Granada), cuya caracterización detallamos en el Capítulo II. Los ensayos de laboratorio arrojaron una resistencia a la compresión simple de 430 psi, cifra que define el comportamiento mecánico de esta capa. Siguiendo las recomendaciones de la guía AASHTO 1993, esta resistencia nos permitió estimar un módulo de resiliencia de 610,000 psi; a partir de este valor, determinamos que el coeficiente estructural correspondiente es $a_2 = 0.159$.

Es importante aclarar que este módulo se emplea exclusivamente para definir el aporte de la base estabilizada y es totalmente independiente del módulo de resiliencia de la subrasante.

Relación entre la resistencia a la compresión y el coeficiente estructural de una base tratada con cemento



Fuente: (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993, pág. 119)

Coeficiente estructural para subbase granular CBR (a3)

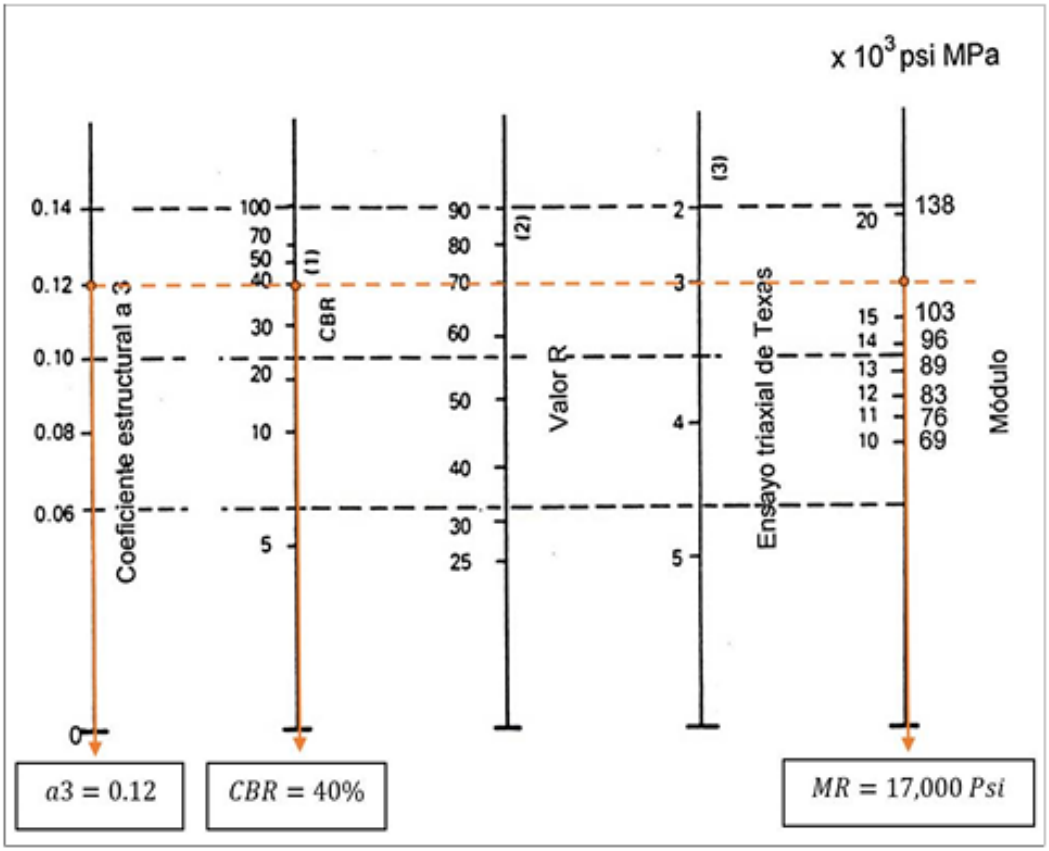
El coeficiente estructural a_3 corresponde a la capa de subbase granular, la cual cumple la función de proporcionar un soporte adecuado a la base y mejorar las condiciones estructurales de la subrasante.

La determinación del coeficiente estructural de la subbase se realizó a partir del Índice de Soporte California (CBR) del material, el cual fue obtenido mediante ensayos de laboratorio descritos en el Capítulo II del presente documento.

El uso del CBR como parámetro de diseño es recomendado por la guía AASHTO 1993 para materiales granulares no tratados.

De acuerdo con las correlaciones propuestas por el método AASHTO, los materiales de subbase granular presentan coeficientes estructurales inferiores a los de la base, debido a su menor rigidez y capacidad portante. Considerando el valor de CBR obtenido y siguiendo las recomendaciones del método, se adoptó para la subbase granular un coeficiente estructural $a_3 = 0.11$, valor que representa adecuadamente el aporte estructural de esta capa dentro del sistema de pavimento.

Relación entre el índice de soporte California (CBR) y el coeficiente estructural de la subbase granular



Fuente: (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993, pág. 118)

7.3.5. Numero estructural SN

En esencia, es el indicador de la fortaleza total que debe tener el pavimento para resistir el peso y el desgaste del tráfico durante su vida útil. Este valor nos dice cuánta protección necesita el suelo natural y se traduce en el espesor y la calidad de las capas que componen la estructura. Para calcularlo, se asigna a cada material un coeficiente específico que refleja su aporte individual a la resistencia del conjunto; así, mientras mejor sea la calidad de un material, mayor será su contribución al SN final.

El numero estructural (SN) se puede expresar por medio de la siguiente ecuación

$$\boldsymbol{SN = a1 * D1 + a2 * D2 * m2 + a3 * D3 * m3}$$

Donde:

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

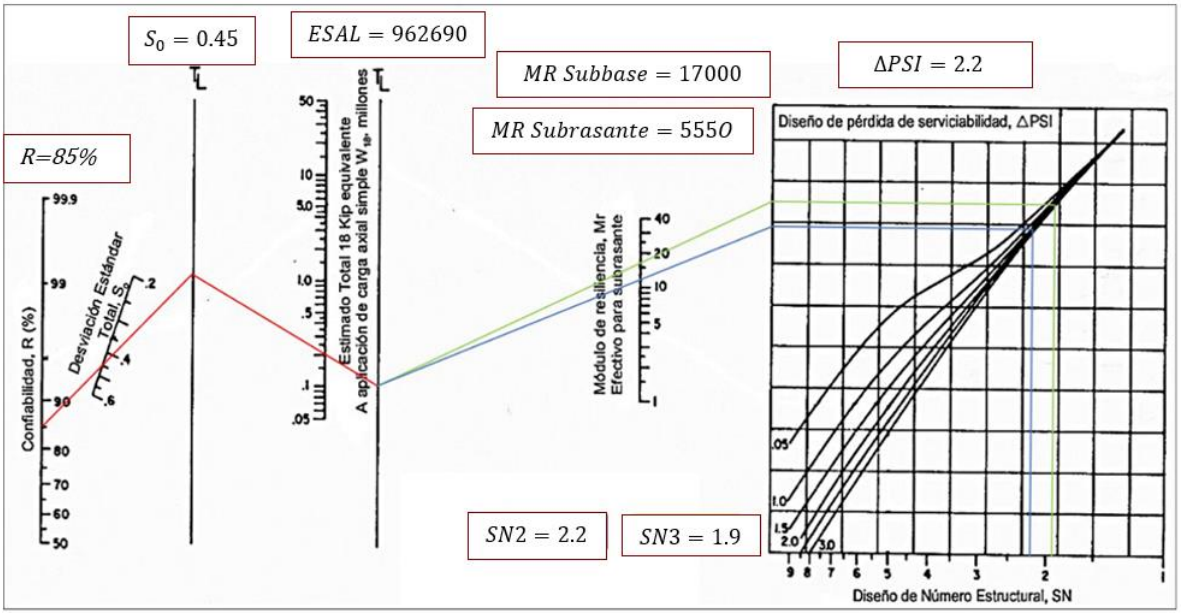
a_i: $Coeficiente\ estructural\ de\ capa\ i, independiente\ de\ su\ módulo.$

mi: $Coeficiente\ de\ drenaje\ por\ cada\ capa\ respectivamente.$

7.3.6. Cálculo de espesores de la estructura de pavimento.

Para la determinación de los números estructurales requeridos se empleó el procedimiento de diseño para pavimentos flexibles establecido por la metodología AASHTO 1993. A partir de este método se obtuvieron valores de SN_2 = 2.2 y SN_3 = 1.9, considerando como variables de diseño la confiabilidad adoptada, la desviación estándar global, el tránsito de diseño expresado en ESAL, el módulo resiliente de la subrasante y la pérdida de serviciabilidad permisible (ΔPSI). Estos parámetros permiten definir la capacidad estructural necesaria de la estructura del pavimento para satisfacer las condiciones de tránsito y desempeño previstas durante su vida útil.

Abaco de diseño para pavimento AASHTO 1993.



Fuente: (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales , 2011, SIECA, pág. 145)

Tabla 40. Resumen de valores usados para el cálculo de los números estructurales.

Descripción	Valor
ESAL de diseño (W18)	962,690
Confiabilidad (R)	85%
Serviciabilidad inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad final (Pt)	2
Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)	2.2
MR Subrasante	5,550 psi
MR Subbase	17,000 psi
MR Base	610,000 psi
a1	0.45
a2	0.159
a3	0.11
Desviación estándar (So)	0.45
Drenaje (m2, m3)	1

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño de este pavimento articulado, utilizaremos adoquines de concreto de cemento Portland como superficie de rodadura. Una de las ventajas de este sistema es que, bajo los lineamientos del (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA, 2002, Cap 7., pág. 82), no se requiere un cálculo complejo para esta capa específica; esto se debe a que ya se encuentra estandarizada con un espesor (D_1) de 4 pulgadas y un coeficiente estructural (a_1) de 0.45, valores que garantizan un desempeño óptimo para esta tipología de materiales.

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

$SN1 = a1 * D1$

$SN1 * = 0.45 * 4 = 1.80$

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

$$D2 = \frac{SN2 = SN1 *}{(a_2 * m_2)}$$

$$D2 = \frac{2.2 - 1.80}{(0.159 * 1)} = 2.52\ "$$

Se establece para la capa base un espesor mínimo de D_2 = 4” (10 cm), conforme a los criterios de diseño de la metodología AASHTO 1993, según se muestra en la tabla correspondiente.

Tabla 5. Espesores mínimos sugeridos.

Numero de ESAL'S	Capas Asfalticas	Base Granular
Menos de 50,000	3.0 Cm	10 Cm
50,000-150,000	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
Mas de 7,000,000	10.0 Cm	15 Cm

Fuente: (Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993, pág. 137)

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

$SN2 * = (a2 * D2 * m2)$

$SN2 * = (0.159 * 4 * 1) = 0.636$

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

$$D3 = \frac{SN3 - (SN1 * + SN *)}{(a_3 = m_3)}$$

$$D3 = \frac{1.9 - (1.80 * + 0.636)}{(0.12 * 1)} = -4.47$$

Al cumplirse el SN requerido con la carpeta y la base, no se requiere subbase, procediéndose a ajustar el espesor definitivo de la base conforme al SN obtenido.

$$D2 = \frac{(1.9 - 1.8)}{(0.159)(1)} = 0.632\ Pulgadas$$

Dicho valor no cumple con el espesor mínimo establecido por la guía AASHTO 1993, por lo que se adopta un espesor constructivo de 4 pulgadas para la base estabilizada.

Como verificación estructural, se comprobó que la sumatoria de los números estructurales efectivos es mayor que el SN requerido:

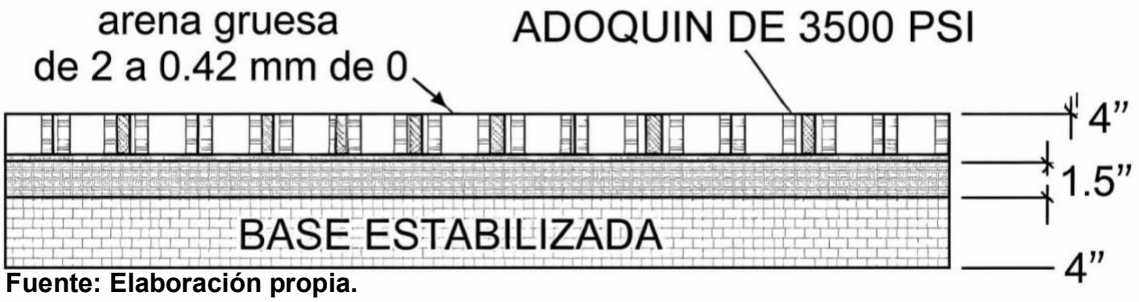
$$1.80 + 0.636 = 2.436 \geq 1.9$$

Al cumplirse el SN requerido con la carpeta y la base, no se requiere subbase, procediéndose a adoptar como estructura final una carpeta de rodamiento de adoquines de 4 pulgadas y una base estabilizada con cemento de 4 pulgadas. A continuación, se presenta la figura correspondiente con los espesores definidos en el diseño.

7.3.7. Diseño estructural (espesores).

Con base en la verificación del Número Estructural requerido, se adoptó una sección compuesta por adoquines de 4 pulgadas, base estabilizada de 4 pulgadas y una cama de arena de 1.5 pulgadas compactadas. Este último espesor se establece conforme a las recomendaciones del (Interlocking Concrete Pavement Institute, Bedding sand for interlocking concrete pavements. ICPI., 2008. Tech Spec No. 1, pág. 4), el cual indica que la capa de arena para asiento debe presentar un espesor compactado comprendido entre 25 y 40 mm (1" a 1.5"), cumpliendo únicamente la función de nivelación y apoyo uniforme de los adoquines, sin aportar capacidad estructural dentro del método AASHTO-93. A continuación, se presenta la sección estructural propuesta

7.3.7.1. Sección propuesta (espesores).



Fuente: Elaboración propia.

8. CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto de graduación ha permitido validar, desde una perspectiva técnica y social, la viabilidad de la infraestructura propuesta. Las conclusiones que se presentan a continuación son el resultado de un análisis riguroso que conecta los objetivos planteados con la realidad del terreno.

Logros alcanzados por área de estudio

- ✓ ***Estudio Tránsito:*** mediante aforo vehicular conforme a la metodología del MTI, se determinó un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 3,808 vehículos por día, donde el 90 % corresponde a vehículos livianos, el 4% vehículos de pasajeros y el 6 % a vehículos pesados, con TPDA se clasifico la vía como colectora rural de alto volumen. Asimismo, se proyectó el tránsito a un período de diseño de 15 años, obteniéndose un tránsito de diseño acumulado de 11,186,710 vehículos y un número total de ejes equivalentes (ESAL) de 962,690, datos fundamentales para el dimensionamiento estructural del pavimento

- ✓ ***El estudio de suelos*** que se clasifico con características favorables (suelo A-1-b), pero con variaciones importantes en su capacidad de soporte (CBR entre 2.28% y 11.85%). Este hallazgo fue crucial, ya que nos permitió diseñar capas estructurales que compensan las debilidades del suelo natural. Además, la validación de los bancos de materiales locales (Obregón y Capulín) bajo la normativa NIC-2019 asegura que la construcción utilice recursos de calidad y eficiencia comprobada.

- ✓ ***Diseño Estructural***: Al aplicar el método AASHTO 1993, confirmamos que el pavimento articulado (adoquinado) es la respuesta óptima para El Guapinol. Obteniendo los siguientes espesores compuesta por adoquines de 4 pulgadas, base estabilizada de 4 pulgadas y una cama de arena de 1.5 pulgadas compactadas, el cual indica que la capa de arena para asiento debe presentar un espesor compactado comprendido entre 25 y 40 mm (1" a 1.5")Esta elección no es solo técnica; es una solución que equilibra la durabilidad con la viabilidad económica, asegurando que la vía mantenga un nivel de servicio cómodo y seguro durante sus 15 años de vida útil, minimizando además los costos de mantenimiento para el municipio.

9. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que, previo a la ejecución del proyecto, se realicen estudios complementarios de topografía, diseño geométrico y drenaje, con el fin de garantizar la funcionalidad integral del pavimento propuesto.
- ✓ Se sugiere efectuar controles de calidad durante la construcción, incluyendo ensayos de compactación y verificación del CBR in situ, para asegurar que las condiciones del suelo y los materiales correspondan a los parámetros de diseño.
- ✓ Se recomienda utilizar materiales de los bancos evaluados que cumplan con las especificaciones del MTI y la normativa NIC-2019, aplicando procedimientos de compactación controlada para garantizar la durabilidad del pavimento.
- ✓ Se aconseja implementar un programa de mantenimiento periódico del pavimento articulado, con énfasis en la reposición de adoquines, limpieza de juntas y control del drenaje superficial.
- ✓ Se sugiere que las autoridades municipales consideren el presente diseño como base técnica para la planificación y gestión de financiamiento del proyecto vial.
- ✓ Se recomienda desarrollar estudios futuros de impacto ambiental y análisis económico-financiero, así como investigaciones sobre el desempeño estructural del pavimento articulado bajo condiciones climáticas y de tránsito similares.

10. REFERENCIAS

Anuario de estadísticas macroeconómicas . (2020). Anuario de estadísticas macroeconómicas . En A. d. macroeconómicas, *Anuario de estadísticas macroeconómicas .*

Anuario de estadísticas macroeconómicas 2020. (2020). Anuario de estadísticas macroeconómicas . En A. d. 2020, *Anuario de estadísticas macroeconómicas .*

GoogleEarth. (2 de Junio de 2023). *GoogleEarth*. Obtenido de file:///C:/Users/7490%20I7%207MA/AppData/LocalLow/Google/GoogleEarth/myplaces.kml

Guide for Design of Pavement Structures. (AASHTO, 1993). En G. f. Structures, *Guide for Design of Pavement Structures.*

Guide for Design of Pavement Structures. (AASHTO. (1993)). Guide for Design of Pavement Structures. En *Guide for Design of Pavement Structures.*

Instituto Nacional de Informacion de Desarrollo, (INDE). (s.f.). Instituto Nacional de Informacion de Desarrollo, (INDE). En *Instituto Nacional de Informacion de Desarrollo, (INDE).*

Interlocking Concrete Pavement Institute, Bedding sand for interlocking concrete pavements. ICPI. (2008. Tech Spec No. 1).

Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales , 2011. (SIECA). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales. En *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales.*

Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. (SIECA, 2002, Cap 7.). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. En SIECA, *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.*

Manual para la revisión de estudios geotécnico, MTI. (Capitulo 2). En M. Manual para la revisión de estudios geotécnico, *Manual para la revisión de estudios geotécnico, MTI.*

Ministerio de Transporte e Infraestructura, MTI, Dirección general de vialidad, departamento de pesos y dimensiones. (2014). Dirección general de vialidad, departamento de pesos y dimensiones. En MTI, *Dirección general de vialidad, departamento de pesos y dimensiones.*

NIC-2019, Tomo II. (Seccion 1003.21.4). NIC-2019, Tomo II. En *NIC-2019, Tomo II.*

Standard Method of Test for The California Bearing Ratio, AASHTO T 193. (2022). Standard Method of Test for The California Bearing Ratio, AASHTO T 193. En *Standard Method of Test for The California Bearing Ratio, AASHTO T 193.*

Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. (ASTM D1883-21, 2021.). Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils. En *Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils.*

11. ANEXOS

Tabla 1: Tipología vehicular

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

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico 2020

Grafica 1 : Curva de compactación Proctor estándar del suelo A-1-b

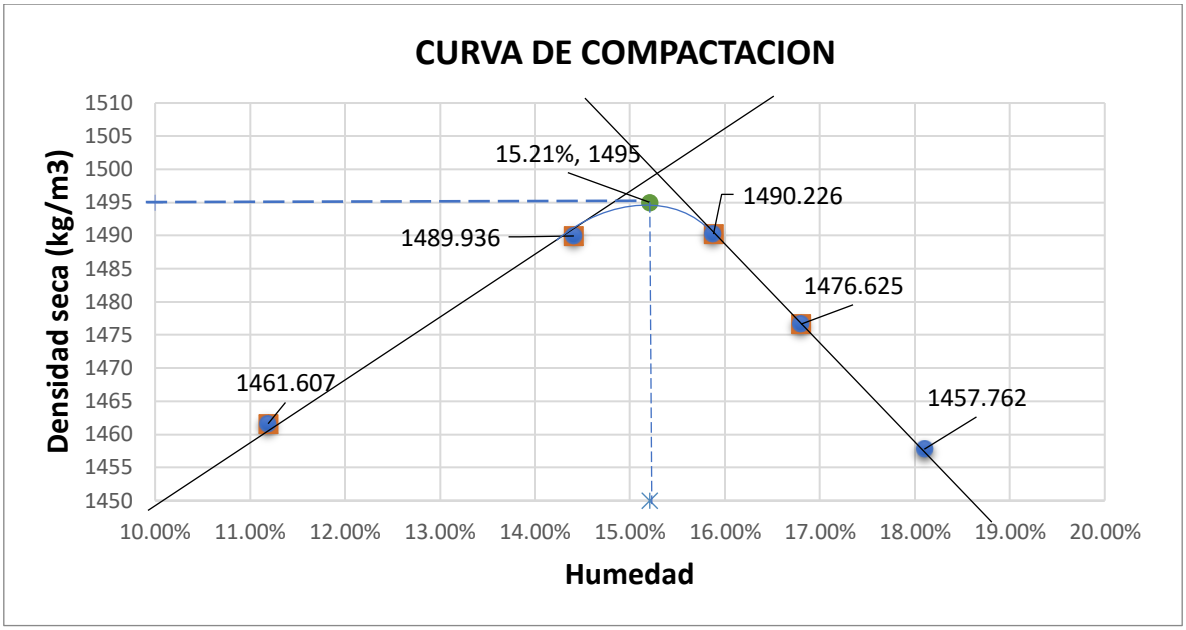


Figura 1: 96 horas de saturación de la muestra previamente compactada



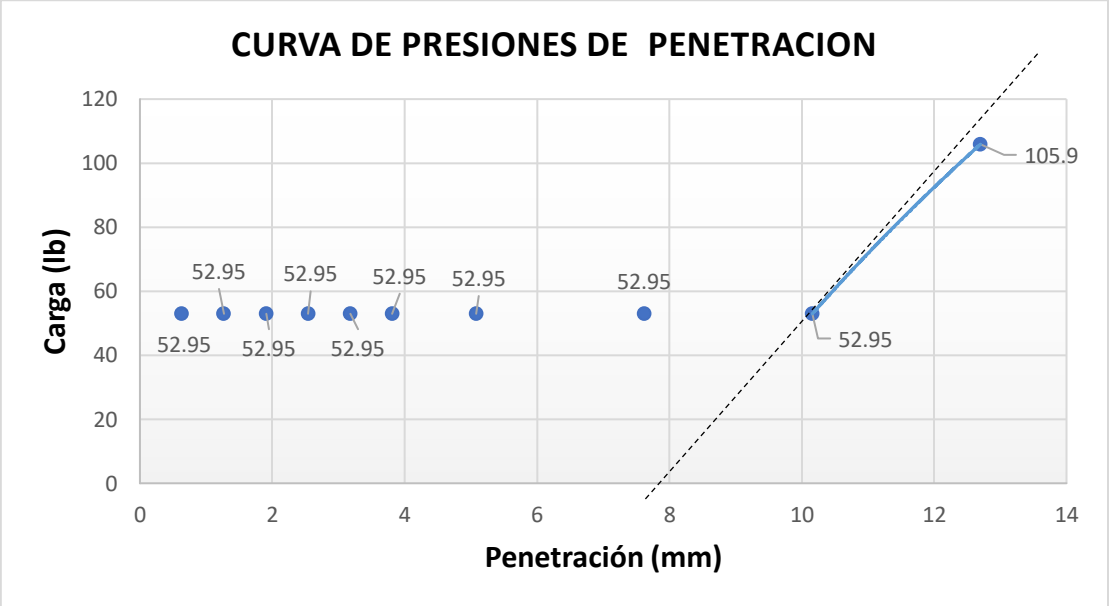
Fuente: Elaboración propia

Figura 2: momento en que penetra el pistón de la máquina C.B.R

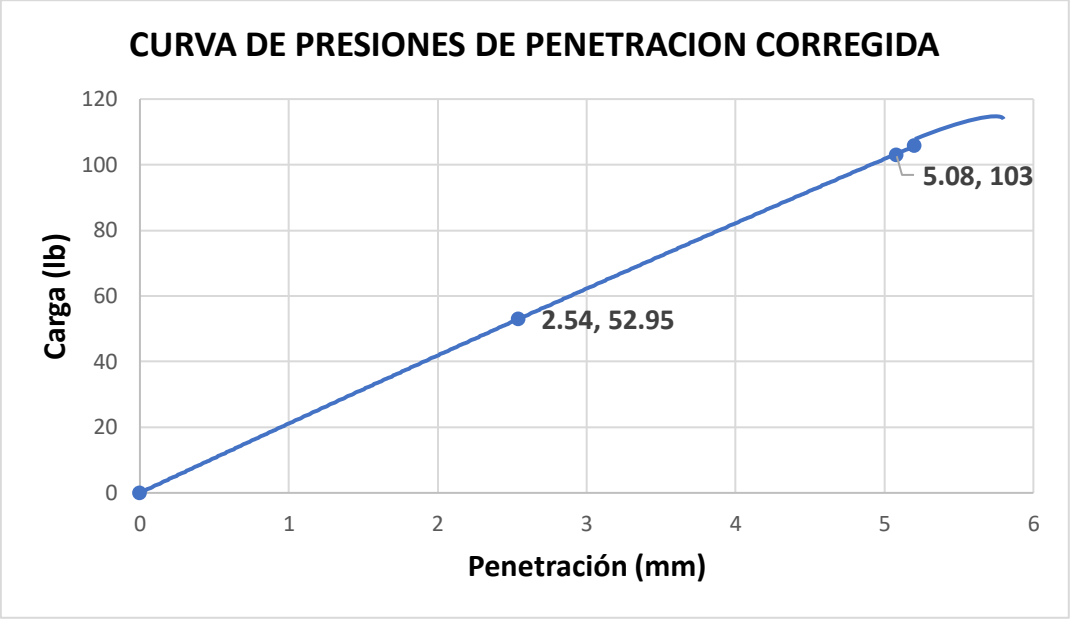


Fuente: Elaboración propia

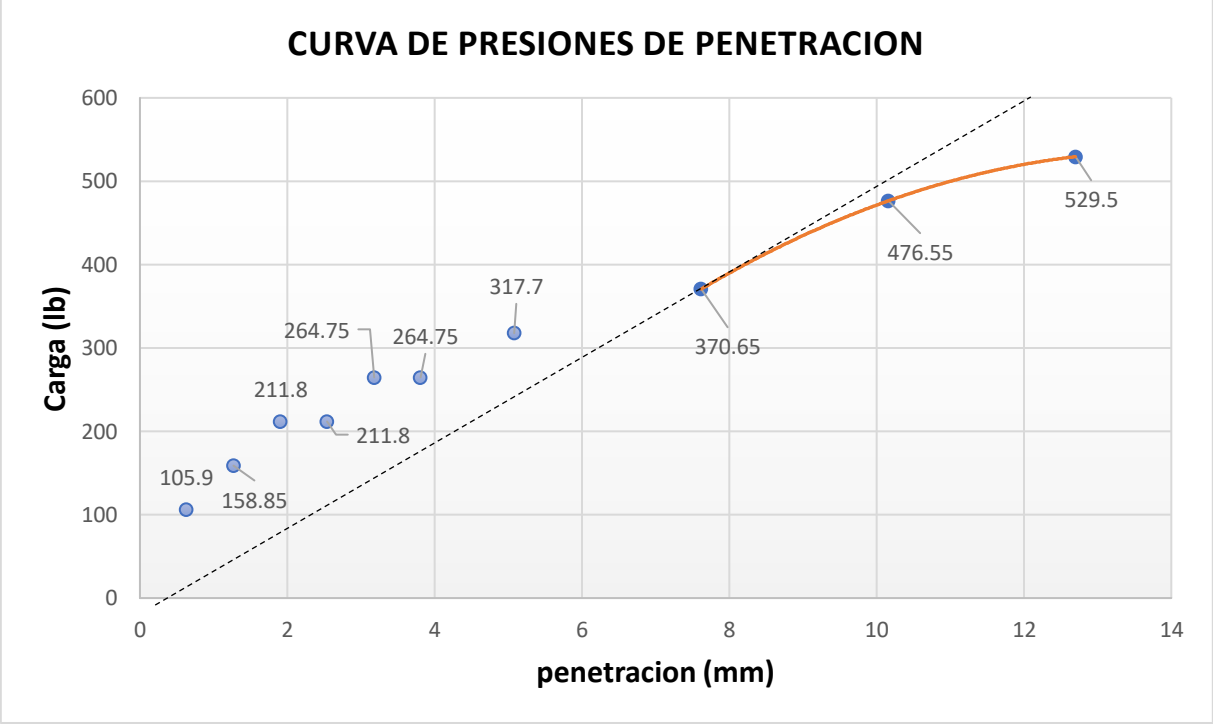
Grafica 2 : Curva de presiones de penetración del suelo A-1-b Molde A-5 (10 golpes)



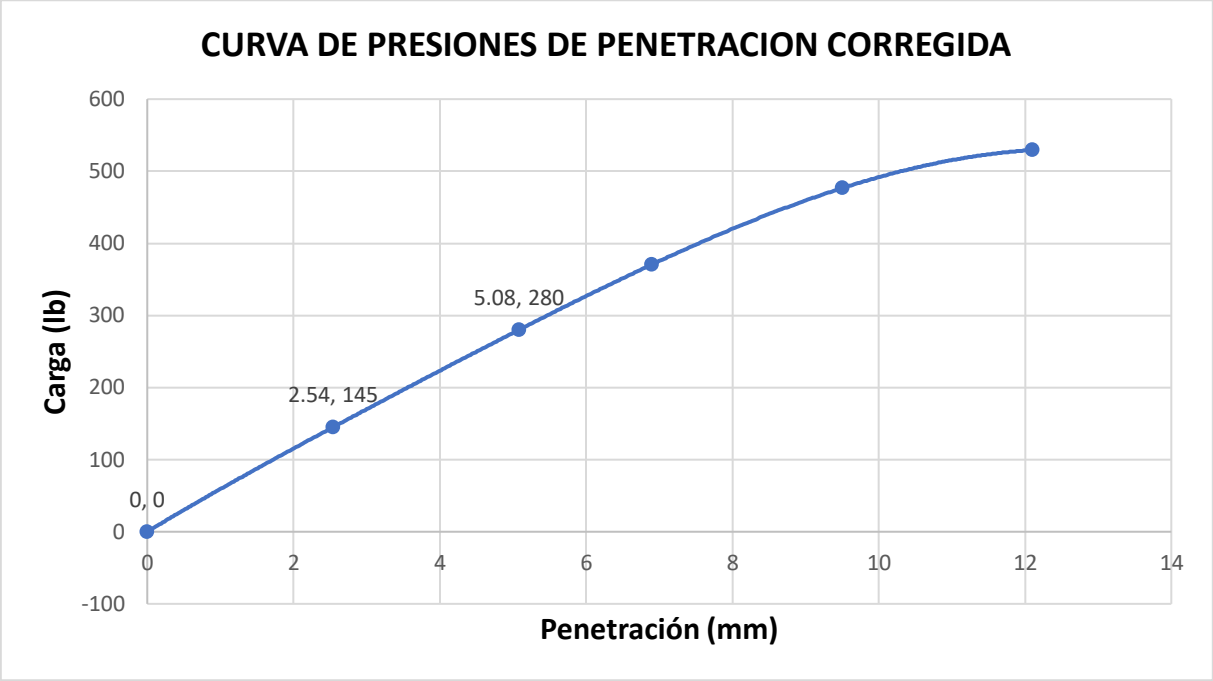
Grafica 3: Curva de presiones de penetración del suelo A-1-b
Molde A-5 (10 golpes) Corregida



Gráfica 4: Curva de presiones de penetración del suelo A-1-b
Molde A-4 (25 golpes)



Grafica 5: Curva de presiones de penetración del suelo A-1-b
Molde A-4 (25 golpes) Corregida



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:

KEINT ALEXANDER ALONSO GUZMAN

Carnet: **2018-0794U**, Con plan de Estudios **2015**, de conformidad con el Reglamento Académico vigente, ha aprobado las asignaturas del **Programa Académico de Ingeniería Civil** en el **I Semestre del 2023,** quedando pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio que lo acredite como **INGENIERO 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 veinticuatro días del mes de marzo del año dos mil veintiséis.

Atentamente,

MSc. Beatriz de los Ángeles Torrez 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

Universidad Nacional de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLÍVAR

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6FDFB819		
NOMBRE	ALONSO GUZMAN KEINT ALEXANDER		
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	2018

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: 26/03/2026 04:08:23

Creado Por: 6FDFB819
Actualizado Por:

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

Secretaría Académica 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:

ELEAN ALONSO HERRERA ZELEDON

Carnet: **2017-0373U**, Con plan de Estudios **2015**, de conformidad con el Reglamento Académico vigente, ha aprobado las asignaturas del **Programa Académico de Ingeniería Civil** en el II **Semestre del 2023,** quedando pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio que lo acredite como **INGENIERO 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 veinticuatro 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

Universidad Nacional de Ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNI
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLÍVAR

MATRICULA ORDINARIA CURSO 2026 SEMESTRE 1

CÓDIGO DE ESTUDIANTE	6A38ADA0		
NOMBRE	HERRERA ZELEDÓN ELEAN ALONSO		
ÁREA/CUR	DIRECCIÓN ÁREA DE CONOCIMIENTO DE ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN		
CARRERA	Ingeniería Civil		
TURNO	Sabatino	**SEXO**	M
AÑO MATRICULADO	6	**GRUPO**	S1FCE-C1V-S
SIT. ESC	REINGRESO	**AÑO ING. EDUC. SUP**	2017

AÑO	GRUPO	ASIGNATURA
6	S1FCE-C1	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: 26/03/2026 04:23:28

Creado Por: 6A38ADA0
Actualizado Por:

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

Secretaría Académica 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:

EDGARD ANTONIO GARCIA MOYA

Carnet: **2018-0800U**, Con plan de Estudios **2015**, de conformidad con el Reglamento Académico vigente, ha aprobado las asignaturas del **Programa Académico de Ingeniería Civil** en el **II Semestre del 2024,** quedando pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio que lo acredite como **INGENIERO 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 trece días del mes de marzo del año dos mil veintiséis.

Atentamente,

Secretaría Académica UNI

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

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	69-7328D-3		
NOMBRE	GARCIA MOYA EDGARD ANTONIO		
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	2018

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: 26/03/2026

Creado Por: ISOZA
Actualizado Por:

Managua 26 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 De Estructura De Pavimento Articulado Por El Método Aashto93 Del Tramo De 3km Comprendido Desde Entrada Escuela Técnica Emprendedora Hasta Entrada Mirador Lomas Del Pueblo Comunidad Guapinol, Diriomo, Granada."** elaborado por los bachilleres: Elean Alonso Herrera Zeledón, Edgard Antonio Garcia Moya, Keint Alexander Alonso Guzmán; 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.

Managua 26 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 De Estructura De Pavimento Articulado Por El Método Aashto93 Del Tramo De 3km Comprendido Desde Entrada Escuela Técnica Emprendedora Hasta Entrada Mirador Lomas Del Pueblo Comunidad Guapinol, Diriomo, Granada."** elaborado por los bachilleres: Elean Alonso Herrera Zeledón, Edgard Antonio Garcia Moya, Keint Alexander Alonso Guzmán; 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.

Managua 26 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 De Estructura De Pavimento Articulado Por El Método Aashto93 Del Tramo De 3km Comprendido Desde Entrada Escuela Técnica Emprendedora Hasta Entrada Mirador Lomas Del Pueblo Comunidad Guapinol, Diriomo, Granada."** elaborado por los bachilleres: Elean Alonso Herrera Zeledón, Edgard Antonio Garcia Moya, Keint Alexander Alonso Guzmán; 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.