

Facultad de Tecnología de la Construcción

“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DEL TRAMO ACHUAPA- EL ACEITUNO (EST 0+000 – 1+200), APLICANDO EL MÉTODO AASHTO – 93”.

Trabajo del Taller Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Heriel Antonio
Blandón Herrera
Carnet: 2013-0133N

Br. Arling Eduardo
Torres Tórrez
Carnet: 2017-0108N

Br. Ana Yanci
Acuña Hernández
Carnet: 2012-42945

Ing. Oliver Josué
Rivera Gutiérrez

DEDICATORIA

Principalmente dedico esta tesis a DIOS nuestro padre celestial, por haberme dado fortaleza, sabiduría y sobre todo confianza para seguir adelante y lograr terminar este sueño.

De manera muy especial a mis padres, ya que con mucho esmero y esfuerzo me han ayudado para poder cumplir unos de mis sueños, como es terminar mis estudios universitarios, siendo ellos la base fundamental de nuestra vida, igual que a todas las personas que nos ayudaron en el transcurso del camino.

Br. Heriel Antonio Blandón Herrera

Br. Ana Yanci Acuña Hernández

Br. Arling Eduardo Torres Torrez

AGRADECIMIENTO

A Dios: sobre todas las cosas por darnos la paz, salud, inteligencia, fuerzas físicas y espirituales para culminar nuestros estudios y seguir adelante en nuestras vidas.

A nuestras familias. De manera especial a nuestras familias, pilar esencial en nuestro desarrollo moral y educativo.

A nuestro tutor. Ing. Oliver Josué Rivera Gutiérrez por dedicarnos tiempo y compartir sus conocimientos para orientarnos en la realización de este trabajo.

A nuestros Maestros. Por darnos el pan de la enseñanza y transmitirnos sus conocimientos a través de su trabajo.

A todos los que nos brindaron sus importantes aportes en este proyecto.

Agradecemos también a todas aquellas personas que a lo largo de todos estos años, nos acogieron como parte de su familia, nos brindaron su ayuda incondicional y nos apoyaron en los momentos más difíciles.

Br. Heriel Antonio Blandón Herrera

Br. Ana Yanci Acuña Hernández

Br. Arling Eduardo Torres Torrez

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Especificos.....	3
3.1. Estudio de Tránsito	4
3.1.1. Aforo Vehicular.....	4
3.1.2. Volumen de Tránsito	4
3.1.3. Tránsito Promedio Diaria Anual (TPDA)	4
3.1.4. Factor de Expansión	5
3.1.5. Factor de Crecimiento	5
3.1.6. Estaciones de Conteo.....	5
3.1.7. Ejes Equivalentes (ESAL)	6
3.1.8. Tránsito de diseño	6
3.2. Estudio de suelo.....	6
3.2.1. Contenido de humedad	7
3.2.2. Granulometría	7
3.2.3. Límites de Atterberg.....	7
3.2.4. Clasificación de suelos	7
3.2.5. Compactación de suelos.....	8
3.2.6. CBR.....	8
3.3. Diseño de Estructura de pavimento articulado	9
3.3.1. Base.....	9
3.3.3. Subrasante.....	9
3.3.4. Método AASHTO – 93.....	9
3.3.5. Principales variables de diseño	10
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	13
4.1. Tipo de investigación.....	13
4.2. Área de estudio.....	13
4.3. Objeto de estudio.....	13
4.4. Plan de procesamiento y análisis de información	14
4.4.1. Estudio de tránsito	14
4.1.2. Estudio de suelos	15

4.1.3. Diseño de estructura de pavimento articulado.....	15
V. DESARROLLO DEL DISEÑO METODOLÓGICO	16
5.1. Estudio de tránsito.....	16
5.1.1. Clasificación de vehicular.....	16
5.1.2. Clasificación vehicular por sus ejes.....	17
5.1.3. Estación de conteo vehicular	17
5.1.4 Datos de campo.....	18
5.1.5 Resultados obtenidos.....	18
5.1.6. Tasas de Crecimiento	26
5.1.7. Tránsito de diseño	30
5.1.8. Ejes equivalentes (ESAL).....	33
5.2. Estudio de suelo.....	36
5.2.1. Datos de campo.....	36
5.2.2. Condiciones actuales del tramo	37
5.2.3. Análisis granulométrico	38
5.2.4. Estados de consistencia.....	41
5.2.5. Estratigrafía de los suelos.....	41
5.2.6. Resultados del estudio de suelos de los bancos de materiales	43
5.2.7. Análisis de los bancos de materiales.....	46
5.2.8. Elección de los bancos de materiales.....	47
5.2.9. CBR de diseño.....	48
5.3. Diseño de estructura de pavimento.....	51
5.3.1. Variables de diseño	51
5.3.2. Cálculo de espesores	63
• Espesor de subbase.....	64
5.3.3. Características de la sección transversal	66
VI. CONCLUSIONES	68
VII. RECOMENDACIONES	69
VIII. BIBLIOGRAFÍA	70
VI. ANEXOS.....	I

I. INTRODUCCIÓN

El tramo Achuapa – El Aceituno, es un acceso vial primordial para el municipio de Achuapa, siendo muy concurrido por vehículos livianos y transporte de pasajeros. Por ende, es importante que este permanezca en buenas condiciones para facilitar la movilización de comerciantes y productores de la zona que van de manera concurrida al pueblo para vender o hacer adquisiciones necesarias para sus hogares.

A pesar de la importancia económica el tramo no cuenta con una vía de transporte en buen estado ya que presenta demasiados baches, agrietamiento, charcos. Debido a esto el transporte colectivo se ve muy afectado.

El camino objeto de estudio se sitúa en el Departamento de León, municipio de Achuapa. (Ver ilustración 1, pág. 2)

Este tramo de camino tiene su origen sobre la carretera del Municipio de Achuapa iniciando en El Municipio de Achuapa (Est 0+000) con coordenadas $13^{\circ} 03' 28.51''$ N y finalizando (Est. 1+200). con coordenadas $86^{\circ} 34' 51.23''$ O. W.

Se realizará el diseño de estructura de pavimento articulado de la carretera tomando en cuenta la norma SIECA 2002 mediante el Método AASHTO -93. Para que dicho diseño se pueda realizar también fue necesario efectuar estudios de tránsito para determinar la cantidad de ejes equivalentes, el análisis de las propiedades físicas y mecánicas del suelo y proponer una estructura de pavimento articulado capaz de soportar las disposiciones de carga del tramo.

Ilustración 1 Macro localización



Fuente: <https://www.google.com/search?q=mapa%20de%20leon%20nicaragua&tbm=isch&hl=es&sa=X&ved=0CCIQI8BKANqFwoTCPIKmrSh7P4CFQAAAAAdAAAAABAL&biw=1385&bih=841&dpr=1.5#imgrc=oT712vU5dorWVM>

Ilustración 2 Micro Localización



Fuente: <https://earth.google.com/earth/d/1zQb98t3u26YbQjunBkGIOE-TOHcA6bOh?usp=sharin>

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar el diseño de la estructura de pavimento articulado del Tramo Achuapa – El Aceituno (Est 0+000 – 1+200), aplicando el Método AASHTO – 93.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la cantidad de ejes equivalente que circularan en el tramo Achuapa – El Aceituno (Est 0+000 - 1+200), mediante la realización de un aforo.
- Analizar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del tramo y de los bancos de material, para la realización del diseño de la estructura de pavimento, proporcionadas por la Alcaldía de Achuapa aplicando las normas AASHTO y NIC 2019.
- Diseñar la estructura de pavimento, para la finalidad soporte de las cargas aplicando el método AASHTO-93.

III. MARCO TEORICO

3.1. Estudio de Tránsito

“Aquellos fase de la ingeniería de transporte que tiene que ver con la planeación segura y eficiente, el proyecto geométrico y la operación del tránsito por calles y carreteras, sus redes, terminales, tierras adyacentes y su relación con otros modos de transporte motorizado y no motorizado” (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2018, pág. 33).

3.1.1. Aforo Vehicular

El flujo de tránsito en cualquier tramo de la red vial, tiene sus propias características de volumen y composición por tipo de vehículo que normaliza las fluctuaciones o las variaciones que se presentan en las características del flujo a lo largo de diferentes intervalos de tiempo, de hora a hora, por día de la semana y mes a mes (Ministerio de Transporte e Infraestructura 2018, pág. 1).

3.1.2. Volumen de Tránsito

“Es el número de vehículos que circulan en ambas direcciones por una sección de vía durante un período de tiempo específico de tiempo. Este puede ser horario, diario, semanal, etc.” (Montejo Fonseca , 2022 , pág. 28) .

3.1.3. Tránsito Promedio Diaria Anual (TPDA)

Para obtener el tránsito promedio diario anual (TPDA), es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto o sección de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en períodos horarios, diarios, semanales o mensuales. Muchas veces, esta información anual es difícil de conseguir, al menos en todas las vialidades, por los costos que ellos implican. Sin embargo, se pueden conseguir datos en las casetas de cobro para las carreteras de cuota y mediante contadores automáticos instalados en estaciones maestras de la gran mayoría de las carreteras de la red vial primaria de la nación (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2018, pág. 206).

$$TPDA = \frac{TA}{365} \text{ Ec. 1. (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, pág. 184)}$$

Donde:

TDPA: Tráfico Promedio Diario Anual.

TA: Tráfico Anual.

3.1.4. Factor de Expansión

“Es el factor para expandir el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual (TPDA) por tipo de vehículo, el que se obtiene de los conteos realizados en las estaciones de mayor cobertura” (Ministerio de Transporte e Infraestructura 2018, pág. 13).

3.1.5. Factor de Crecimiento

“Es uno de los factores que se toma en consideración al momento de calcular el TPDA y hace referencia al tráfico proyectado en un periodo de diseño, a su vez implica la tasa de crecimiento vehicular” (Coronado Inturbide & SIECA, 2002, pág. 24).

3.1.6. Estaciones de Conteo

Según el Anuario de Aforos de Tráfico (Ministerio de Transporte e Infraestructura 2018), las estaciones de conteo se dividen de la siguiente manera:

- ⊕ Estaciones de Mayor Cobertura (EMC): Son las estaciones de conteo continuos los 365 días del año, pero debido al alto costo que repercute en la ejecución de estos aforos, el Ministerio no está en la capacidad de realizarlos los 365 días del año, por ende se dividió el período en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 tiempos por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TDPA) 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.
- ⊕ Estación de Conteo Sumaria (ECS): Son las estaciones con volúmenes menores de 300 TPDA.

Tanto para las estaciones de Corta Duración y de Conteo de Sumaria, se realizarán conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (miércoles, jueves y viernes). (Pág. 9).

3.1.7. 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. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferentes pesos y número de ejes y que para efectos de cálculo se le transforma en un número de ejes equivalentes de 80 kN o 18 kips², por lo que se le denominará “Equivalente simple axial load” o ESAL (Ejes equivalentes) (Coronado Inturbide & SIECA, 2002, pág. 1).

3.1.8. Tránsito de diseño

Acorde con Montejo Fonseca (2002), el Tránsito de Diseño (TD), es una proyección que se realiza para el periodo de diseño, dicha proyección, se efectúa con una serie de datos históricos de tránsito, obteniendo así, un tráfico futuro, para ello, se debe tomar en cuenta la Ecuación 3. (Pág. 543)

$$TD = TPDA * FC * 365$$

Ec.2 Tomada de la ASSHTO – 93 (Pág. 21)

Donde:

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual.

FC: Factor de Crecimiento.

365: Días del año

3.2. Estudio de suelo

“Estudia los procesos de desintegración mecánica, la descomposición química de las rocas de la corteza terrestre y los materiales sueltos que se encuentran en ella”. (Crespo Villalaz, Mecánica de suelos y cimentaciones, 2004, pág. 18)

3.2.1. Contenido de humedad

El contenido de agua o humedad representa el porcentaje del peso de agua en una determinada masa de suelo con respecto al peso de partículas sólidas. A su vez, es la cantidad de agua concentrada en un material, como suelo, rocas, cerámica o madera, medida a través de análisis volumétrico o gravimétrico (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, pág. 191).

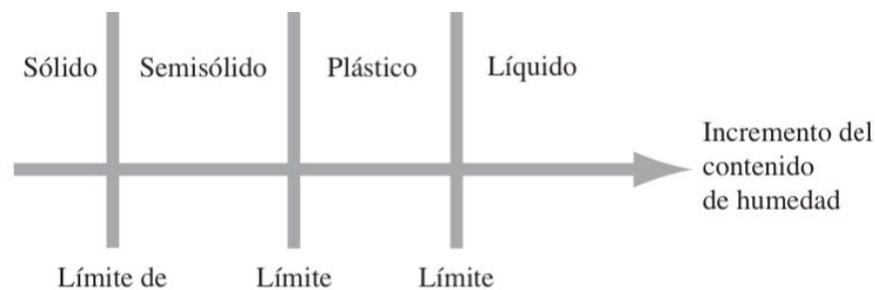
3.2.2. Granulometría

“Se refiere a la determinación de la cantidad en por ciento de los diversos tamaños de las partículas que constituyen el suelo”. (Crespo Villalaz, 2004, pág. 46)

3.2.3. Límites de Atterberg

El contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el que se lleva a cabo la transición del estado sólido al estado semisólido se define como el límite de contracción. El contenido de humedad en el punto de transición del estado semisólido al estado plástico es el límite plástico, y del estado plástico al estado líquido es el límite líquido. Estos límites son también conocidos como límites de Atterberg. (Das, 2015, pág. 65)

Ilustración 1 Límites de Atterberg



Fuente: *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (Das, 2015)

3.2.4. Clasificación de suelos

De acuerdo con el sistema de la AASHTO la clasificación de los suelos de los materiales que tienen un 35% o menos que pasan por un tamiz núm. 200. Estos suelos pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6 y A-2-7. Si es más de 35% pasa a través de un tamiz núm. 200, los suelos son de material

Ilustración 3 Clasificación de Suelos AASHTO

limoso o arcilloso. Estos suelos entran en los grupos A-4, A-6, A-6, A-7-5 y A-7-6. (Das, 2015, pág. 78)

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el número 200)						
	A-1			A-2			
Grupo de Clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (% pasa)							
No 10	50 máx.						
No 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasó No 40.							
Límite Líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena.		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						
Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el número 200)						
	A-4		A-5		A-6		A-7
Grupo de Clasificación							A-7-5 y A-7-6
Análisis de tamiz (% pasa)							
No 10							
No 40							
No 200	36 mín.		36 mín.		36 mín.		36 mín.
Características de la fracción que pasó No 40.							
Límite Líquido	40 máx.		41 mín.		40 máx.		41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.		10 máx.		11 mín.		11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos				Suelos arcillosos		
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo						

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Das 2015

3.2.5. Compactación de suelos

“La compactación es la consolidación del suelo por la eliminación de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso unitario seco”. (Das, 2015, pág. 91)

3.2.6. CBR

Es un ensayo que se encarga de medir la resistencia que opone un suelo a la penetración de un pistón, de área de una muestra de suelo. La fuerza necesaria para que el pistón penetre dentro de suelo se mide a determinados intervalos de penetración. (SIECA, 2002, pág. 75)

La definición del CBR es:

$$CBR = \frac{\text{Fuerza necesaria para producir una penetración de 2.5 mm en el suelo}}{\text{Fuerza necesaria para producir penetración de 2.5 mm en la muestra del patrón}}$$

Ec.3. Tomada de (SIECA, 2002)

3.3. Diseño de Estructura de pavimento articulado

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concretos prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular o directamente sobre la subrasante, dependiendo de la calidad de ésta y de la magnitud y frecuencia de las cargas que circularan por dicho pavimento. (Montejo Fonseca , 2022 , pág. 7)

3.3.1. Base

“Las características de los materiales para base o sub base varían si éstas no son estabilizadas, como las bases granulares, o si están estabilizadas con asfalto o con cemento” (AASHTO 93, 2001, pág. 111).

3.3.2. Sub base

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub base (Coronado Inturbide & SIECA, 2002, pág. 92).

3.3.3. Subrasante

Coronado Iturbe (2002), define a la subrasante, como una capa de terreno, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño, que corresponde al tránsito previsto (pág.94).

3.3.4. Método AASHTO – 93

El diseño para el pavimento Articulado según la AASHTO está basado en la determinación del Número Estructural “SN” que debe soportar el nivel de carga

exigido por el proyecto. Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan un módulo resiliente mayor a 40000 psi (280MPa) (AASHTO 93, 2001, pág. 169).

La ecuación de este método de diseño es:

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

EC.4 Tomado (AASHTO 93, 2001)

Dónde:

W18: Número de cargas 18 kip (80KN) previstas. Tráfico equivalente o ESAL´S.

ZR: Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

So: Desvío estándar de todas las variables.

Δ PSI: Pérdida de serviciabilidad.

MR: Módulo resiliente de la subrasante

3.3.5. Principales variables de diseño

En esta sección se detallan cada uno de los parámetros de diseño de la estructura de pavimento Articulado.

- **Periodo de diseño**

“Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente” (Coronado Inturbide & SIECA, 2002, pág. 289)

- **Desviación Estándar**

“Es una medida del desvío de los datos con respecto al valor medio. Cuanto menor sea el desvío estándar, los datos los datos medidos estarán más próximos al valor medio” (AASHTO 93, 2001, pág. 122).

- **Serviciabilidad**

Es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el que fue diseñado. El índice de serviciabilidad se califica entre 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto). Para el diseño de pavimentos debe asumirse la serviciabilidad inicial (P_0) y la serviciabilidad final (P_t).

$$\Delta PSI = P_0 - P_t \quad EC.5. Tomado (AASHTO 93, 2001)$$

- **Confiabilidad**

La confiabilidad se requiere al nivel de probabilidad que tiene una estructura de pavimento diseñada para durar a través de análisis. La confiabilidad del diseño toma en cuenta las posibles variaciones de tráfico previstas, así como en las variaciones del modelo de comportamiento AASHTO, proporcionando un nivel de confiabilidad que asegure que las secciones del pavimento duren el periodo para el cual fueron diseñadas (AASHTO 93, 2001, pág. 131).

- **Módulo de Resiliencia**

Es la variable que se usa para caracterizar las propiedades de los suelos, está en función de la subrasante para cuantificar la capacidad de soporte de los pavimentos articulado, la guía de diseño establece la correlación para determinar el MR usando el CBR. (AASHTO 93, 2001).

Las ecuaciones de correlación recomendadas son las siguientes:

- ❖ Para materiales de subrasante con CBR igual o menor a 7,2%

$$Mr = 1500 * CBR \quad EC.6. Tomado (Montejo Fonseca , 2022)$$

- ❖ Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 20,0%, se deberán emplear otras formas de correlación:

$$Mr = 4.326 * \ln(CBR) + 241 \quad EC.7. Tomado (Montejo Fonseca , 2022)$$

- **Coeficiente de capa**

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_n), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos Articulado. Estos

coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (AASHTO 93, 2001).

- **Coeficiente de drenaje**

“Es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento en su vida útil, así también en el diseño del mismo (Ver tabla 3, pág. I)” (AASHTO 93, 2001, pág. 159).

- **Número Estructural**

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18, se debe de asumir un valor inicial de SN. Asumido por la siguiente ecuación:

$$SN = a_1D_1+a_2D_2m_2+a_3D_3m_3. \text{ EC.8 Tomado (AASHTO 93, 2001)}$$

$a_{1,2,3}$: Coeficientes estructurales de capa.

$D_{1,2,3}$: Espesores de capa.

$m_{1,2,3}$: Coeficientes de drenaje de capa

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

En esta sección se muestra el proceso que se llevará a cabo para la realización del diseño geométrico y estructura de pavimento articulado del tramo en estudio.

4.1. Tipo de investigación

Basado en (Hérendez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), la investigación es de tipo cuantitativa, mediante un método deductivo en el cual se llevarán a cabo experimentos y entrevistas, con las cuales se ratificarán los objetivos planteados para el trabajo monográfico.

La investigación descriptiva según (Salinas, 1993): “Es investigación de evaluación, ya que pretende determinar la eficacia de un programa, práctica, procedimiento o política y evaluar su validez”.

Contando con los resultados adquiridos, se podrá llevar a cabo el diseño de la estructura de pavimento articulado, cumpliendo con lo establecido según la normativa.

4.2. Área de estudio

El punto para llevar a cabo el diseño de estructura de pavimento, se encuentra ubicado en el municipio de Achuapa en el departamento de León. Está ubicado a 172 km de la capital Managua y a 111 km de la cabecera departamental León.

4.3. Objeto de estudio

Mediante este estudio investigativo se procura llevar a cabo el diseño de estructura de pavimento articulado del tramo, mediante la aplicación del método AASHTO – 93. Con esto, se pretende proporcionar una mejor calidad de vida y mayor seguridad al momento de realizar viajes hacia la zona de estudio; al igual que, mejorar las condiciones de movilización de mercancías al momento de trasladarlas a las diferentes zonas del país.

4.4. Plan de procesamiento y análisis de información

4.4.1. Estudio de tránsito

En esta etapa se realizó un aforo manual vehicular, para obtener la cantidad de vehículos que circulan en el tramo se inició conteo por 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.), por tres días consecutivos (miércoles, jueves y viernes), se inició el conteo vehicular a partir del miércoles 08 de marzo del 2023 y finalizó el viernes 10 de marzo del mismo año.

El Aforo vehicular se presenta por medio del formato presentado en el anuario estadístico del MTI 2019. Para obtener resultados adecuados, se contó y clasificó el cien por ciento de los vehículos que circulan en ambas direcciones de la estación de conteo y clasificación vehicular, teniendo como punto de inicio la estación 0+200 del tramo en estudio, la estación más cercana es la estación de corta duración 352, Achuapa – El Aceituno la cual tiene el código NIC-18 A y que a su vez pertenece a la Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos – Masatepe.

Con el aforo vehicular, se define el Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS), se proyecta y se obtiene el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), esto mediante la implementación de factores que son obtenidos del anuario estadístico del MTI 2019.

Seguidamente, se determina la tasa de crecimiento para el periodo de diseño, tomando como referencia los históricos del TPDA de la estación de corta duración que se seleccionó, las variables de Producto Interno Bruto y Crecimiento de la población, para posteriormente seleccionar una tasa promedio que servirá para la determinación del tránsito futuro.

Para la determinación del ESAL de diseño se hará uso de los factores que establece el MTI y se multiplicará por la cantidad de vehículos proyectados, acorde a su clasificación.

4.1.2. Estudio de suelos

El estudio de suelos fue proporcionado por la Alcaldía Municipal de Achuapa, el cual se ha analizado con los criterios establecidos por la NIC 2019, se presentan los datos de análisis granulométrico, límites de Atterberg, clasificación de suelos en cada uno de los sondeos manuales, acorde con las normativas AASHTO y ASTM.

Se evaluaron los bancos de materiales propuestos, acorde a las normas NIC 2019.

Se determinó el CBR de la subrasante, acorde a la metodología establecida por el Instituto del Asfalto, los datos de CBR también fueron proporcionados por la Alcaldía Municipal de Achuapa.

4.1.3. Diseño de estructura de pavimento articulado

En el diseño de la estructura de pavimento se hará uso del método AASHTO-93, tomando en consideración el periodo de diseño seleccionado en el estudio de tránsito y el ESAL calculado, se procede a la selección de los demás parámetros de diseño: Desviación Estándar, Confiabilidad, Serviciabilidad y módulos de resiliencia de subrasante, tomando en consideración la norma SIECA 2002.

Se encontraron los coeficientes estructurales de capa, para a2 y a3, hacer uso de los nomogramas de la AASHTO-93.

Se calcularon los números estructurales haciendo uso de los nomogramas de AASHTO-93 y posteriormente las fórmulas correspondientes para el cálculo de espesores de la estructura de pavimento.

V. DESARROLLO DEL DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. Estudio de tránsito

En este acápite muestran los datos de tránsito, para el diseño de pavimento articulado en el tramo Achuapa – El Aceituno. Toda esta información permitirá determinar el espesor del pavimento que se requiere para soportar las cargas (Ejes Equivalentes) que producirá dicho tránsito, considerando el periodo de diseño propuesto.

5.1.1. Clasificación de vehicular

En nuestro país Nicaragua, el MTI ha determinado las clasificaciones vehiculares más comunes a su vez ha determinado los límites de cargas para cada uno y ha designado una terminología para los vehículos que circulan en la red vial en el país.

Motocicletas: Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos, motorizados, con o sin transporte, esta categoría incluye scooter, motonetas, motocarros, cuadra ciclos y otros triciclos a motor.

Vehículos livianos: Son vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, automóviles, jeep, camionetas, y microbuses de uso personal.

Vehículos pesados de pasajeros: Son los vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro a seis ruedas, que incluyen microbuses, buses medianos y grandes.

Vehículos pesados de carga: Son los vehículos destinados al transporte pesados de cargas mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en dos, tres, cuatro, cinco y más ejes, estos incluyen camiones de tres ejes o mayores y otros tipos de vehículos especiales tales como agrícolas y de construcción. En el caso de Nicaragua, el MTI ha determinado los límites de cargas por tipo de vehículo pesado, debido a que los vehículos pesados traen

como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicada a un determinado punto de la estructura.

5.1.2. Clasificación vehicular por sus ejes

La diversidad en las características de los vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida de diseño, trae como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura.

Se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de sus ejes de la forma que se muestra en el Diagrama de Cargas Permisibles en este caso vigente.

5.1.3. Estación de conteo vehicular

El conteo vehicular, se llevó a cabo en la Estación 0+200, inicio del tramo Achuapa – El Aceituno; mismo que inicia en las coordenadas: con coordenadas $13^{\circ} 3' 16.65''$ N Y $86^{\circ} 35' 5.02''$ O. dicha sección del tramo se seleccionó para realizar el aforo vehicular, ya que permite captar el 100% del tráfico que circula en los dos sentidos de la vía. El tramo en cuestión, finaliza en la Estación 1+200, cuyas coordenadas son las siguientes: $13^{\circ} 03' 41.11''$ N y $86^{\circ} 34' 37.54''$ O.

5.1.4 Datos de campo

La información recopilada en el aforo vehicular, permite comprender el tráfico en el sector en estudio, esto mediante, la composición vehicular que circuló en los días de conteo.

5.1.5 Resultados obtenidos

- **Aforo vehicular**

Con los datos recolectados en el aforo manual de observación directa, que inició el conteo vehicular a partir del miércoles 08 de marzo del 2023 y finalizó el viernes 10 de marzo del mismo año, se contabilizaron las cantidades de vehículos que transitaron en el tramo en estudio acorde a su clasificación vehicular, como se puede apreciar en la Tabla 1 pág. 19.

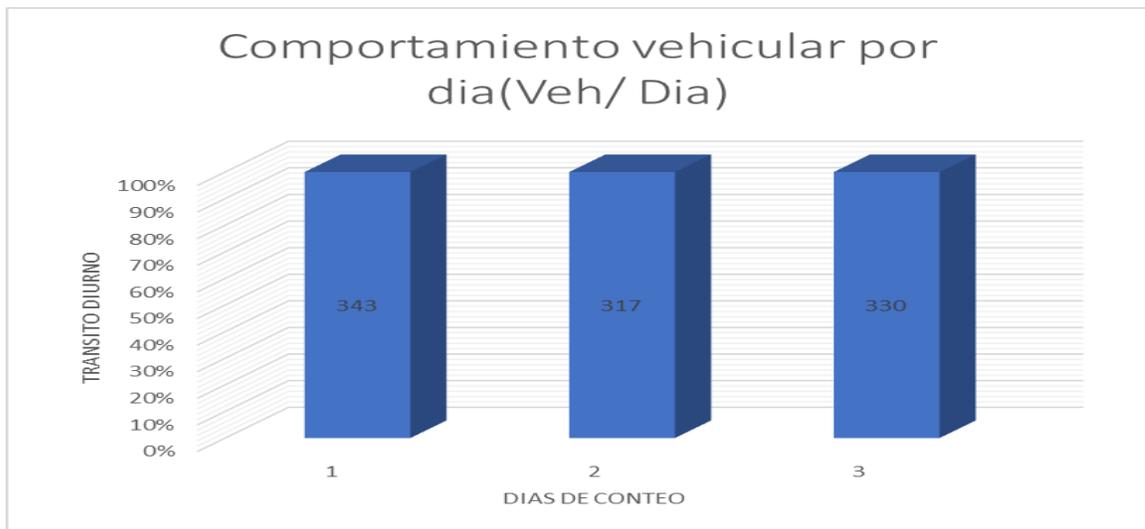
Tabla 1 Aforo vehicular del tramo Achuapa – El Aceituno y estación seleccionada (ECS 49028)

Ubicación: Est.0+200											
Tramo:Achuapa - El Aceituno											
FECHA	DIA	Vehiculos de Pasajeros					Vehiculos de Carga				Total Veh. 12 hrs.
		Motos	Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc	
8/3/2023	Miercoles	274	3	5	22	5	28	3	3	0	343
9/3/2023	Jueves	261	3	5	17	5	24	1	1	0	317
10/3/2023	Viernes	278	3	2	15	5	26	0	1	0	330
Total/ Veh.		813	9	12	54	15	78	4	5	0	990
Total		903					87				990
Veh./ 12 hrs.		82.12	0.91	1.21	5.45	1.52	7.88	0.40	0.51	0	100
% por tipo		91.21					8.79				100.00
		% Vehiculos Livianos					% Vehiculos Pesados				

Fuente: Elaboración Propia.

El Gráfico 1, presenta el comportamiento del flujo vehicular en los días de conteo, reflejando los días de mayor circulación en el tramo; el día Miércoles con 343 vehículos, siendo el día de mayor volumen vehicular presentado, seguido por, viernes, con un flujo vehicular de 330.

Gráfico 1. Comportamiento vehicular por día



Fuente: Elaboración Propia

- **Determinación del Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)**

El Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS), se determinó realizando un promedio de los resultados obtenidos en el aforo vehicular, teniendo en cuenta los dos sentidos de la vía, los resultados se detallan en la Tabla 2, reflejando un valor de 330 vehículos por día.

Tabla 2 Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)

	Vehiculos de Pasajeros					Vehiculos de Carga				Total
	Motos	Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc	
TPD	271	3	4	18	5	26	1	2	0	330
Total	301					29				330
%	82.1	0.9	1.2	5.5	1.5	7.9	0.4	0.5	0	100%
	91.2					8.8				100%
	% Vehiculos Livianos					% Vehiculos Pesados				

Fuente: Elaboración Propia

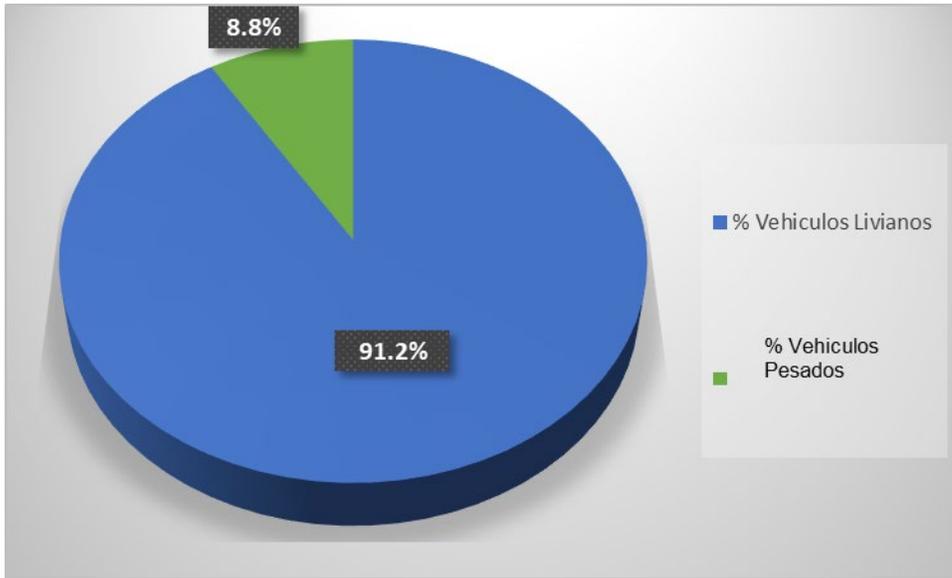
El cálculo se realizó de la siguiente manera:

$$TPD = C - 2 \text{ liv} = \frac{78}{3} = 26 \text{ veh} \quad \text{Ecuación 9}$$

- **Composición vehicular del TPD**

Al analizar los datos recolectados en el aforo vehicular, se define el valor de Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS) de 330 vehículos por día, que acorde a la clasificación vehicular, se divide de la siguiente manera: el 91.2% corresponde a vehículos livianos (motocicleta, automóvil, jeep, camioneta, mini bus), y el 8.8% a los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3), dicho resultado se muestra ilustrado en el Grafico 2

Gráfico 2. Porcentaje de la Clasificación Vehicular del TPD



Fuente: Elaboración Propia

- **Cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)**

Para obtener el tráfico promedio diario anual TPDA, es necesario disponer del número total de vehículos que pasan durante el año por el punto de referencia, mediante aforos continuos a lo largo de todo el año, ya sea en períodos horarios, diarios, semanales o mensuales. Muchas veces esta información anual, es difícil de obtener, al menos en todas las vialidades, por los costos que ello implica. (Cal, Reyes Spíndola y Cárdenas Grisales, 2007)

Basado en lo establecido en el Anuario de Aforos de Tráfico (2019), es necesario tener en consideración diferentes vectores, tales como: vector geográfico y vector volumen.

En la Tabla3, se presenta la clasificación que corresponde al vector geográfico, para el tramo en estudio Achuapa – El Aceituno, que corresponde a un vector R2,

expresando que se encuentra en la región pacifico norte, ya que pertenece al departamento de León.

Tabla 3. Vector Geográfico

Vector	Código	Nombre de Región	Departamentos
R1	PS	Pacifico sur	Masaya, Granada, Carazo, Rivas
R2	PN	Pacifico Norte	León, Chinandega, Managua
R3	CN	Central Norte	Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales
R4	AS	Atlantico Sur	Región Autónoma del Caribe Sur (RACS), Río San Juan
R5	AN	Atlantico Norte	Región Autónoma del Caribe Norte (RACN)

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2019

Para dicho tramo, se implementa la Estación de Corta Duración Achuapa – El Aceituno, perteneciente a la Estación de Mayor Cobertura 1802, San Marcos – Masatepe, (Ver Ilustración 11). Acorde con lo que establece el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI (2019), la ECD se aplicará cuando el vector volumen está comprendido en el rango de 300 a 5,000 vehículos por día.

Para la obtención del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), es necesario tener en cuenta el factor de expansión apropiado y el factor día correcto, dichos factores, deben ser identificados en el anuario estadístico del MTI (2019), teniendo en cuenta la estación de conteo más cercana al tramo en estudio, identificada como la ECD 352 Achuapa – El Aceituno, siendo esta seleccionada, por ser la estación geográficamente más cercana.

En la Tabla 4, se aprecian los factores implementados para realizar la expansión de TPDS a TPDA, en el que se selecciona los valores que corresponden al Conteo 1, ya que estos pertenecen al primer cuatrimestre del año, acorde a los registros del conteo realizado por el MTI, y el aforo vehicular en estudio, se realizó en la primera semana del mes de marzo, cumpliendo con el periodo que lo rige.

Tabla 4. Factores de Expansión a TPDA Primer Cuatrimestre (enero-abril)

Descripción	Motos	Auto	Jeep	Cam	Bus	C2	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
						Liv			
Factor Día	1.48	1.39	1.34	1.29	1.38	1.25	1.25	1.18	
Factor Semana	0.96	1.07	1.08	1.04	0.97	0.93	0.89	0.9	
Factor fin de semana	1.11	0.86	0.84	0.91	1.1	1.25	1.47	1.36	
Factor Expansión a TPDA	0.98	0.94	1.02	0.97	0.96	0.98	0.84	0.69	

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico, MTI 2019

Basado en lo que plantea el Anuario de Aforos de Tráfico del MTI (2019), el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), es calculado por la Ecuación 2, que se define a continuación:

$$TPDA = TPD * fd * fs * f fs * fs$$

$$TPDA = TPD * fd * fs * fe$$

Ec-10. Tomada de MTI (2019)

Donde:

TP(D): Es el tránsito promedio diurno, equivalente al Tráfico Promedio Diario Semanal, cuando se afora la semana completa durante las 12 horas.

fd: Factor día.

fe: Factor expansión.

La Tabla 5, pág.24, refleja el resultado obtenido de expansión del TPDS A TPDA, esto al implementar la Ecuación 10, expresando un resultado de proyección para cada tipo de vehículo, y a su vez, un valor general de TPDA de 449 vpd (vehículos por día).

Tabla 5. Tráfico Promedio Diario Anual (La Aceituna- Achuapa)

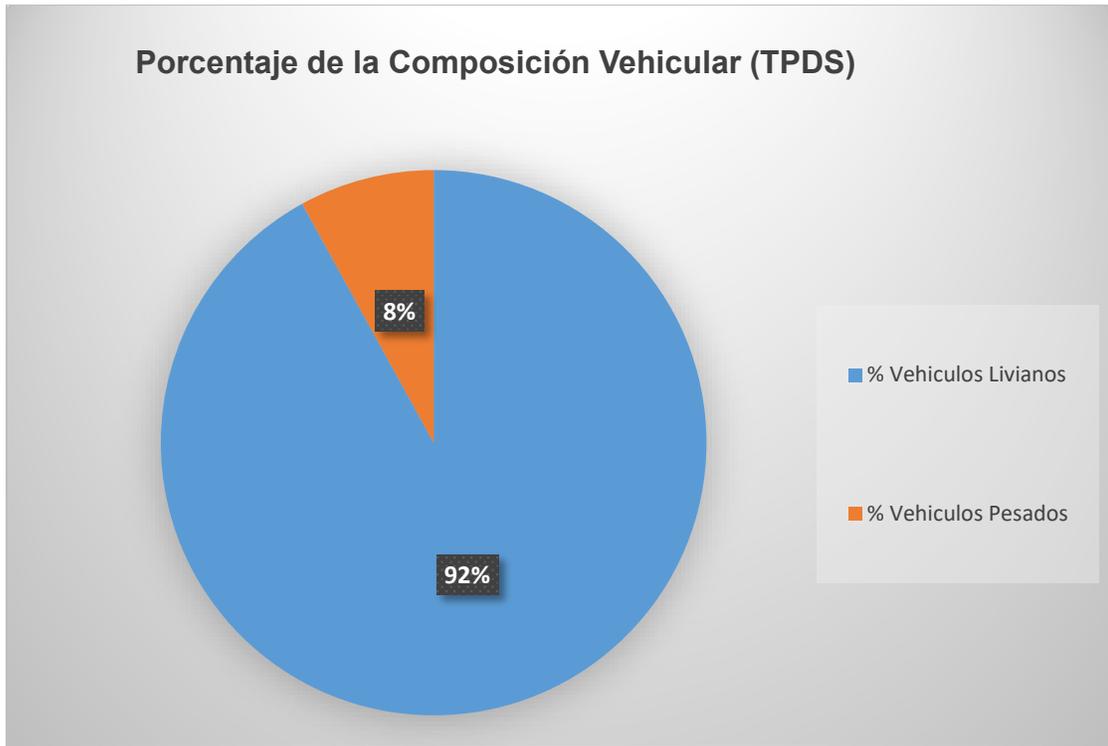
Ubicación: Est.0+200										
Tramo:La Aceituna - Achuapa										
	<i>Vehiculos de Pasajeros</i>					<i>Vehiculos de Carga</i>				<i>Total Veh. 12 hrs.</i>
	<i>Motos</i>	<i>Auto</i>	<i>Jeep</i>	<i>Cam</i>	<i>Bus</i>	<i>C2 Liv</i>	<i>C2 > 5 ton</i>	<i>C3</i>	<i>Veh. Agríc</i>	
TPDS	271	3	4	18	5	26	1	2	0	330
Factor Ajuste	0.98	0.94	1.02	0.97	0.96	0.98	0.84	0.69	0	
Factor Expansion	0.98	0.94	1.02	0.97	0.96	0.98	0.84	0.69		
TPDA	260	3	4	17	5	25	1	1	0.00	315
Total	289					27				315
%	83	1	1	5	1.5	8	0.3	0.3	0.0	100%
	92					8				100%
	% Vehiculos Livianos					% Vehiculos Pesados				

Fuente: Elaboración Propia

- **Composición vehicular del TPDA**

A partir de los resultados obtenidos de la expansión de TPDS a TPDA, se determina la composición vehicular de forma porcentual, la que se conforma de la siguiente manera: de los 4289 vpd, el 92% correspondiente a los vehículos livianos (motos, autos, jeep, camionetas) y el 8%, se expresa en los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3), observe Gráfico 3.

Gráfico 3. Porcentaje de la Clasificación Vehicular del TPDA



Fuente: Elaboración Propia

Los porcentajes de vehículos livianos y pesados del TPDA para el tramo Achupapa – El Aceituno son; 92% y 8% respectivamente, en comparación con los valores de la Estación de Mayor Cobertura 1802, San Marcos Masatepe, existe una leve variación, ya que los valores que la caracterizan son 90.6% para los vehículos livianos y 9.3% para los vehículos pesados. (Observe Tabla 6)

Tabla 6. Porcentaje Vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura

Est.	Nombre de Tramo	TPDA	%de liviano	% de pesados
101B	Zona Franca-La Garita	23582	78.1	21.8
1205	Emp. Chichigalpa-Rot. Chinandega	11010	75.2	24.5
200	Entrada INCAE-El Crucero	9825	85	14.9
401	Masaya - Granada	9635	87.7	12.18
1802	San Marcos - Masatepe	9178	90.6	9.3
107	Sébaco-Emp. San Isidro	7802	76.8	22.9
300	Sébaco - Quebrada Honda	6238	77	22.8
2404	Chinandega - Corinto	5994	67.1	32.6
2803	Nagarote-La Paz Centro	5706	62.8	36.8
2400	Rot. Chinandega-Rancheria	4301	81.3	17.2
700	Emp. Camoapa-tecolostepe	3355	64.1	35.5

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico, MTI 2019. Pág. 13

La Tabla 5, pág.25, ilustra, que la mayor incidencia que presenta la proyección del TPDA, son las motocicletas, con una cantidad de 260, seguida por livianos de carga (C2) con 25 y 17 que corresponden a las camionetas.

5.1.6. Tasas de Crecimiento

El Anuario de Aforos de Tráfico del MTI (2019) especifica, las tasas de crecimiento, se implementan con el propósito de considerar datos estadísticos de conteos previos. Es un proceso investigativo, que involucra los diferentes volúmenes de tránsito (TPDA), y su comportamiento, para así, no presentar ningún distorsionamiento por factores locales, al momento de realizar una proyección para un diseño de pavimento.

- **Determinación de la Tasa de Crecimiento**

Las tasas de crecimiento varían acorde a los indicadores que se toman en cuenta, por ende, las variables a considerar son la que se describen a continuación; el Producto Interno Bruto (PIB), considerado por ser un factor socioeconómico, el crecimiento poblacional, y los registros históricos de conteos vehiculares, cabe destacar, que se toman los valores de la estación más cercana al tramo en estudio (Achuapa – El Aceituno), la cual es, la Estación de Corta Duración 4902B, Achuapa – El Aceituno, dicho registro histórico, se presenta en la última versión del anuario estadístico del MTI (2019). (Ver anexos Ilustración 12, pág.VI).

Se analiza la tasa de crecimiento del histórico de TPDA, el cual se determinó con la siguiente fórmula:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1 \quad \text{Ec-11.}$$

Donde:

TC =Tasa Crecimiento

$TPDA_i$ = Trafico Promedio Diario Actual

$TPDA_0$ = Trafico Promedio Diario Actual del Año Base

N = La diferencia de años

Se evaluó la tasa de crecimiento entre los periodos del 2002 al 2019, así como los otros periodos interanuales existentes mostrados en la tabla 7.

Como ejemplo para el periodo 2002-2004

$$TC = \left[\left(\frac{43}{26} \right)^{1/2} \right] - 1 = 29\%$$

Posteriormente, se obtuvo un promedio de las tasas de crecimiento calculadas, descartando aquellas que son mayores a 10% y las tasas negativas, las cuales se muestran en la tabla 7, dando como resultado 18%.

Tabla 7 Determinación de tasa de crecimiento con histórico de TPDA

Año	TPDA ECD 1802	TC TPDA
2002	26	
2004	43	29%
2015	303	19%
2019	391	7%
	PROMEDIO	7%

Fuente: Elaboración Propia

El Banco Central de Nicaragua, realiza publicaciones de anuarios estadísticos, en los que presentan información de los principales sectores económicos del país, generando así, que se establezca una idea del comportamiento económico. (Banco Central de Nicaragua, 2021), a su vez, detalla el crecimiento poblacional. De igual manera se calcularon las tasas de crecimiento de PIB y crecimiento poblacional, se determina el promedio, descartando todas aquellas tasas negativas y las mayores al 10%, obteniéndose como resultado una TC PIB de 4.1947% y una TC POB de 1.2620%.

Tabla 8 Registro Histórico del PIB y Crecimiento Poblacional

AÑO	PIB	POB	TC PIB	TC POB
2006	118,837.7	5,522.6		
2007	124,870.3	5,595.5	5.0764%	1.3207%
2008	129,160.5	5,668.9	3.4357%	1.3106%
2009	124,907.7	5,742.3	-3.2927%	1.2954%
2010	130,416.3	5,815.5	4.4101%	1.2750%
2011	138,654.2	5,996.6	6.3167%	3.1140%
2012	147,661.4	6,071.0	6.4961%	1.2411%
2013	154,936.8	6,134.3	4.9271%	1.0414%
2014	162,351.3	6,198.2	4.7855%	1.0414%
2015	170,131.6	6,262.7	4.7923%	1.0414%
2016	177,894.9	6,327.9	4.5631%	1.0415%
2017	186,133.6	6,393.8	4.6312%	1.0414%
2018	179,873.3	6,460.4	-3.3634%	1.0414%
2019	173,074.5	6,527.7	-3.7798%	1.0414%
2020	169,977.3	6,595.7	-1.7895%	1.0415%
2021	187,560.9	6,664.4	10.3447%	1.0414%
		PROMEDIO	4.1947%	1.2620%

Fuente: Elaboración Propia

- **Tasa de Crecimiento Vehicular**

Para la selección de la tasa de crecimiento vehicular, se realizó un promedio de las tasas que corresponde al PIB y crecimiento poblacional, ya que la tasa del TPD de la ECD 1802, no es tomada en cuenta, por ser un valor demasiado alto con respecto a la del PIB, que es el que rige a nuestro país, demostrando el cálculo a continuación:

$$TC = \frac{TC_{PIB} + TC_{POB}}{N} \quad \text{EC-12.}$$

$$TC = \frac{4.194\% + 1.2620\%}{2}$$

$$TC = 2.728\%$$

La tasa de crecimiento vehicular a implementar en el tramo en estudio, es de 2.728%.

5.1.7. Tránsito de diseño

Acorde con Montejo Fonseca (2002), el Tránsito de Diseño (TD), es una proyección que se realiza para el periodo de diseño, dicha proyección, se efectúa con una serie de datos históricos de tránsito, obteniendo así, un tráfico futuro, para ello, se debe tomar en cuenta la Ecuación 13.

$$TD = TPDA * FC * FD * fc * 365$$

Ec-13 Tomada de Cal y Mayor (2019)

Donde:

TPDA: Tráfico Promedio Diario Anual.

FC: Factor de Crecimiento.

FD: Factor Dirección.

fc: Factor Carril.

- **Periodo de diseño**

Según Coronado Iturbide (2002), el periodo de diseño, es el tiempo para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección de tránsito, y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

El periodo de diseño, se recomienda acorde al tipo de carretera, para ello, observe la Tabla 9, en la que se parecían diferentes tipos de carreteras con su periodo de diseño recomendado; para el tramo San Sebastián de Achuapa – El Aceituno, por ser una colectoras rural (seleccionado por estar en la zona rural del municipio de Achuapa, y por tener un TPDA de 315vpd, acorde a lo que especifica la SIECA (2002),), se propone un periodo de diseño de 15 años.

Tabla 9. Periodo de diseño según el tipo de carretera

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

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA 2002. Capítulo 7, pág. 3.

- **Factor de Crecimiento**

SIECA (2002), especifica que es uno de los factores involucrados en la expansión del TPDA al tráfico proyectado es el periodo de diseño, a su vez, involucra la tasa de crecimiento vehicular; para obtener el factor de crecimiento, se implementa la Ecuación 14.

$$F_c = \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right) \quad \text{Ec-14 Tomado de SIECA (2002)}$$

Donde:

FC: Factor de Crecimiento

i: Tasa de crecimiento vehicular

n: Periodo de diseño

El factor de crecimiento que se emplea, está en función a la tasa de crecimiento vehicular. (Ver Tabla 10).

Tabla 10. Factor de crecimiento

Tasa de Crecimiento	Factor de Crecimiento
2.7283%	18.2329

Fuente: Elaboración Propia

- **Factor Distribución por Dirección**

Coronado Iturbide (2002) y SIECA (2011), especifican que el factor de distribución por dirección, es el factor del total del flujo vehicular; en la mayoría de los casos el valor es de 0.50, haciendo énfasis, que la mitad de vehículos va en una dirección y la otra mitad en otra dirección, esto para una vía de dos carriles, por lo que dicho valor, se implementará en el tramo en estudio.

- **Factor Distribución por Carril**

AASHTO 93 (2001), especifica que el factor distribución por carril, corresponde al carril de diseño, el cual es el que recibe el mayor número de ESAL's. El tramo en

estudio, presenta dos carriles en la vía, por lo que cualquiera puede representar el carril de diseño, ya que ambos canalizan forzosamente el tránsito por dirección.

En la Tabla 11, se presenta el factor de distribución por carril, esto considerando las cantidades de carriles en una sola dirección, seleccionando así, el factor de distribución por carril para el tramo Achupaca – El Aceituno con un valor de 1.

Tabla 11. Factor Distribución por Carril

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

Fuente: Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimento, AASHTO 93. Pág. 58

Con los diferentes factores definidos, se calcula el Tránsito de Diseño (TD) para el carril correspondiente, aplicando la Ecuación 13, pág. 28. En la Tabla 12, se presentan los resultados obtenidos, brindando un valor de 1,490,722 vehículos para el periodo de diseño de 15 años.

Tabla 12. Tránsito de Diseño (Tramo Achupaca – El Aceituno)

Tipo de vehículo	TPDA (2023)	FC	FD	FC'	TD
Moto	377	18.2328998	0.5	1	1254469
Auto	4	18.2328998	0.5	1	13310
Jeep	6	18.2328998	0.5	1	19965
Camioneta	23	18.2328998	0.5	1	76533
Bus	6	18.2328998	0.5	1	19965
Liv C2	30	18.2328998	0.5	1	99825
C2	1	18.2328998	0.5	1	3328
C3	1	18.2328998	0.5	1	3328
Otros	0	18.2328998	0.5	1	0
Total	448				1490722

Fuente: Elaboración propia

5.1.8. Ejes equivalentes (ESAL)

Coronado Iturbide (2002) especifica:

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. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes y que para efectos de cálculo se les transforma en un número de ejes equivalentes de 80 KN o 18 Kips, por lo que se le denominará "Equivalent Simple Axial Load" o ESAL (ejes equivalentes).

- **Número Estructural asumible**

El Número Estructural (SN), se considera como un número abstracto, que tiene la finalidad de expresar la resistencia estructural de un pavimento. Para calcular el ESAL (denominado también W18, y significa la cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 Kips), se debe considerar un valor de Número Estructural (SN) en función de la importancia de la vía, por lo que se asume un valor de SN igual a 3.

- **Factor de Equivalencia (FESAL)**

El Factor de Equivalencia fue determinado por estudios de pruebas de la AASHTO, en los que sometieron muestras de pavimentos a diferentes configuraciones de ejes y cargas, con el objetivo de analizar el daño que se ocasionó a la estructura. Para definir el factor que se implementa, se debe tener en cuenta el peso del eje de cada tipo de vehículo (Observe anexos, Tabla 56 e Ilustración 11), que varía en dependencia del tipo de eje (sencillo, doble), y el valor del SN que se asume según el nivel de importancia de la vía. (Ver anexos, Tablas 57-58)

Para definir el FESAL por cada peso de los ejes, se interpolaron ciertos valores que no se definen en los estudios realizados por la AASHTO, aplicando la Ecuación 14.

$$y = \frac{(x-x_1)y_2+(x_2-x)y_1}{(x_2-x_1)} \quad \text{Ec-15 Tomada de Spiegel \& Stephens (2009)}$$

En la Tabla 13, pág. 33, se definen los factores de equivalencia para los ejes que los pesos no estaban presentes en los resultados de las pruebas que obtuvo la AASHTO, esto mediante interpolación, para lo cual, se presenta un ejemplo del desarrollo a continuación:

Se abordan los datos que corresponden al automóvil, que tiene un peso en cada eje de 2.2 kip. En los estudios de la AASHTO, se presentan pesos de los ejes a partir de 2 kip hasta 50 kip, definiendo los pesos en números pares en el rango descrito, por lo que, el FESAL para un eje es de:

$$y = \frac{(2.2 \text{ kip} - 2 \text{ kip})0.002 + (4 \text{ kip} - 2.2 \text{ kip})0.0002}{(4 \text{ kip} - 2 \text{ kip})}$$

$$y = \frac{0.0004 + 0.00036}{2} \quad y = 0.00038$$

El Factor ESAL (FESAL) de 0.00038, corresponde a uno de los dos ejes que posee un automóvil.

Tabla 13. Factor ESAL obtenido por interpolación

Xo	Yo	X (PESO)	Y (Factor de Daño)
2	0.0002	2.2	0.00038
4	0.002		
4	0.002	4.4	0.0038
6	0.011		
8	0.036	8.8	0.0576
10	0.09		
10	0.09	11	0.1395
12	0.189		
16	0.613	17.6	0.9226
18	1		
36	1.38	36.3	1.4325
38	1.73		

Fuente: Elaboración propia

- **ESAL de diseño**

Con los factores definidos para cada eje, se calcula el valor del ESAL según su clasificación vehicular, implementando la Ecuación 6.

$$ESAL (W18) = TD * FESAL \quad Ec-16 Tomada de SIECA (2002)$$

Donde:

ESAL: Equivalent Simple Axial Load (Ejes Equivalentes)

TD: Tránsito de Diseño

FESAL: Factor de Equivalencia

La implementación de la Ecuación 16, se demuestra a continuación, en un ejemplo con los datos que pertenecen a la camioneta:

El vehículo (camioneta), presenta dos ejes con pesos diferentes, el eje delantero tiene un peso de 2.2 Kip, y el eje trasero 4.4 Kip, por lo que el FESAL es diferente, presentando para el primer eje un valor de 0.00038 y para el segundo de 0.0038, y acorde con la proyección del tramo *Achuapa – El Aceituno*, presenta un tránsito de diseño de 162,355 demostrándose a continuación el resultado:

$$ESAL_1 = 162,355 * 0.00038 \quad ESAL_2 = 162,355 * 0.0038$$

$$ESAL_1 = 61.69psi \quad ESAL_2 = 616.9psi$$

$$ESAL (W18) = 61.69psi + 616.9psi$$

$$ESAL (W18) = 678.64 psi$$

El ESAL de diseño para el tipo de vehículo camioneta, es de 678.64 psi.

En la Tabla 14, se presenta el ESAL total de 162,355psi, obtenido para el tramo *Achuapa – El Aceituno*, los valores representan las repeticiones equivalentes a 18 Kips, siendo esto acumulado en un periodo de diseño de 15 años. Las

motocicletas no se tomaron en cuenta, debido a que no ejercen una carga considerable al pavimento.

Tabla14. ESAL de Diseño (Achuapa – El Aceituno)

VEHICULO	TRANSITO DE DISEÑO	PESO POR EJE (KIP)	TIPO DE EJE	FESAL	W18 (ESAL DE DISEÑO)	ESAL TOTAL POR VEHICULO
Automóvil	1,254,469	2.2	SIMPLE	0.00038	476.70	953
		2.2	SIMPLE	0.00038	476.70	
Jeep	19,965	2.2	SIMPLE	0.00038	7.59	15
		2.2	SIMPLE	0.00038	7.59	
Camionetas	76,533	2.2	SIMPLE	0.00038	29.08	320
		4.4	SIMPLE	0.0038	290.82	
Bus	19,965	11	SIMPLE	0.1395	2,785.12	49,703
		22	SIMPLE	2.35	46,917.81	
Liviano de Carga	99,825	8.8	SIMPLE	0.0576	5,749.93	97,849
		17.6	SIMPLE	0.9226	92,098.66	
C2	3,328	11	SIMPLE	0.1395	464.19	8,284
		22	SIMPLE	2.35	7,819.63	
C3	3,328	11	SIMPLE	0.1395	464.19	5,231
		36.3	DOBLE	1.4325	4,766.65	
					ESAL TOTAL	162,355

Fuente: Elaboración propia

5.2. Estudio de suelo

En este acápite se presentan los resultados del estudio de suelos realizado en el tramo La Aceituno-Achuapa, el cual se realizó sondeos manuales cada 400 metros.

5.2.1. Datos de campo

Los sondeos manuales que se realizan a lo largo del tramo en la banda izquierda, se ubican en las siguientes estaciones las cuales se muestran en la tabla 15.

Tabla 15 Referencia de sondeos manuales (Banda izquierda)

Sondeos (No)	Referencia
Sm-1	0+000
Sm-2	0+400
Sm-3	0+800
Sm-4	1+200

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Condiciones actuales del tramo

El tramo El Aceituno – Achuapa, se encuentra en condiciones de difícil acceso debido a que la capa de carga actual está dominada por limo y arcilla. En el tramo en cuestión no existen obras de drenaje, por lo que se han formado grandes charcos de lodo. La mayoría de las perforaciones en la sección son de dos capas con poca profundidad de grava y arena con limo y arcilla. Y estudios recientes han encontrado que el limo y la arcilla son pobres para usar como base. El alcalde de Achuapa, dio servicio a la vía por última vez en 2013, por lo que las condiciones no son cómodas en ciertas épocas del año. Además, los huracanes que han azotado el país en los últimos tres años, provocaron que el tramo se deteriorara, dejando gravas sueltas en algunos lugares, baches que provocan accidentes en las laderas, esto por escurrimiento superficial. (Ver ilustración 4)

Ilustración 4 Condiciones actuales del Tramo Achuapa - El Aceituno (EST 0+800)



Fuente: Elaboración Propia

5.2.3. Análisis granulométrico

En este proceso se toma como referencia lo establecido en la norma AASHTO T 27- 88. Se analizaron cada una de las muestras de suelo de los sondeos, de acuerdo a los diferentes estratos encontrados.

Se aplicó el método mecánico para tamizar, haciendo uso de la abertura de tamices presentados en Das (2015), los cuales se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16 Abertura de Tamices

Tamiz	Abertura (mm)
2"	76.2
1 ½"	38.1
1"	25.4
¾"	19.05
½"	12.7
3/8"	9.525
No 4	4.75
No 10	2
No 40	0.425
No 200	0.075

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Das (2015)

Los resultados obtenidos en la granulometría para cada uno de los sondeos manuales son los que se aprecian en las Tabla 17. (Ver, pág.37)

Tabla 17 Análisis granulométrico de la línea del tramo El Aceituno – Achuapa

Sondeo	EST	Prof.		DESCRIPCION DEL MATERIAL	GRANULOMETRIA									
		De	A		3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	4	10	40	200
1	0+000	0	15	Grava pobremente gradada Arcilla Limosa con Arena	100	100	94	79	72	53	38	30	19	10
	0+000	15	150	Grava Limosa	100	100	83	78	76	69	49	47	44	41
2	0+400	0	25	Grava pobremente gradada con Arcilla y Arena	100	100	93	73	65	45	32	23	13	8
	0+400	25	150	Arcilla Alta con Arena	100	100	100	100	100	100	100	96	91	82
3	0+800	0	15	Grava pobremente gradada Arcilla Limosa con Arena	100	100	94	79	72	53	38	30	19	10
	0+800	15	150	Arcilla baja con Arena	100	100	100	100	100	100	100	95	89	74
4	1+200	0	50	Grava Arcillosa con Arena	100	90	80	74	72	60	43	38	30	21
	1+200	50	150	Arena Arcillosa	100	100	100	100	100	100	100	83	39	18

Fuente: Estudio de suelos del tramo El Aceituno – Achuapa

5.2.4. Estados de consistencia

En los sondeos manuales analizados del tramo en estudio, se realizaron los ensayos de límite líquido, límite plástico para posteriormente determinar el índice de plasticidad, que son usados para la clasificación del suelo.

Se tomaron en consideración las normas AASHTO T89 para el límite líquido y AASHTO T90 para el índice de plasticidad. Los resultados obtenidos para cada uno de los estratos se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18 Estados de consistencia

SONDEO No.	EST Km + m	PROFUNDIDAD (m)		Límites %		
		De	A	LL	LP	IP
1	0+000	0	15	22	16	6
	0+000	15	150	67	33	34
2	0+400	0	25	31	18	13
	0+400	25	150	83	27	56
3	0+800	0	15	22	16	6
	0+800	15	150	35	23	12
4	1+200	0	50	32	21	11
	1+200	50	150	43	22	21

Fuente: Estudio de suelos del tramo El Aceituno – Achuapa (INGENICA , 2022)

5.2.5. Estratigrafía de los suelos

En el proceso de clasificación de los suelos, se aplicó el Método AASHTO, el cual es el de uso común en los proyectos de carreteras.

Los resultados obtenidos a partir del análisis de cada una de las muestras de suelo de los sondeos manuales, se muestran a continuación, detallando cada una de las características correspondientes de su estratigrafía:

El sondeo manual (Sm-1), se logró encontrar dos estratos en diferentes profundidades de las cuales se detallan sus características a continuación:

- En la profundidad de 0 – 0.15 m se clasifica el suelo como A-1-a, el cual corresponde a una grava pobremente gradada arcillo limosa con arena. Se

determinó un índice de plasticidad de 6% y el límite líquido de 22%. Este suelo es considerado de excelente a bueno para utilizar como subrasante.

- El último estrato, a la profundidad de 1.5 m, se clasifica el suelo como A-7-5, el cual corresponde a una grava limosa. Se determinó un índice de plasticidad de 34% y el límite líquido de 67%. Este suelo es considerado de regular a malo para utilizar en la subrasante.

El resultado del análisis del Sm – 2, se encontraron dos estratos en diferentes profundidades de las cuales se detallan sus características a continuación:

- En la profundidad de 0 – 0.25 m, se clasifica el suelo como A-2-6, el cual corresponde a una Grava pobremente gradada con Arcilla y Arena. Se determinó un índice de plasticidad de 13% y el límite líquido de 31%. Este suelo es considerado de excelente a bueno para utilizar en la subrasante.
- En último estrato, a la profundidad de 1.5 m, se clasifica el suelo como A-7-6, el cual se denomina arcilla con alta arena, con un índice de plasticidad de 56% y el límite líquido de 83%. Este suelo es considerado de regular a malo para utilizar en la subrasante.

En el caso del Sm – 3, se lograron encontrar dos estratos de suelos, los que se muestran sus especificaciones a continuación:

- En el estrato superior, de 0 a 0.15 m, se observa un material granular, clasificándose como un suelo A -1- a el cual es Grava pobremente gradada Arcillo Limosa con Arena. Además, presentó un límite líquido de 22 % y un índice de plasticidad de 6%.
- El estrato final, a la profundidad de 1.5 m, se clasifica el suelo como A-4 , el cual se denomina Arcilla baja con Arena, con un índice de plasticidad de 12% y el límite líquido de 35%.

El resultado obtenido en el sondeo Sm- 4, se exploraron dos estratos de suelo, los cuales se muestran a continuación:

- En el primer estrato, desde el nivel superficial hasta 0.25 m de profundidad, se encontró un material clasificándose como un suelo A-2-6 el cual es

Grava Arcillosa con Arena. Además, presenta un límite líquido de 32% y un índice de plasticidad de 11%.

- El estrato final, a la profundidad de 1.5 m, se clasifica el suelo como A-2-7, el cual se denomina Arena Arcillosa, con un índice de plasticidad de 21% y el límite líquido de 43%.

5.2.6. Resultados del estudio de suelos de los bancos de materiales

Los estudios de suelos de los bancos de materiales, fueron proporcionados por la Alcaldía Municipal de Achuapa. Se analizaron una fuente de material, los cuales se encuentran localizados a orillas del tramo en estudio.

Los suelos predominantes en los bancos de materiales son del tipo A-2-4, correspondiente a Grava limosa. Las cuales pueden ser usadas en la base y sub base de la estructura de pavimento.

Los bancos de materiales pertenecen a Sr. Juan Alberto Rodríguez y Adolfo Benavidez, las especificaciones se explican en los siguientes acápite:

- **Banco de Materiales: Sr. Juan Alberto Rodríguez**

Los predios del Sr. Juan Alberto Rodríguez, se encuentran ubicados en la Estación 0+540 del tramo de carretera La aceituna – Achuapa el cual se encuentra conformado por materiales granulares, clasificado de acuerdo a AASHTO como un suelo A-2-4, correspondiente a Grava limosa. El valor de su CBR es de 81.5 %, su densidad seca máxima es de 2030 kg/m³ y su humedad óptima es de 11.7.

Ilustración 5 Banco de materiales Sr. Juan Alberto Rodríguez (EST 0+540)



Fuente: Elaboración propia

- **Banco de Materiales: Sr. Adolfo Benavidez**

Los predios del Sr. Adolfo Benavidez, se encuentran ubicados en la Estación 1+000 del tramo de carretera La aceituna – Achuapa el cual se encuentra conformado por materiales granulares, clasificado de acuerdo a AASHTO como un suelo A-2-4, correspondiente a Grava bien gradada con limos y arena. El valor de su CBR es de 82%, su densidad seca máxima es de 2184 kg/m³ y su humedad óptima es de 9.5 %.

Ilustración 6 Banco de materiales Sr. Adolfo Benavidez (EST 1+000)



Fuente: Elaboración propia

De forma resumida los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 19 Estudio de suelo banco de materiales

PVSS	PVSC	Densidad Máxima	Humedad óptima	C.B.R	% Que Pasa por el Tamiz										L.L.	I.P.	AASHTO
					95%	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40			
		Banco de Préstamo N°1 "Sr. Juan Alberto Rodríguez"															
1,560	1,734	2030	11.7	81.5	96	73	49	37	28	22	13	6	3	2	24	6	A-2-4 (0)
		Banco de Préstamo N°2 "Sr. Adolfo Benavidez"															
1,588	1,802	2184	9.5	82	84	63	46	39	33	29	20	13	6	3	24	6	A-2-4 (0)
<p>Observaciones</p> <p>PVSS = Peso Volumétrico Seco Suelto PVSC = Peso Volumétrico Seco Compacto L.L. = Límite Líquido I.P. = Índice de Plasticidad</p>																	

Fuente: Estudio de suelos del tramo El Aceituno – Achuapa (INGENICA , 2022)

5.2.7. Análisis de los bancos de materiales

Los bancos de materiales propuestos para usar en la base y sub base de la estructura de pavimento, deberán cumplir con los requerimientos de las normas NIC 2019, los cuales se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20 Especificaciones de los materiales para base y sub base granular

Límite líquido	AASTHO T 89	25 máx.
	AASTHO T 90	
Índice de plasticidad	Sub base	6 máx.
	Base	0 máx.
CBR 95% Proctor modificado (AASTHO T 180) y 4 días de saturación.	ASSTHO T 190	
	Subbase	30% min
	Base	80% min

Fuente: NIC 2019 Sección 1003.8 (a y b, pág. 809)

El resultado obtenido a partir de los estudios de suelo realizado en los bancos de materiales, se presenta a continuación en la tabla 7 en la cual se comparan dichos resultados con los requisitos de la norma NIC 2019.

Tabla 21 Evaluación Banco de materiales Sr. Juan Alberto Rodríguez

Ensayo		Norma	Requisito	Valor Obtenido	Condición
Límite Líquido		AASHTO T 89	25 máx.	24%	Cumple
Índice de Plasticidad		AASHTO T 90	6 máx.	6%	Cumple
CBR	Base	AASHTO T 190	80 % mín.	81.50%	Cumple
	Sub base		30 % mín.		Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22 Evaluación banco de material Sr. Adolfo Benavidez

ENSAYO		Norma	Requisito	Valor Obtenido	Condición
Límite Líquido		AASHTO T 89	25 máx.	24%	Cumple
Índice de Plasticidad		AASHTO T 90	6 máx.	6%	Cumple
CBR	Base	AASHTO T 190	80 % mín.	82%	Cumple
	Subbase		30 % mín.		Cumple

Fuente: Elaboración propia.

La información de la tabla anterior demuestra que todos los parámetros cumplen con los requisitos de la norma NIC 2019, lo que permite utilizar este banco de materiales tanto para la base como para la sub base de la estructura del pavimento.

5.2.8. Elección de los bancos de materiales

En base a las propiedades de los materiales de los bancos de estudiados para el tramo, cumplen con los requisitos establecidos de CBR al 95% Proctor modificado están por encima de lo permitido tanto en la base como en la subbase, de acuerdo a la norma NIC 2019.

El banco de materiales No 2 perteneciente al Sr. Adolfo Benavidez, se ha seleccionado para usarlo como base granular, el cual posee un CBR de 82 %.

Para la capa sub base se debe usar el banco de materiales No 1 perteneciente al Sr. Juan Alberto Rodríguez, posee un CBR 81.5%.

5.2.9. CBR de diseño

Los valores de CBR de la línea, son los que se muestran a continuación:

Tabla 23 Resultados del CBR de la línea

Sondeo	Estacion	Profundidad	Suelo	CBR al 95%
1	0+000	0-0.15	A-1-a	45
		0.15-1.5	A-2-7	19
2	0+400	0-0.25	A-2-6	38
		0.25-1.5	A-7-6	2.4
3	0+800	0-0.15	A-1-a	45
		0.15-1.5	A-4	16
4	1+200	0-0.25	A-2-6	38
		0.25-1.5	A-2-7	19

Fuente: Estudio de suelos del tramo El Aceituno – Achuapa (INGENICA , 2022)

Los valores de CBR para subrasante como mínimo deben ser del 15% acorde a lo que se establece en la tabla 11, que es lo recomendado por la NIC 2019.

Tabla 24 Especificaciones de pendiente y sub base

Ensayo	Norma	Terraplén	Subrasante
		Valor requerido	Valor requerido
Límite líquido	ASSTHO T89	40 max	30 max
Índice de plasticidad	AASSTHO T90	25 max	10 max
CBR al 95% Proctor modificado	AASSTHO T190	5% min	15% min

Fuente: NIC 2019

La Metodología para la determinación del CBR de Diseño consiste en:

- 1) Identificar los Valores utilizar en el diseño del CBR, los cuales son todos los valores que se encuentran debajo de la línea de la Subrasante.
- 2) Ordenar los Valores de Menor a Mayor, se determina la frecuencia de cada uno de ellos y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.
- 3) Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR con el percentil

que corresponda, dependiendo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

- **Identificación de la subrasante**

El espesor de la carpeta de rodamiento actual, correspondiente a terracería, es aproximadamente de 0.30 m en la mayoría de los estacionamientos, por lo que la subrasante se estudia a la profundidad antes mencionada.

El valor de CBR de la subrasante es un parámetro importante, a partir de él se determinarán otros parámetros de diseño de la estructura de pavimento como el Módulo de Resiliencia (MR).

El valor del percentil para la determinación del CBR de diseño de la subrasante, se logra obtener a partir de la Tabla 12

Tabla 25 Percentil de diseño para subrasante

Nivel de Tránsito	Valor de percentil para diseño de subrasante
< de 10000 ESAL	60
Entre 10000 y 1000000 ESAL	75
> de 1000000 ESAL	87.5

Fuente: Instituto de Asfalto, (MS-1) 1991

Los valores de CBR se han acumulado, para la determinación del valor de CBR de diseño de la subrasante de acuerdo al tipo de suelo existente en el tramo actualmente, el cual se muestra en la Tabla 13, pág. 31.

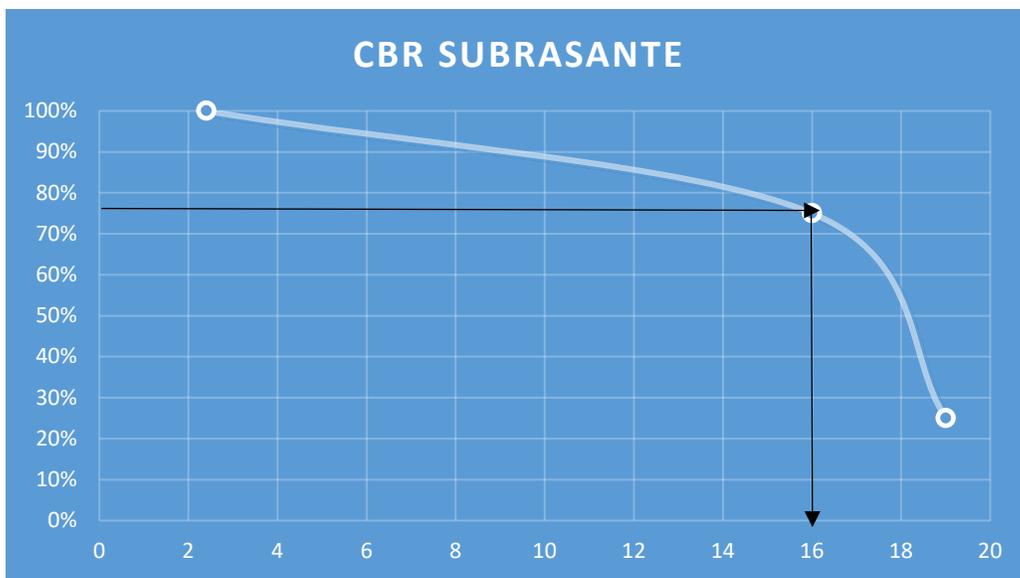
En base a la Tabla 25 y sabiendo que el ESAL de diseño es de 162,355 psi (Ver Tabla 14, pág. 34), el cual se toma en consideración el valor del percentil 75% del porcentaje de los valores mayores o iguales y el CBR del tramo actual, interceptando en la curva del Gráfico 9, pág. 53.

Tabla 26 Determinación de CBR subrasante

Clasificación	CBR	Frecuencia	Cantidades mayores o iguales	%
A-7-6	2.4	1	4	100%
A-4	16	1	3	75%
A-2-7	19	2	1	25%
Total		4		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4 Determinación de CBR de subrasante



Fuente: Elaboración propia

5.3. Diseño de estructura de pavimento

En el desarrollo de este acápite, se muestran los aspectos referentes al diseño de pavimento articulado del tramo Achuapa – El Aceituno, el cual se ha realizado tomando como referencia lo establecido en la Norma SIECA 2002, aplicando el método de diseño AASHTO – 93.

5.3.1. Variables de diseño

En esta sección se detallan cada uno de los parámetros de diseño de la estructura de pavimento articulado.

- **Periodo de diseño**

Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente. (SIECA, 2002)

Los periodos de diseño recomendados son los que se muestran en la Tabla 27, pág. 49. En base al tipo de carretera del tramo en estudio, correspondiente a una colectora rural, se selecciona un valor de periodo de diseño de 15 años.

- **ESAL**

De acuerdo al estudio de tránsito desarrollado en el acápite 5.1, el valor del ESAL es de 165,355 psi. (Ver Tabla 14, pág. 34)

- **Confiabilidad**

Los diferentes valores de confiabilidad se especifican en la Tabla 27, acorde a los tipos de carreteras.

El valor de confiabilidad R seleccionado, de acuerdo al tipo de carretera $R = 80\%$, se busca el valor de desviación normal estándar (ZR) en dependencia de la confiabilidad, el valor escogido se muestra en la Tabla 28.

Tabla 17 Niveles de Confiabilidad

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Rutas interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 – 99.9
Arterias Principales	80 - 99	75- 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50-80	50- 80

Fuente: Diseño de Pavimentos, AASHTO 93, 2001. Pág. 137

Tabla 28 Desviación Estándar (Zr)

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA (2002). Capítulo 7. Pág. 55

- **Desviación Estándar**

El valor de la desviación estándar **So** se determina a partir de los valores recomendados por la SIECA (2002), para el caso en estudio, se tomará un valor de 0.40 ya que se encuentra en el intervalo de los valores requeridos para pavimentos flexibles. Los valores sugeridos se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29 Desviación Estándar

Condición	So
Pavimentos flexibles	0.4 – 0.5
Construcción nueva	0.35 – 0.4
Sobre – capas	0.5

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

- **Serviciabilidad**

Los valores de Serviciosabilidad se muestran en la Tabla 34.

Tabla 30 Valores de Serviciosabilidad

Serviciabilidad inicial Po	Pavimentos rígidos	Pavimentos flexibles.
	4.5	4.2
Serviciabilidad final Pt	Caminos Principales	Caminos de tránsito menor
	2.5	2

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA (2002), Capítulo 7, pág. 4

Seleccionando como valor de Po= 4.2 y Pt= 2 entonces la pérdida por Serviciosabilidad es:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

- **Módulo de resiliencia de la subrasante**

En el acápite 5.2, se determinó el CBR promedio de la línea principal del tramo de carretera, de acuerdo al Gráfico 4 (pág. 47), resultando un valor de 16 %.

El módulo de resiliencia para la subrasante se calcula usando la Ecuación 17, porque es la que más se aproxima, dando como resultado lo siguiente:

$$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241 \quad \text{Ec-17.}$$

$$Mr = 4326 * \ln(16) + 241$$

$$Mr = 12235.21881 \text{ Psi}$$

- **Coefficiente de drenaje**

La AASHTO 93, recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de diseño, los cuales se aprecian en la Tabla 31, pág. 52.

La calidad del drenaje es expresada en la fórmula del número estructural, dado que se asume una buena capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento, el coeficiente de drenaje a utilizar en este diseño es $m_i = 1.00$ (Ver Tabla 32, pág. 52)

El coeficiente de drenaje, es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento en su vida útil, así también en el diseño del mismo (Ver Tabla 33, pág. 52). (AASHTO 93, 2001)

Tabla 31: Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad

Capacidad del drenaje para remover la humedad		
Calidad del drenaje	Aguas removidas en:	
	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	De 10 a 15 horas
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, Capítulo 7. Pág. 148.

Tabla 32 Coeficiente de Drenaje

Calidad del drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de saturación.			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.6
Muy Pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001, Capítulo 7. Pág. 148.

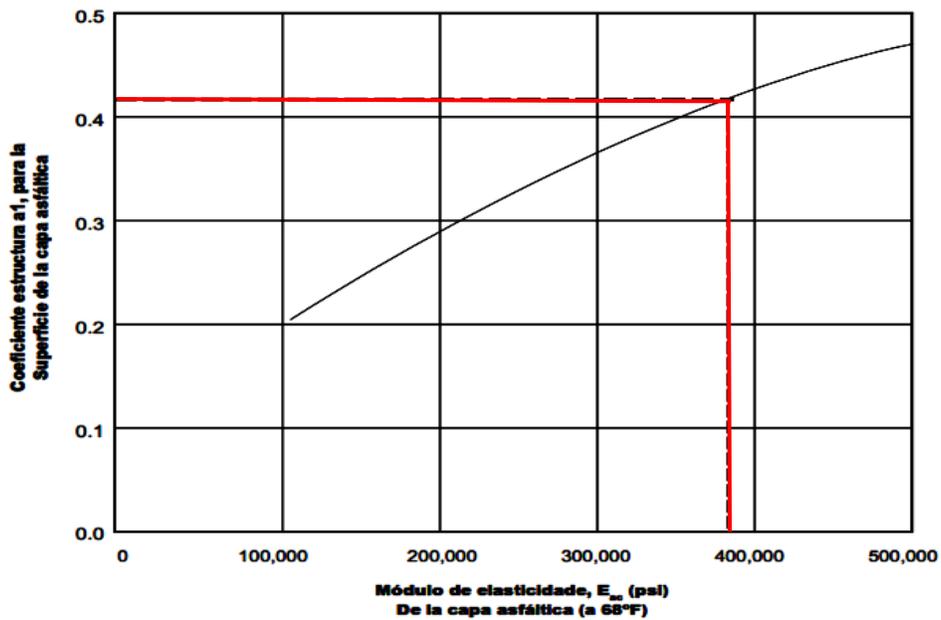
- **Coeficientes estructurales de capa**

El cálculo de los coeficientes estructurales de capa, son necesarios para la determinación de los espesores de la estructura de pavimento, para poder determinar dichos coeficientes es necesario el uso de gráficos de la norma SIECA para el diseño de pavimentos.

El valor de a_1 corresponde al coeficiente de la estructura de pavimento, a_2 corresponde el valor de la base y a_3 al valor de la subbase.

Posteriormente, se hace uso del nomograma que se muestra en la Ilustración 6, pág. 54, dando como resultado un $a_1=0.42$.

Ilustración 7 Coeficientes estructurales de capas asfálticas



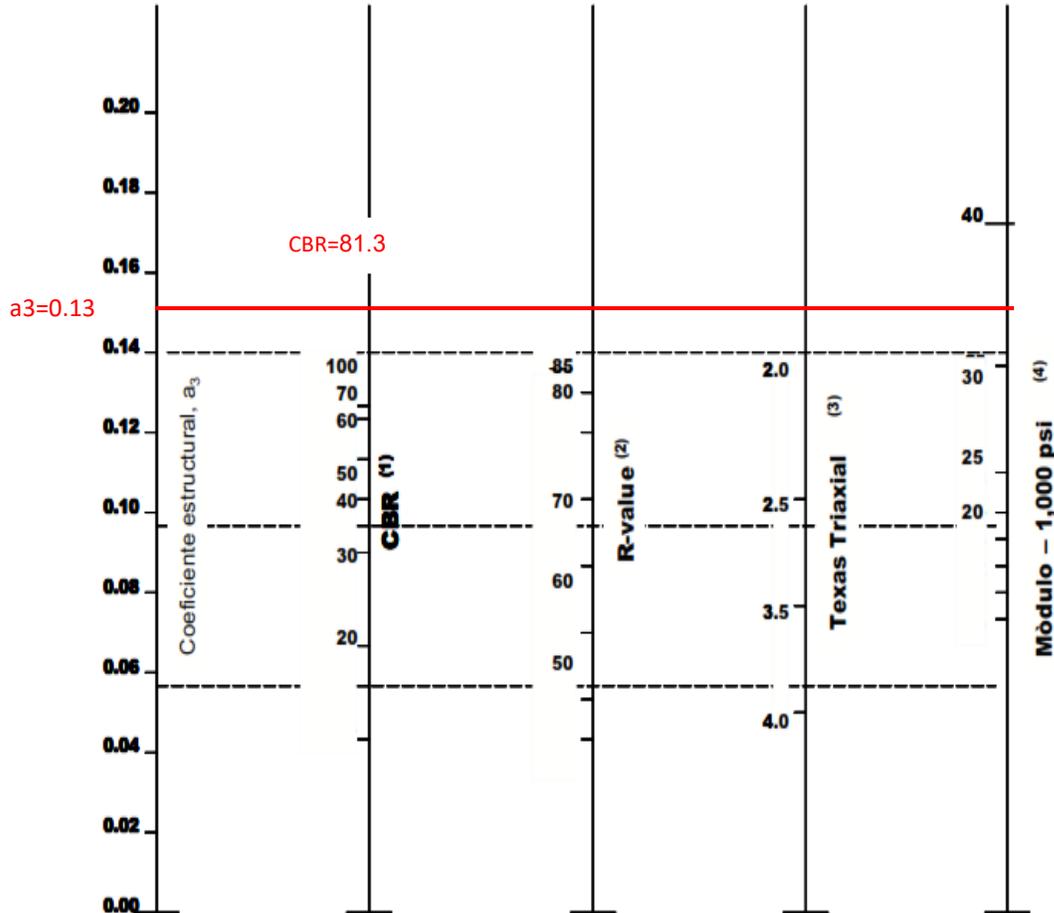
Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1,993

Fuente: *Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93*

Para determinar el valor del coeficiente de capa base a_2 , se interpola el CBR del banco de materiales No 2, correspondiente a 81.2%, generando un valor de $a_2=0.13$, tal como se muestra en Ilustración 8.

Ilustración 8 Coeficientes estructurales de capa base granular

Figura 7-5
Variación en el coeficiente estructural de la capa de base

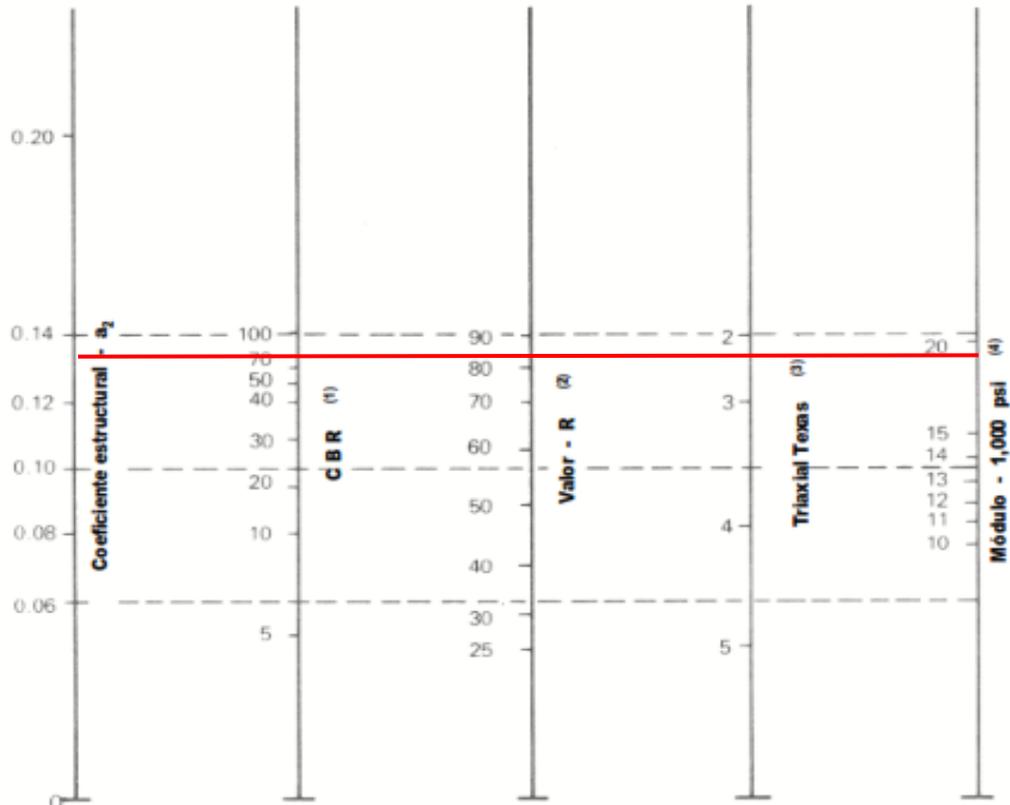


Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93

El valor de a_3 , es el coeficiente de la capa subbase, se interpola igualmente con el CBR del banco de materiales No 1, con un valor de 81.3%, generándose un valor de 0.13 según se observa en la Ilustración 8.

Ilustración 9 Coeficiente de capa de subbase granular

Figura 7-7
Variación en el coeficiente estructural de la capa de subbase



- (1) Escala derivada de las correlaciones de Illinois
 (2) Escala derivada de las correlaciones obtenidas del Instituto del Asfalto, California, New México y Wyoming
 (3) Escala derivada de las correlaciones de Texas
 (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Elaboración propia

- **Módulo de resiliencia de la base y subbase**

El módulo de resiliencia a utilizar en la base y en la subbase de la estructura de pavimento, se determina a través del uso de los nomogramas mostrados en la Ilustración 8, pág. 53, e Ilustración 9 pág.54.

Con respecto a dicha interpolación el resultado del módulo de resiliencia para la base es de 28.5 Ksi y para la subbase corresponde a 19 Ksi.

- **Número estructural**

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18, se debe de asumir un valor inicial de SN. Asumido por la Ecuación 17:

$$SN = a_1D_1+a_2D_2m_2+a_3D_3m_3. \text{ EC-18. Tomado (AASHTO 93, 2001)}$$

Donde:

$a_{1,2,3}$: Coeficientes estructurales de capa.

$D_{1,2,3}$: Espesores de capa.

$m_{1,2,3}$: Coeficientes de drenaje de capas.

Para la determinación del número estructural de la subrasante SN_3 , se toman los datos mostrados en la Tabla 34 y mediante la interpolación en el nomograma mostrado en la Ilustración 10, pág. 56:

Tabla 34 Datos para determinación de SN_3

Variables de diseño	
Periodo de diseño	15
ESAL	162,355
Confiabilidad R	80
Desviación estándar	0.4
Serviciabilidad inicial	4.2
Serviciabilidad final	2
Serviciabilidad	2.2
CBR Subrasante	16
Módulo de Resiliencia Subrasante	12235.219
Módulo de Resiliencia de la Subbase	19

Fuente: Elaboración Propia

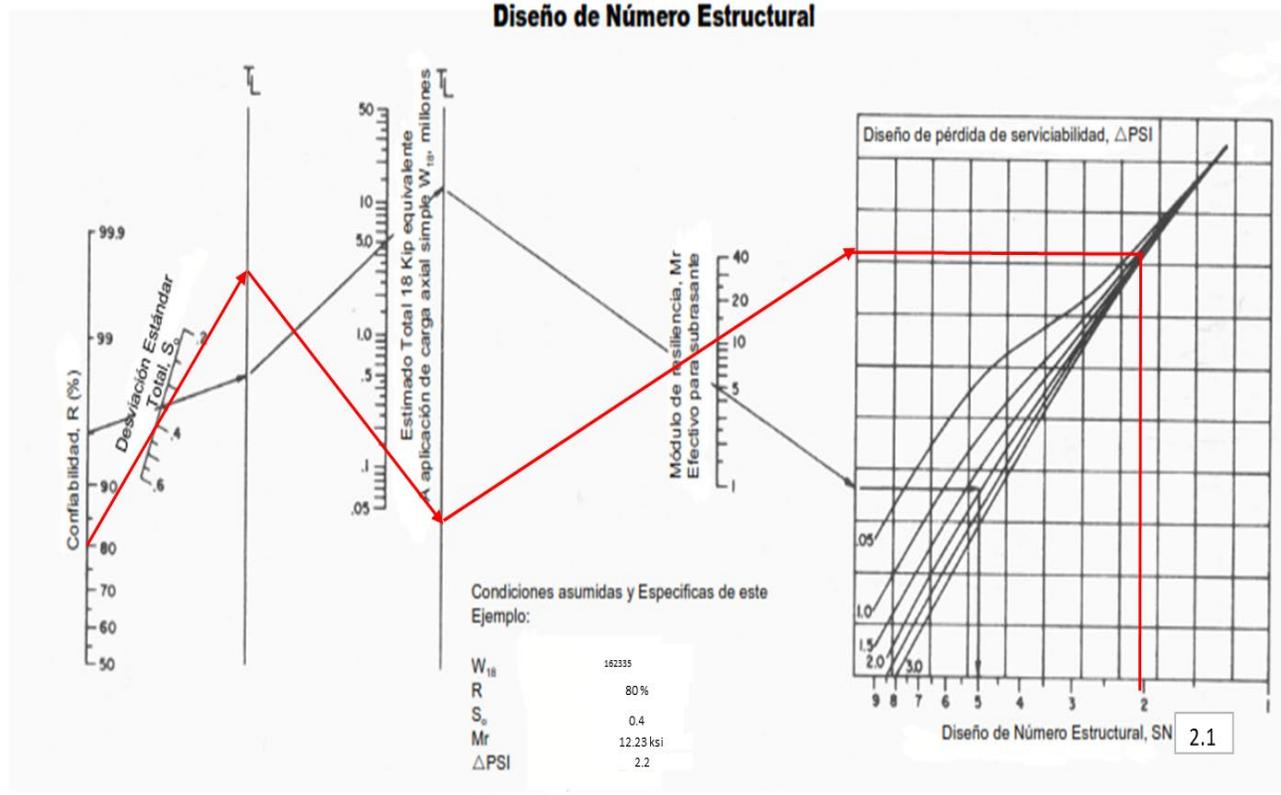
Para la determinación del número estructural de la subrasante SN2, se toman los datos mostrados en la Tabla 35 y mediante la interpolación en el nomograma mostrado en la Ilustración 10, pág. 60.

Tabla 35 Datos para determinación de SN2

Variables de diseño	
Periodo de diseño	15
ESAL	162,355
Confiabilidad R	80
Desviación estándar	0.4
Serviciabilidad inicial	4.2
Serviciabilidad final	2
Serviciabilidad	2.2
CBR Subrasante	16
Módulo de Resiliencia Subrasante	12235.219
Módulo de Resiliencia de la Base	28.5

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 10. Determinación de SN₃ (Sub Base)



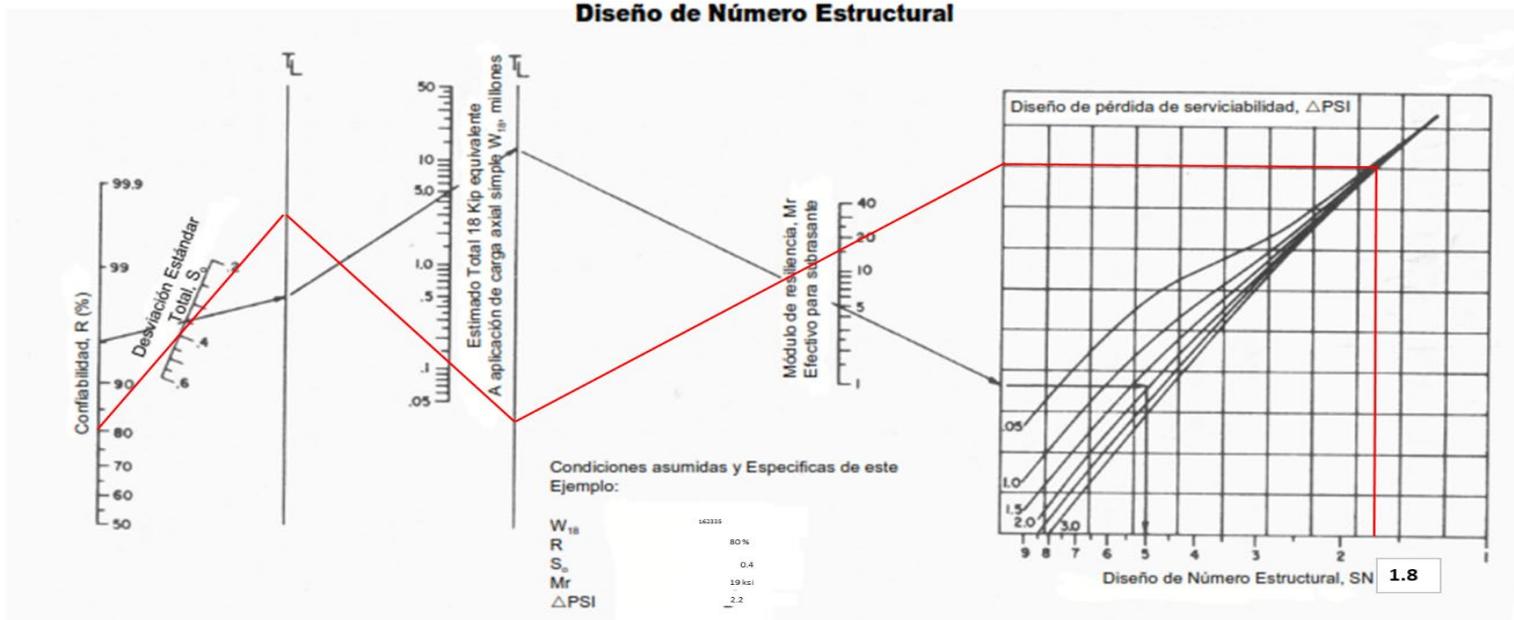
Solución:

SN = 2.1

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11. Determinación de SN₂ (Base)



Solución:

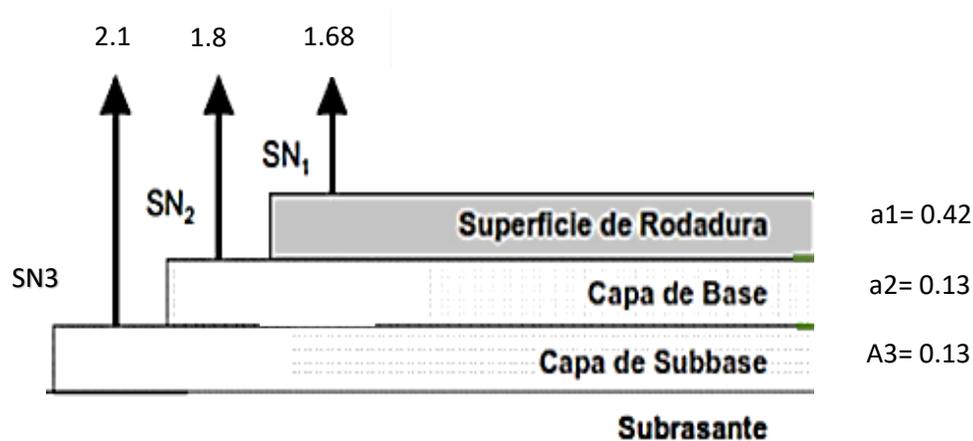
SN = **1.8**

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

Fuente: Elaboración propia

La Ilustración 11, se muestra un consolidado de los valores correspondientes para los números estructurales para cada una de las capas de la estructura de pavimento.

Ilustración 11. Números Estructurales por capa



Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, SIECA (2002)

5.3.2. Cálculo de espesores

Contando con las variables de diseño ya determinadas en las secciones anteriores, se procede al cálculo de los espesores de la estructura de pavimento, tomando en consideración cada una de las fórmulas propuestas en la guía de pavimentos SIECA 2002.

- **Espesor de capa de rodamiento**

Tomando en consideración el valor de $SN_1^* = 1.68$, el coeficiente de capa $a_1 = 0.42$ y aplicando la Ecuación 19, se define un valor de $D_1 = 4$ pulg, el proceso se describe a continuación:

$$SN_1^* = a_1 * D_1 \quad \text{Ec-19. Tomada de SIECA (2002)}$$

$$SN_1 = (0.42) * (4)$$

$$SN_1^* = 1.68.$$

- **Espesor de base**

El valor del número estructural $SN_2 = 1.8$ determinado con el uso del ábaco y comprobado con el uso del software. El valor de $a_2 = 0.135$ y $m_2 = 1$, se procede a la aplicación de la Ecuación 19, demostrando el resultado a continuación:

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2} \quad \text{Ec-20. Tomada de SIECA (2002)}$$

$$D_2 = \frac{1.8 - 1.68}{(0.135) * (1)}$$

$$D_2 = 1 \text{ pulg.}$$

“No cumple con espesor mínimo, usar 4 pulg. (Ver Tabla 36)”

Tabla 36 Espesores mínimos de carpeta asfáltica y base granular

Numero de ESAL's	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	1	4
50,000 - 150,000	2	4
150,000 – 500,000	2.6	4
500,000 - 2,000,000	3	6
2,000,000 - 7,000,000	3.6	6
Más de 7,000,000	4	6

Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimento, AASHTO 93, 2001. Capítulo 8. Pág. 175

- **Espesor de subbase**

Para determinar el espesor de la subbase, se toma en consideración los valores del SN_1^* y SN_2^* calculados anteriormente, así como el valor del coeficiente de capa $a_3=0.13$ y el coeficiente de drenaje $m_3 = 1$.

El cálculo se determina aplicando la siguiente Ecuación 21:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_3} \quad \text{Ec. 21 Tomada de SIECA (2002)}$$

$$D_3 = \frac{2.1 - (1.8 + 0.52)}{(0.13) * (1)}$$

$$D_3 = -1 \text{ pulg "No se necesita subbase".}$$

Los criterios de la AASHTO 93, indican que, si el resultado del espesor para la subbase posee un valor negativo o es cero, no necesita dicha capa.

La verificación de que el proceso esté correcto se encuentra realizando la sumatoria de los SN corregidos, comparando con el SN requerido, tal como se muestra a continuación:

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN_{req}$$

$$1.68 + 0.52 \geq 2.1$$

$$2.2 \geq 2.1 \text{ Cumple}$$

Después de haber realizado los cálculos correspondientes al diseño de espesores de la estructura de pavimento del tramo La Aceituna- Achuapa, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 37.

Tabla 37 Consolidado de espesores de pavimento

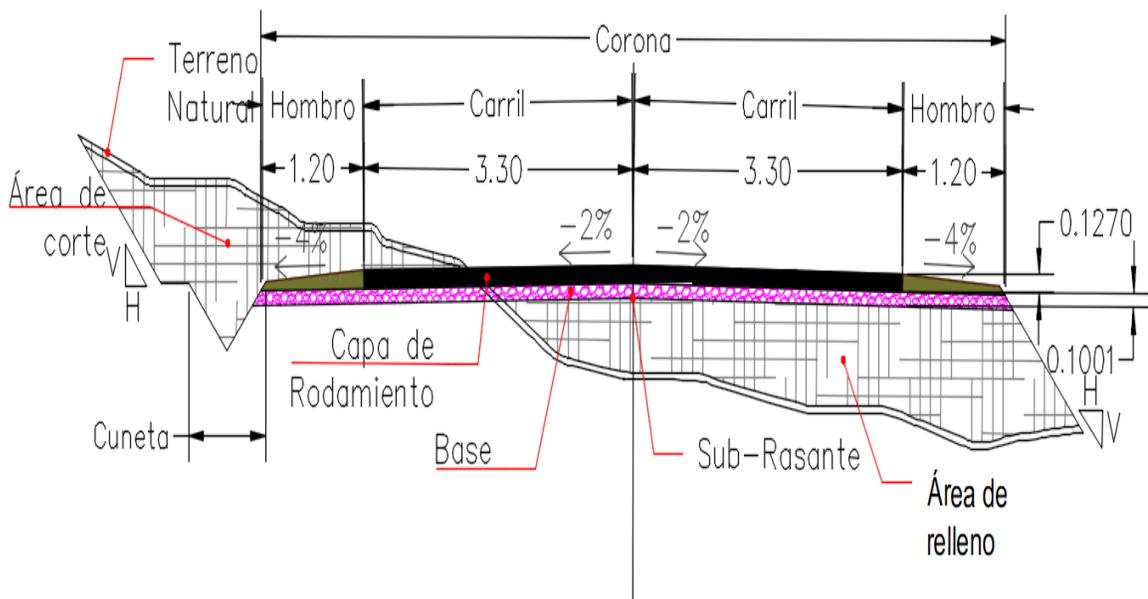
Capa	Espesor	
	Pulgadas	Centímetros
Adoquín	4	10.16
Colchón de arena	1	2.54
Base Granular	4	10.16
Espesor Total	9	22.86

Fuente: Propia

5.3.3. Características de la sección transversal

Tomando como referencia la Tabla 38 pág.65, las características de la sección transversal para el tramo en estudio que es clasificado como una colectora rural por poseer un TPDA entre 500 – 3000 vpd, por lo tanto, la sección transversal poseerá dos carriles de circulación, con un ancho de carril de 3.3 metros cada uno, poseerá un bombeo normal del 2%. Además, tendrá hombros externos de 1.2 metros, con un ancho de bordillo de 15 cm, a continuación, se muestra en la ilustración 10 de la pág.66.

Ilustración 10 Sección Típica



Fuente: Propia

Tabla 38 Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales

No	Descripción	Autopistas regionales	T		Colectoras	
			Suburban	Rurales	Suburbana	Rurales
1	TPDA	>20,000	20,000-	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500
2	VHD	>2,000	2,000-1.000	1.500-450	300-50	450-75
3	FPH	0.92	0.9	0.95 – 0.91	0.92	0.85
4	Vehículo de Diseño	WB – 20	WB – 20	WB – 20	WB – 15	WB – 15
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M
6	Velocidad de Diseño (kph)	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50
7	No, de Carriles	4 a 8	2 a	2 a 4	2	2
8	Ancho de carril (m)	3.6	3.	3.3 – 3-6	3.3 – 3.6	3.3
9	Ancho de hombros / espaldones (m)	Int 1 – 1-5	Int 1 – 1-5	Int. 0.5-1.0	Ext. 1.2– 1.5	Ext. 1.2– 1.5
		Ext. 1.8-2.5	Ext. 1.8-2.5	Ext. 1.2-1.8		
10	Tipo de superficie de rodamiento	Pav.	Pa	Pav.	Pav.	Pav – Grava
11	Dist. De Visibilidad de parada (m)	110- 245	110-170	85- 140	65- 110	65- 110
12	Dist.de Visibilidad adelantamiento (m)	480- 670	480 – 600	410-540	350 - 480	350 – 480
13	Radio mín. curva, peralte 6% (m)	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195
14	Máximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' -5°53'	12°44' -5°53'
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10
16	Sobreelevación, porcentaje	10	1	10	10	10
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5 – 3	1.5 – 3	1.5 - 3	1.5 – 3
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-may	2-may	2-may	2-may	2-may
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS 20-44+25%	HS 20-44+25%	HS20-44	HS20-44
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30
22	Ancho de Mediana, metros	4-dic	4-	2-jun	-	-
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-	C-D	C-D	C-D
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control	Sin Control	Sin Control	Sin Control
25	Clasificación Funcional	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras. SIECA (2004)

VI. CONCLUSIONES

- En base, al estudio de tránsito realizado en la Estación 0 + 200 del tramo Achuapa – El Aceituno, se logra consolidar que el TPDA es de 449 vehículos por día, se determinó la tasa de crecimiento vehicular a implementar, la cual es de 2.7%, resultando del promedio de las tasas que concierne a los registros históricos del PIB y crecimiento poblacional, ya que la tasa de la ECD 352, no es considerada, por ser un valor muy alto en comparación a la del PIB, ya que este rige el país. El ESAL de diseño obtenido es de 162,355 Psi.
- Respecto al estudio de suelos, se realizaron 4 sondeos manuales, se obtuvo que en la mayoría predominaron las gravas arcillosas, gravas limosas, suelos limosos y arcillosos, los cuales poseen una caracterización de regulares a malos para el uso en subrasante, sin embargo, en base a los ensayos de CBR se obtuvo que cumplen con el mínimo establecido por la norma NIC – 2019. Los bancos de materiales, poseen suelo granular, clasificado de acuerdo al método AASHTO como A – 2 – 4. El banco No 1, ubicado en la Est. 0 + 540, posee un CBR del 81.5 %. En cambio, el banco No 2, ubicado 460 metros en la Est. 1 +000, posee un CBR de 82%.
- La estructura de pavimento articulada diseñada, se realizó tomando cada uno de los requisitos y procesos establecidos en el Manual Centroamericano de diseño de pavimentos SIECA 2002, tomando como referencia el Método AASHTO 93. El cálculo de espesores de capa de la estructura, dio como resultado el espesor de la base, según cálculos resultó de 1 pulg, pero la norma establece que el mínimo es de 4 pulgadas, por lo tanto, se considera dicho valor. En el caso de la subbase, el cálculo da un valor de -1 pulg, por lo que no es necesario utilizar subbase ya que el resultado es negativo.

VII. RECOMENDACIONES

1. El material cortado, se utilizará para la conformación del terraplén y realizar los correspondientes rellenos de acuerdo al diseño de la rasante.
2. Durante el proceso de construcción se debe controlar cualquier material indeseable presentado que no fuera detectado en el estudio geotécnico.
3. El material de la capa base, debe cumplir con las especificaciones mínimas de compactación y a su vez se debe controlar que el material esté libre de otro material contaminante ya que puede afectar la resistencia de la estructura de pavimento.
4. Realizar prueba de comprobación de la compactación a la capa base después de su procesamiento, garantizando obtener el 95 % Proctor.
5. Para los espesores de la base y estructura de pavimento se debe implementar el valor definido en el diseño.
6. En el proceso de curado, no se debe permitir tráfico vehicular sobre la capa de material granular estabilizada, la capa se debe mantener húmeda, el agua debe ser aplicada a presión produciendo un rocío fino y uniforme.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO 93. (2001). *Diseño de Pavimentos Método AASHTO 1993*. Washington: Instituto Nacional de Carreteras de los Estados Unidos.
- Cal y Mayor Reyes Spíndola, R., & Cárdenas Grisales, J. (2018). *Ingeniería de tránsito, Fundamentos y aplicaciones*. (Novena ed.). México: Alfaomega Grupo Editor.
- Coronado Inturbide, J., & SIECA. (2002). *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala: SIECA.
- Crespo Villalaz, C. (2004). *Mécanica de Suelo y Cimentaciones* . México, DF.: Limosa S.A.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica Cuarta Edición* . México, DF.: Cengage Learning .
- Hé Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (Quinta Edición ed.). México: McGRAW - HILL/ INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- INFRAESTRUCTURA, M. D. (2018). *ANUARIO DE AFOROS DE TRAFICO*. MANAGUA.
- INGENICA . (2022). *Estudio de Suelos Tramo El Aceituno - Achuapa* . Managua .
- Inturbide, J. C. (2002). *MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS*. Guatemala: SIECA.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Mecánica de Suelos Tomo I*. México, DF: Limusa S.A.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura 2018, M. (2019). *Anuario de Aforos de Tráfico*. Managua, Nicaragua. Recuperado el 16 de Octubre de 2022
- Montejo Fonseca , A. (2022). *Ingeniería de Pavimento para carreteras* . Bogotá, Colombia : Agora Ediciones .

Rafael cal y Mayor Reyes Spindola James Cardenas Grisales . (1994). *Ingenieria de Transito 7a edicion* . Mexico.D.F: Mexico .

Salinas, P. J. (1993). *Metodología de la Investigación Científica*. Venezuela.

SIECA . (2002). *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. . Guatemala: SIECA.

VI. ANEXOS

Tabla 38 Cuento de tránsito vehicular diurno semanal

Ubicación: Est.0+200					Dia: 09-03-2023					
Tramo:La Aceituna - Achuapa					Cuento # 2					
HORA		Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
			Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
06:00	06:15	2				1				
06:15	6:30	2					1			
06:30	6:45	4								
06:45	07:00	3								
07:00	07:15	5					1			
07:15	07:30	3			1		1			
07:30	7:45	4								
07:45	8:00	6								
08:00	08:15	5								
08:15	08:30	2			1		2			
08:30	8:45	3	1					1		
08:45	9:00	1					1			
09:00	09:15	8								
09:15	09:30	3			1	1				
09:30	9:45	2		1			1			
09:45	10:00	1								
10:00	10:15	6					1			
10:15	10:30	5								
10:30	10:45	3			1					
10:45	11:00	6	1		1		2			
11:00	11:15	2								
11:15	11:30	8								

11:30	11:45	5					2			
11:45	12:00	8		1	1		1			
12:00	12:15	11								
12:15	12:30	8			1					
12:30	12:45	3			1					
12:45	01:00	4					1			
01:00	1:15	3			1	1				
01:15	1:30	5		1						
01:30	01:45	10			2		1			
01:45	02:00	8	1							
02:00	2:15	9			1		2			
02:15	2:30	12								
02:30	02:45	14								
02:45	03:00	5			1					
03:00	03:15	9			2				1	
03:15	03:30	5				1	1			
03:30	3:45	10								
03:45	04:00	8		2		1				
04:00	4:15	6					1			
04:15	4:30	3			1		2			
04:30	4:45	8								
04:45	5:00	4			1		2			
05:00	5:15	3								
05:15	5:30	9								
05:30	5:45	5					1			
05:45	6:00	2								
TOTAL		261	3	5	17	5	24	1	1	

Elaboración Propia

Tabla 39 Conteo de tránsito vehicular diurno semanal

Ubicación: Est.0+200					Dia: 09-03-2023					
Tramo: La Aceituna - Achuapa					Conteo # 2					
HORA		Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
			Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
06:00	06:15	2				1				
06:15	6:30	2					1			
06:30	6:45	4								
06:45	07:00	3								
07:00	07:15	5					1			
07:15	07:30	3			1		1			
07:30	7:45	4								
07:45	8:00	6								
08:00	08:15	5								
08:15	08:30	2			1		2			
08:30	8:45	3	1					1		
08:45	9:00	1					1			
09:00	09:15	8								
09:15	09:30	3			1	1				
09:30	9:45	2		1			1			
09:45	10:00	1								
10:00	10:15	6					1			
10:15	10:30	5								
10:30	10:45	3			1					
10:45	11:00	6	1		1		2			
11:00	11:15	2								
11:15	11:30	8								
11:30	11:45	5					2			

11:45	12:00	8		1	1		1			
12:00	12:15	11								
12:15	12:30	8			1					
12:30	12:45	3			1					
12:45	01:00	4					1			
01:00	1:15	3			1	1				
01:15	1:30	5		1						
01:30	01:45	10			2		1			
01:45	02:00	8	1							
02:00	2:15	9			1		2			
02:15	2:30	12								
02:30	02:45	14								
02:45	03:00	5			1					
03:00	03:15	9			2				1	
03:15	03:30	5				1	1			
03:30	3:45	10								
03:45	04:00	8		2		1				
04:00	4:15	6					1			
04:15	4:30	3			1		2			
04:30	4:45	8								
04:45	5:00	4			1		2			
05:00	5:15	3								
05:15	5:30	9								
05:30	5:45	5					1			
05:45	6:00	2								
TOTAL		261	3	5	17	5	24	1	1	

Elaboración Propia

Tabla 40 Conteo de tránsito vehicular diurno semanal

Ubicación: Est.0+200		Día: 10-03-2023								
Tramo: La Aceituna - Achuapa		Conteo # 3								
HORA		Motos	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros	Pesados de Carga			Veh. Pesados
			Auto	Jeep	Cam	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	Veh. Agríc
06:00	06:15	1				1				
06:15	6:30	3								
06:30	6:45	8			1					
06:45	07:00	1								
07:00	07:15	3	1		1		1			
07:15	07:30	1					1			
07:30	7:45	8								
07:45	8:00	4			1		1			
08:00	08:15	8					2			
08:15	08:30	3								
08:30	8:45	9			1					
08:45	9:00	2					2			
09:00	09:15	2								
09:15	09:30	3			1	1				
09:30	9:45	4								
09:45	10:00	8					1			
10:00	10:15	5								
10:15	10:30	3	1		2				1	
10:30	10:45	4					1			
10:45	11:00	6								
11:00	11:15	4			1		1			
11:15	11:30	6								

11:30	11:45	8								
11:45	12:00	4			1		2			
12:00	12:15	11								
12:15	12:30	6			2		1			
12:30	12:45	3					1			
12:45	01:00	1								
01:00	1:15	3				1	2			
01:15	1:30	6								
01:30	01:45	9								
01:45	02:00	11					1			
02:00	2:15	6			1					
02:15	2:30	9								
02:30	02:45	18			1		1			
02:45	03:00	6			1					
03:00	03:15	10					1			
03:15	03:30	6		1		1	2			
03:30	3:45	9					1			
03:45	04:00	8	1			1				
04:00	4:15	9					2			
04:15	4:30	5								
04:30	4:45	8			1					
04:45	5:00	2					1			
05:00	5:15	5								
05:15	5:30	9		1			1			
05:30	5:45	6								
05:45	6:00	4								
TOTAL		278	3	2	15	5	26	0	1	

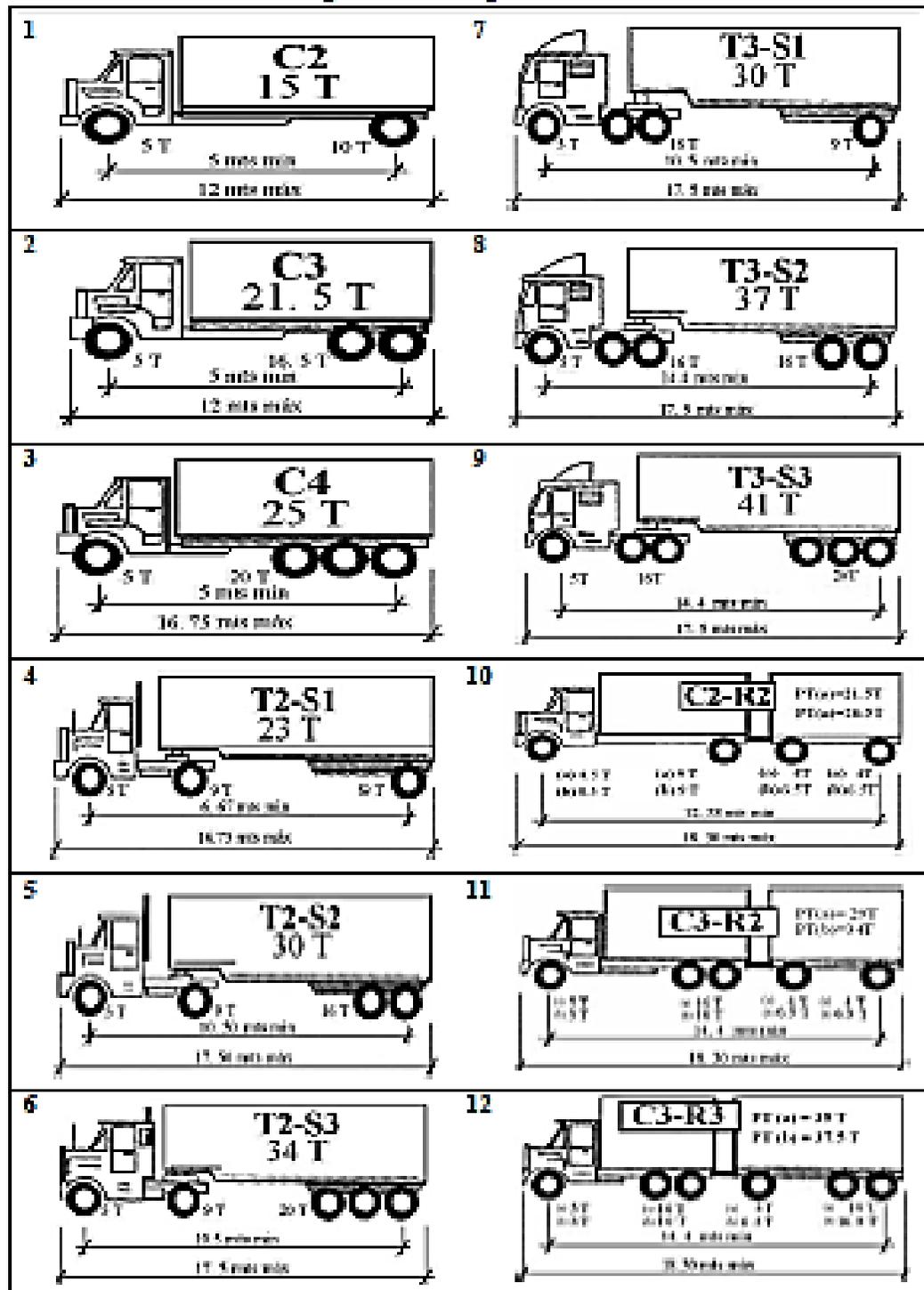
Elaboración Propia

Tabla 41 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt=2.

Carga p/eje (kips) ⁶	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.	108.	97.	86.	81.	82.

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, Capítulo 3, Pág.6.

Ilustración 11 Diagrama de Cargas.



Fuente: MTI,2008.

Tabla 43. Factor de Equivalencia Eje Simple

Carga / eje		SN pulg (mm)					
(kip)	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.009	0.012	0.011	0.01	0.009	0.009
8	35.6	0.03	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	44.5	0.075	0.085	0.09	0.085	0.079	0.079
12	53.4	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	62.3	0.325	0.338	0.354	0.35	0.338	0.331
16	71.2	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	80	1	1	1	1	1	1
20	89	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.4	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.5	10.4	10	9.2	8.6	8.7	9.2
32	142.4	14	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	151.3	18.5	17.9	16.3	15	14.9	15.6
36	160	24.2	23.3	21.2	19.3	19	19.9
38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24	25.1
40	178	39.6	38	34.3	30.9	30	31.2
42	186.9	49.7	47.7	43	38.6	37.2	38.5
44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	204.7	76.1	73	65.6	58.3	55.7	57
48	213.6	92.9	89.1	80	70.9	67.3	68.6
50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: *Guía de Diseño de Pavimento, AASHTO 93. Capítulo 3. Pág. 41*

Tabla 44. Factor de Equivalencia Eje Doble

Carga / eje		SN pulg (mm)					
(kip)	(kN)	1	2	3	4	5	6
2	8.9	0	0	0	0	0	0
4	17.8	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	26.7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	35.6	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	44.5	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	53.4	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	62.3	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	71.2	0.041	0.048	0.05	0.046	0.042	0.04
18	80	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	89	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	97.9	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	106.8	0.227	0.244	0.26	0.252	0.239	0.231
26	115.7	0.322	0.34	0.36	0.353	0.338	0.329
28	124.6	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	133.5	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	142.4	0.81	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.7
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.2	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.1	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83

54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267	14.3	13.8	12.7	11.9	12	12.6
62	275.9	16.6	16	14.7	13.7	13.8	14.5
64	284.7	19.3	18.6	17	15.8	15.8	16.6
66	293.6	22.2	21.4	19.6	18	18	18.9
68	302.5	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	311.4	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	320.3	33.3	32	29.1	26.5	26.2	27.4
74	329.2	37.8	36.4	33	30	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347	48.4	46.5	42	38	37	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43

Fuente: *Guía de Diseño de Pavimento, AASHTO 93. Capítulo 3. Pág.42*