


DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 2.10KM DEL TRAMO ENTRADA SUR, BO APANTE - EL SOCORRO, MUNICIPIO DE MATAGALPA, POR EL METODO DE AASHTO 93

ARTICULATED PAVEMENT STRUCTURE DESIGN 2.10KM OF THE SOUTH ENTRANCE SECTION, BO APANTE - EL SOCORRO, MUNICIPALITY OF MATAGALPA, BY THE AASHTO METHOD 93



Christopher Antonio Vargas Lumbi
Ramiro Molinares Márquez
ingeniero Civil, UCC, Nicaragua
(prof.christopher.vargas@ucc.edu.ni)
ingeniero Civil, UCC, Nicaragua.
(ramiro.molinares@ucc.edu.ni)

(Fernando José Monge) Licenciado
Universidad de Ciencias Comerciales, Nicaragua
(fernando.monge@ucc.edu.ni)

RESUMEN

Esta investigación cuyo propósito es diseñar la estructura de pavimento del tramo de camino que va desde entrada Norte Bo apante hacia Comunidad El Socorro tiene como objetivos específicos el realizar un estudio de tránsito para determinar el flujo vehicular y establecer un periodo de diseño de 20 años al sitio para identificar o calcular el ESALS de diseño y poder apreciar las cargas equivalentes en ese periodo determinado, así mismo se realizó el análisis de las propiedades físico-mecánicas del suelo mediante un estudio de suelos previamente facilitado por la alcaldía de Matagalpa donde cada muestra o estrato se validó tomando como referencia la tabla de clasificación de suelos granulares de AASHTO, así mismo se estudió sus propiedades mecánicas y CBR de cada estrato para determinar el CBR de diseño de la subrasante del terreno y posteriormente se procedió a realizar el cálculo de los espesores de capa de la estructura de pavimento que en este caso su composición es adoquín(4”), Arena(2”), base(4) y subrasante ya que por sus resultados no amerita agregarle una capa subbase, lo último se consideró tomando en cuenta los parámetros y criterios de diseño de la norma AASHTO 93.

Palabras clave: Diseñar, Tránsito ESALS, AASHTO, CBR, Espesores.

ABSTRACT:

This research, whose purpose is to design the pavement structure of the section of road that goes from the Norte Bo Apante entrance to the El

Socorro Community, has the specific objectives of carrying out a traffic study to determine the vehicular flow and establishing a design period of 20 years. site to identify or calculate the design ESALS and be able to appreciate the equivalent loads in that determined period, likewise, the analysis of the physical-mechanical properties of the soil was carried out through a soil study previously facilitated by the Matagalpa mayor's office where each sample or The stratum was validated taking as reference the AASHTO granular soil classification table. Likewise, its mechanical properties and CBR of each stratum were studied to determine the design CBR of the ground subgrade and subsequently the thickness calculations were carried out. . layer of the pavement structure, which in this case its composition is cobblestone (4”), Sand (2”), base (4) and subgrade since its results do not warrant adding a subbase layer, the latter seemed to be taking into account It takes into account the parameters and design criteria of the AASHTO 93 standard

Keywords: Design, Transit ESALS, AASHTO, CBR, Thicknesses

INTRODUCCIÓN

El tramo de estudio Bo Apante hacia comunidad El Socorro, se encuentra a unos kilómetros de una de las principales ciudades del norte de Nicaragua; aproximadamente a 1km de Matagalpa.

Es una red que tiene una importancia significativa,

dado que es una vía que comunica una serie de comunidades importantes entre ella El Socorro, La Estrella, Samulali entre otras y fincas altamente productivas, las cuales se dedican principalmente a la agricultura, ganadería, apicultura entre otras, por lo que es necesario una vía en buen estado en todo tiempo para mejorar la circulación de vehículos tanto para beneficio de las comunidades como para transportar la producción de sus cultivos.

La necesidad de contar con soluciones de pavimentos económicos es una constante en países en vías de desarrollo. Entre los demandantes más importantes de pavimentos económicos están los organismos estatales los cuales cuentan con diversas estrategias y programas de subsidio para la pavimentación de calles y pasajes en áreas de escasos recursos. Las construcciones de pavimentos económicos tienen como objetivo principal resolver un problema social y técnico.

Conociendo la problemática actual en la carencia y calidad de caminos pavimentados, con este trabajo monográfico se pretende disminuir la problemática antes mencionada mediante el diseño geométrico y de pavimento articulado los cuales garantizarán la funcionalidad y durabilidad, para tales fines se tomarán en cuenta el método AASHTO 93, así mismo el diseño deberá cumplir con las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes. NORMAS NIC-2019.

Se trabajará metodología cuantitativa, y se presentarán instrumentos de investigación con un análisis de datos que brindará resultados que finalizan con conclusiones brindadas en los acápite finales.

Marco de Referencia

Según (Fonseca, 1993) en la Guía de diseño de pavimentos de carreteras se deben de considerar criterios que establecen los manuales de diseño como lo es la metodología AASHTO 93, Este método es de los más utilizados ya que integra variables de campo que otros métodos no consideran, dicha guía es utilizada a nivel latinoamericano y es ajustado según la zona y solicitudes.

También se logra apreciar los principales parámetros que complementan al diseño de estructura de pavimento tales como; Estudio de Tránsito para el diseño de estructuras de pavimento, Estudios geotécnicos, los esfuerzos y deformaciones en pavimentos flexibles, Modelos de distribución de esfuerzos y deflexiones para pavimentos rígidos y adoquines, Diseño de pavimentos flexibles y semirrígidos para carreteras. Diseño de espesores de pavimentos rígidos para calles y carreteras. Diseño de espesores de pavimentos de adoquines de concreto. Diseño estructural de pavimentos flexibles para aeropuertos. Diseño estructural de pavimentos rígidos para aeropuertos. Pavimentos industriales de concreto.

En el marco conceptual se logra apreciar las siguientes palabras técnicas claves para el diseño de pavimento:

- Según (Fonseca, 1993) Pavimento: Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados.

- Según (Fonseca, 1993) Base granular: La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

- Sub base granular: Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia; puede ser construido con materiales de alta calidad, sin embargo, es más apropiada distribuir las capas mas calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior en la parte interior.

- Por otra parte, según (Ministerio de Transporte de Infraestructura MTI, 2012) Estudio de Transito: El estudio de tránsito constituye un insumo fundamental para el desarrollo general del proyecto, el cual comprende cuatro etapas principales: recolección y análisis de la información, modelación situación actual y con proyecto, pronósticos del tránsito y evaluación de alternativas.

- Según (AASHTO , 93) El Estudio Geotécnico consiste en una evaluación técnica que inspecciona el suelo de un emplazamiento

propuesto, teniendo en cuenta el tipo de edificación que se va a construir. Su objetivo es establecer y restringir los requisitos de construcción en dicho terreno, determinando cómo puede utilizarse.

En la norma de diseño (AASHTO , 93) Guía técnica de diseño de pavimentos, así como en (SIECA, 2002), (Fonseca, 1993) y manuales locales (Ministerio de Transporte de Infraestructura MTI, 2012), se establecen los diferentes parámetros y criterios que se deben cumplir para el dimensionamiento de dicha estructura de pavimento; todas estas consideraciones se deben ejecutar para garantizar el alcance de los estándares de calidad y durabilidad del periodo de diseño de las carreteras.

METODOLOGÍA

El área en estudio de este diseño es Bo Apante hacia comunidad El Socorro, zona altamente productiva y de acceso principal hacia demás comunidades y haciendas que son de gran relevancia en la economía local del municipio de Matagalpa, En dicho proyecto serán beneficiados directa e indirectamente alrededor de 700 familias de la zona y alrededores, según datos extraído (INIDE, 2008)

En cuanto al tiempo de estudio es de corte transversal descriptivo por las condiciones y parámetros que se van a considerar. Esta investigación según la fuente de investigación

es de tipo documental al obtener información de libros, tesis, documentos varios etc.

La población estudiada es de 198 que fue el resultado del análisis y procesamiento del aforo vehicular realizado in situ haciendo uso del formato oficial de aforo vehicular del MTI (Ministerio de Transporte e Infraestructura) para determinar el TPDA (Transporte Promedio Diario Anual) correspondiente al tramo de carretera Bo Apante hacia comunidad El socorro y comunidades aledañas.

Por el tamaño de la población de estudio la muestra estará conformada por 131 equivalentes al TPDA o volumen vehicular del sitio para una población finita.

Para dicho diseño, se realizarán estudio de tránsito, suelos y pavimento, para la obtención de datos utilizaremos formatos de aforo vehiculares facilitados por (Ministerio de Transporte e Infraestructura, 2020), así como cuadros bibliográficos suministrados por laboratorios de suelos y entrevistas para el diseño de pavimento con el objetivo de conocer la afluencia vehicular que circula por el tramo en estudio.

El análisis de datos se realizará utilizando las diferentes variantes, entre ellos; el Método AASHTO 93 para el dimensionamiento de espesores de la estructura de pavimento, Anuarios estadísticos de MTI y BCN, Manuales y especificaciones de diseño, así mismo para el procesamiento de información se usará software

de diseño WinPAS 12, SketchUp 2023 y Microsoft Excel 2019.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El propósito de los estudios de tráfico es el de obtener a través de métodos sistemáticos de recolección de datos, relativos a los tres elementos fundamentales del tráfico (conductor y peatón), vehículo y vía, aunque hoy en día se debe tomar en consideración el entorno ambiental y su interrelación.

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

Volumen y Clasificación

Clasificación según su funcionabilidad.

Troncal Principal: Sirven como corredor para viajes a larga distancia como tráfico inter-departamental o Inter-regional. Tienen un volumen de tráfico de más de 1000 vehículos por día, y la velocidad de operación es de 100 Kph. (Hudiel, 2012)

Troncal Secundaria: Une centros urbanos con poblaciones entre los 10,000 y 50,000 habitantes. El volumen de tráfico es de 500 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 a 60 kph. (Ministerio de Transporte de Infraestructura MTI, 2012)

Colectora Principal:

Una centros urbanos con 4,000 a 10,000 habitantes. Su volumen de tráfico es de 250 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 a 60 kph. (Manual para el diseño geométrico de carreteras SIECA 2011)

Colectora Secundaria: Una principalmente zonas con poblaciones inferiores a los 400 habitantes con un tipo de camino superior. Su volumen de tráfico es de 50 a 80 vehículos por día y su velocidad de operación es de 30 a 50 kph. (Ministerio de Transporte de Infraestructura MTI, 2012)

Caminos Vecinales: Conectan fincas y poblados con las carreteras de las categorías anteriores. Esta clasificación es de tipo administrativo y no tiene relación con las normas y estándares de diseño de ingeniería, los cuales están relacionados al volumen de tránsito, uso del suelo y a la topografía del terreno.

Tiene acceso a zonas poblacionales inferiores a los 300 habitantes. Su volumen de tráfico es menor de 50 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 kph. (Ministerio de Transporte de Infraestructura MTI, 2012)

Recopilación de datos

La recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por el analista para desarrollar los sistemas de información y análisis.

Para realizar el aforo, se utilizó el Formato

elaborado por los sustentantes del documento mostrado en Anexo 1.

Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.

La diversidad de vehículos que circulan sobre un pavimento durante su periodo de diseño trae como consecuencia 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. (Ver Anexo 2 -3).

Transito Promedio Diario Anual

De la información recogida de los conteos, se obtuvo el volumen de tráfico en el tramo de estudio por día y tipo de vehículo.

En el anexo 4, se muestran los conteos de tránsito diarios, composición vehicular; así como el promedio del período de evaluación en consolidado para ambos sentidos del tramo en estudio.

De Acuerdo con el Anuario de Tráfico 2020-2021, para los subtramos ECD-302. Matagalpa– El Arenal, está en dependencia de la estación de mayor cobertura 1802 NIC-18A San Marcos – Masatepe.

Por lo antes expuesto, se realizó el estudio del crecimiento histórico de esta estación y se usaron los factores de ajuste correspondientes a esta estación en la determinación del Tránsito

Promedio Diario Anual del tramo en estudio.

Dado que el aforo vehicular para el tramo en estudio fue realizado en el mes de agosto durante una semana y 12 horas diurnas se dispuso a expandir el tránsito promedio diario haciendo uso de los factores de ajuste de la estación de mayor cobertura EMC N°.1802 (San Marcos - Masatepe).

El tránsito promedio diario anual (TPDA) fue calculado mediante los factores de ajuste; factor día puesto que el aforo fue realizado durante 12 horas y se necesita pasarlo a 24 horas y el factor expansión para pasar tráfico promedio diario anual (TPDA). (Ver Anexo 5, Factores de ajuste estación 1802)

El cálculo para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) correspondiente al tramo de estudio resulta de 198 vehículos por día. (Ver anexo 5)

Tasas de crecimiento

La tasa de crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de estas se realiza a partir de series históricas de tráfico, en base a estudios anteriores del tramo u otras vías de naturaleza similar o que están cercanas a la vía en estudio.

La tasa de crecimiento interanual de TPDA se calculó usando la ecuación 1:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{1/n} \right] \text{ Ec.1.}$$

Donde:

TC: Tasa de crecimiento. n: Año actual. n- 1: Año anterior

En los anexos 6 y 7 nos muestra la evolución del TPDA para la estación de mayor cobertura (San Marcos-Masatepe EMC 1802A) la cual posee una tasa de crecimiento de 5.07% correspondiente a los años 2008-2020, así mismo de la evolución del TPDA de la estación de corta duración (Matagalpa- El Arenal ECD302) la cual posee una tasa de crecimiento de 6.74% correspondiente al periodo de 1996-2020 respectivamente.

Consolidado de las tasas de crecimiento

A continuación, se realizó en consolidado de las tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB, POB)

Tabla 1. Consolidado de las tasas de crecimiento calculadas (TPDA, PIB, POB)

| TPDA ECD 302A | PIB | POB |
|---|----------|----------|
| TC= 3.3% | TC=3.07% | TC=1.02% |
| Alta | Alta | Muy bajo |
| PROMEDIO | | |
| TASA DE CRECIMIENTO TC= 2.46% ACEPTABLE | | |

Fuente: Elaboracion propia.

Se obtuvieron tres tasas de crecimiento sin embargo ninguna de las tres se ajusta para la proyección del tránsito en el tramo de estudio por que la tasa de crecimiento de TPDA ECD 302 es alta con 3.3%, la tasa de crecimiento de PIB es alta con 3.07% y la tasa de crecimiento de POB es de 1.02% que resulta muy baja, por lo que se decidió realizar un promedio más acorde, considerando los datos históricos del TPDA ECD 302, PIB y

POB, obteniéndose una tasa de crecimiento de 2.46%.

Selección de la tasa de crecimiento

La tasa seleccionada es de 2.46% se sustenta en base al crecimiento económico del PIB de los últimos 13 años, la cual resulta aceptable con relación al registro histórico de la estación de corta duración (ECD 302)

Tráfico de diseño

Para convertir el volumen de tráfico obtenido de los conteos se utilizó un tránsito de Diseño (TD) que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos.

Número Estructural Asumido (SN)

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18 (cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 mil libras), se debe de asumir un valor inicial de SN. Para este diseño seleccionamos el valor SN=5.

Este se obtiene conociendo El Tránsito de Diseño (TD) y los factores de equivalencia (FESAL). Se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$T_D = TPDA \times F_C \times F_D \times f_c \times 365 \quad \text{Ec.2}$$

En base a los datos anteriormente definidos se realizó la determinación de los Ejes equivalente (ESAL), para cada eje y tipo de vehículos aplicando la siguiente:

$$\text{ESAL o W18} = TD \times \text{FESAL} \quad \text{Ec.3.}$$

En base a los datos anteriormente definidos con apoyo del software Excel se procedió a la determinación del Tránsito de Diseño (TD), tal como se muestra en anexos 8.

Una vez conocido el tránsito de Diseño, se procede a realizar el cálculo ESAL'S del Carril de Diseño

Conocido los valores de los factores de Equivalencia (FESAL), se procede a aplicar la Ecuación 3 para el cálculo de ESAL'S.

Obteniendo un valor ESAL's de 80,008.00 equivalente = 8.00E+04, Ver anexo 9

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también "eje estándar", el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 lbs.) y representará el carril de diseño.

Estudio de Suelos

En este estudio se presentan los resultados de las investigaciones efectuadas a partir de los sondeos manuales. Este trabajo se realizó con el propósito de obtener las principales características del subsuelo del tramo Salida Norte Bo Apante hacia comunidad El Socorro, donde se requiere realizar el diseño de la estructura de pavimento. Además, estudiar los bancos de materiales que pueden cubrir las necesidades del proyecto.

Ensayos de Suelos en Línea.

Según los estudios de suelos se tomaron muestras representativas alternadas a uno y otro lado de la vía, a una distancia de 300 metros. Con una profundidad de hasta 1.50 metros, dicho procedimiento se inició en la estación 0+000 hasta la estación 1+800.

Se efectuaron 7 sondeos manuales, en estos sondeos se tomaron 18 muestras inalteradas representativas de cada estrato encontrado, marcando las profundidades respectivas.

Resultados de Ensayes a Muestras de Sondeos de Línea.

A continuación, se muestra el tipo de suelo que predomina en cada uno de los tramos en estudio, según los resultados de clasificación obtenidos en los sondeos manuales realizados para cada caso. Ver anexo 10.

Se encontraron suelos superficiales con un promedio de 20 cm y hasta el final de los sondeos de 1.50 m de profundidad, existen principalmente suelos gravo areno-limoso con clasificación HRB de A-2-4 (0), con CBR de 12% al 95% Proctor, como también existen suelos tipo A-2-6 (0), A-2-7 (6), A-1-a(0) y A-4(1). La mayoría con coloración café.

Resultados de Ensayes a Muestras de Fuentes de Materiales.

En base a los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorios suministrados por la

Alcaldía de Matagalpa, se analizó un (1) Banco de Préstamo, para así poder conocer la función que puede desempeñar este, al ser usado como material base. Ver anexo 10

Banco de materiales propuesto para la capa Base.

De acuerdo con los resultados de laboratorio obtenidos se considera utilizar como fuente de materiales para capa de base el Banco (EL Cerrito Apante).

En cuanto a las propiedades plásticas de los materiales muestreados, tenemos que no presenta Limite Liquido (AASHTO T-89), ni expone el Índice de Plasticidad (AASHTO T-90).

El Banco de Materiales está conformado por suelos (A-2-4 (0)) con 54% de grava 30% de arena y 16% de fino, índice de grupo 0. Según el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, este material se caracteriza por ser bueno para ser utilizado como material de base en estructuras de pavimento

Determinación del CBR de Diseño.

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio): Ensayo de Relación de Soporte de California, mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, subbase y base de pavimentos.

Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad, y esta normado por la ASTM-D1883 y por la AASHTO T-193.

Para la aplicación de este ensayo las muestras

se sometieron a saturación por un periodo de 96 horas de anticipación.

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.

La Subrasante es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Se puede apreciar en los perfiles estratigráficos que este tramo cuenta con una capa de rodadura de un espesor mínimo 10 cm, el cual corresponde de acuerdo a la clasificación de suelos AASHTO como A-2-6 (0), como también existen suelos tipo A-2-4 (0), A-1-b (o), A-7-6(2) y A-4(6).

El método más común para calcular el CBR de diseño es el propuesto por el instituto de Asfalto, el cual recomienda tomar un valor total que el 60%, el 75% o el 87.5% de los valores individuales obtenidos que sea iguales o mayor que él, de acuerdo con el tránsito que se espera circule por el pavimento.

Tomando en cuenta que el ESAL's es de 80,008.00 por tanto para nuestro diseño utilizaremos un percentil de 75%, tal y como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño

| | |
|------------------------------------|------|
| < de 10,000 ESAL's | 60 |
| Entre 10,000 y 1,000,000 de ESAL's | 75 |
| > de 1,000,000 ESAL's | 87.5 |

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimento, pág.7, cap. 8

Con los valores CBR y porcentajes de cada uno de los valores se dibuja un gráfico donde se determina el CBR de diseño para sub-rasante.

De acuerdo al tránsito que se espera que circule en la vía, determinado en el estudio de tránsito de este proyecto, y sabiendo que éste será de 80,004.00; se eligió el valor percentil para el diseño de sub-rasante según lo muestra la Tabla xx que es de 75% de los valores mayores o iguales

El resultado del CBR de diseño para la subrasante fue de 22.1%. Se asume que este porcentaje que establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados en los sondeos de línea.

Diseño de estructura de pavimento

El método de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993, es el más usado y cuenta con técnicas de diseño para estructuras de pavimentos rígidos, semi-rígidos, flexibles y articulados. Se ha elegido el método AASHTO 93, porque a diferencia de otros métodos introduce el concepto de Serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario. Seguidamente se utilizaron los nomogramas de la AASHTO.

Carga de Ejes Simples Equivalentes

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también “eje estándar”, el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 libras) y se presentará en el carril de diseño. Se considera que el “eje estándar” tiene un factor de daño $F=1$.

Al realizar el estudio de tráfico, se clasifican todos los vehículos livianos y pesados según su peso por eje, encontrando así los volúmenes de tránsito, luego dichos volúmenes se proyectan a un período de diseño en concordancia a una tasa de crecimiento que se determina según las

condiciones económicas y sociales de la zona, el proceso anterior nos permite determinar el tránsito de diseño (TD), posteriormente se afecta este tránsito de diseño por un factor de equivalencia de carga, la sumatoria de todos los procesos anteriores para cada vehículo clasificado se denomina ESAL de diseño. En el tramo en estudio el ESAL de diseño es 80,008.00.

Confiabilidad.

La confiabilidad se define como la probabilidad de que el sistema de pavimento durante todo el período de diseño se comporte de manera satisfactoria bajo las condiciones de carga. (SIECA, 2002)

Desviación Estándar

La desviación estándar aplicada en este modelo se identifica como la variación en la predicción del comportamiento de los niveles de servicio del tránsito teniendo en cuenta los errores en la predicción de el mismo. Para la estimación de la desviación estándar, la AASHTO ha dispuesto ciertos valores que fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el Road Test y en base a predicciones futuras del tránsito.

Serviciabilidad

La Serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. Para su determinación se realizan estudios de calidad en dependencia del tipo de carpeta de rodamiento a evaluar.

Coefficiente de drenaje

El drenaje del agua en los pavimentos es un aspecto importante que considerar en el diseño de las carreteras. De lo contrario el exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas podrían anticipar los daños a la estructura del pavimento.

Cálculo del CBR de diseño

La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193. El CBR de diseño de este tramo es de 22.1%.

Módulo de Resiliencia (MR)

La base para la caracterización de los materiales de la sub-rasante en este método es el Módulo Resiliente, el cual es una medida de la propiedad elástica de los suelos y se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición.

Se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR, la guía de diseño de la AASHTO establece las siguientes correlaciones para encontrar el Módulo Resiliente de la subrasante.

Coefficientes 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. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales SN. Estos están representados con la siguiente simbología:

a_1 : Para la carpeta de rodamiento (Adoquín).

a_2 : Para la base granular (CBR 83 %)

Coefficientes Estructural a_1

El coeficiente estructural de capa de un asfalto denso graduado basado en su módulo elástico (EEC) según la guía de la AASHTO-93, para el diseño de estructuras de pavimento se recomienda utilizar valores, no mayores de 450,000.00 psi para el módulo de elasticidad. Los adoquines tienen un comportamiento similar al de un concreto asfáltico, se utiliza para este tipo de carpeta (Adoquín), un coeficiente a_1 de 0.45 valor tomado del Manual centroamericano para diseño de pavimentos, capítulo 7, sección; Diseño de espesores con adoquín, Método AASHTO, pág. 107.

Coefficientes Estructural a_2

La determinación del coeficiente estructural a_2 se realizó en base a la aplicación del nomograma para base granular proporcionado por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993 Pág. 3-36).

El valor de CBR usado para el cálculo de la Base es igual a 83% que corresponde al valor que dio como resultado el estudio de suelos que se ejecutó en laboratorio realizado al banco de materiales llamado El Cerrito Apante, de acuerdo con la línea trazada en el nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de $a_2=0.135$ y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de $M_r = 29,300$ PSI.

Cálculo de Espesores

El espesor D1 para nuestro caso está definido, debido que utilizará adoquín como carpeta

de rodamiento, por lo tanto, $D_1 = 4$ pulgadas, según el Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos, SIECA.

Se calcula el número correspondiente a la capa de la siguiente forma:

$$SN_1 = a_1 * D_1 \text{ Ec.4}$$

$$SN_1 = (0.45) * (4.00)$$

$$SN *1 = 1.8$$

Para el cálculo de SN_2 (Base), SN_3 (Subbase) y Numero Estructural ($SN_{requerido}$), se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993), obteniendo un SN_2 de 1.15, SN_3 de 1.40.

Cálculo del espesor de la base (D_2)

Teniendo en cuenta que es conocido el valor de SN^*1 , entonces el valor del coeficiente estructural de la base se obtiene de la siguiente manera:

Dado que el espesor que se requiere para que D_2 (Base) no cumpla con los espesores mínimos, para que resista los esfuerzos que le transmitirá la carpeta de adoquín, se utilizará un espesor mínimo recomendado por el Manual de Diseño de Pavimento de la AASHTO 93, este espesor de acuerdo con el anexo 11, resulta que para un ESAL's de diseño de 80,008.00. El espesor mínimo de la base granular es 4.00 pulgadas (10.16 centímetros).

Los criterios de diseño de la AASHTO 93, indica que, si el resultado del espesor para la subbase posee un valor negativo, este no necesita dicha capa.

Verificación tenemos la fórmula siguiente:

$$SN_1 + SN_2 \geq SN_{requerido} \quad \text{Ec.5}$$

$$1.8 + 0.54 \geq 1.61$$

$$2.34 \geq 1.61 \quad \text{O.K}$$

Espesores finales de Diseño

En base al análisis y a los resultados obtenidos, la carpeta de rodamiento de los 1.8 km del tramo Bo Apante hacia comunidad El Socorro será de 4 pulgadas ya que en este caso se utilizará adoquín, la base granular será de 4 pulgadas, los espesores detallados son los siguientes:

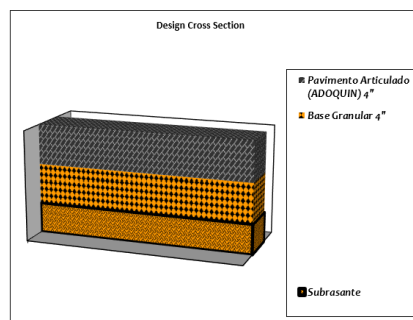
Tabla 3: Espesores de Diseño

| Capa | Espesor | |
|------------------------------|----------|-------------|
| | Pulgadas | Centímetros |
| Capa de rodamiento (Adoquín) | 4" | 10cm |
| Capa de arena | 2" | 5cm |
| Base granular | 4" | 10cm |
| Espesor Total Requerido | 10" | 25cm |

Fuente: Elaboración propia

A como se observa en la tabla anterior, al utilizar adoquín tráfico como carpeta de rodamiento, el espesor de 5 centímetros de arena no es tomado en cuenta en la suma total del espesor requerido, dado que se considera que el lecho de arena no tiene ningún aporte estructural. Tal y como se muestra en la (Imagen 1) la estructura total es de 8" pulgadas.

Imagen 1 Espesores de carpeta de rodamiento



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 12)

CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados, concluimos en:

- En el Estudio de tráfico, se realizó un aforo vehicular de 12 horas durante 7 días consecutivos (1 semana), del cual se obtuvo un TPDA de 198 vehículo/día. De los cuales se obtuvo una composición vehicular de 93.9% de Vehículos Livianos y un 3.0% de Vehículos Pesados, 3.0% vehículos de pasajeros y otros con 0.0%. Para determinar la tasa de crecimiento realizamos un consolidado de las tasas de PIB, POB y TPDA del sitio, dando un resultado de 2.46%.
- Considerando el periodo de diseño de 20 años se obtuvo un factor de crecimiento de 25.45, que al proyectarlos el número de repeticiones por eje equivalente o ESAL's fue de 80,008.00.
- Para el Estudio geotécnico se determinó que los suelos predominantes en la línea son A-2-4 (0), A-2-6, A-2-7, A-1-a(0) y una capa de pedraplén, los cuales según la clasificación AASHTO son suelos de buenos a regulares para subrasante.
- Se utilizará el banco de préstamos Banco (El Cerrito Apante) y se propone que la estructura de pavimento esté compuesta por una capa de rodadura de adoquín y una capa base estabilizada.
- En el Diseño de pavimento, a partir de un ESAL'S de 80,008.00 para un periodo de diseño de 20 años, con un CBR de diseño de 22.1%, los espesores resultantes son de 4.00 pulgadas para

la carpeta de rodamiento (adoquín), 2 pulgadas de colchón de arena y 4 pulgadas para la base estabilizada. Obteniendo un total de 10 pulgadas de estructura de pavimento articulado, por sus características no será necesario agregar una subbase a dicha estructura.

- La estructura de pavimento cumplirá a los esfuerzos que será sometido, dado que estos valores cumplen con la normativa de Diseño de pavimentos de la AASHTO 93 en cuanto a espesores mínimos requeridos, todo esto indica que será una estructura de pavimento que satisfaga y soporte la demanda vehicular a proyectarse en este caso a 20 años.

RECONOCIMIENTOS O AGRADECIMIENTOS

Agradeciendo a la institución Universidad de Ciencias Comerciales y autoridades de la misma por aportar y contribuir en el desarrollo de esta interesante investigación que nos facilita el análisis y comprensión del diseño de carreteras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC Geotechnical Consulting. (2022). ABC Geotechnical Consulting. Obtenido de <https://geotecniamecanicasuelosabc.com/glosario/transito-promedio-diario-anual-tpda/>
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (93). AASHTO. AASHTO 93. Washington D.C, Estados Unidos.
- Badillo, J. (1973). Mecanica de suelos . Mexico: Limusa Noriega Editores.
- Boiero, G. “. (2020). Geo “El blog de Alvaro Boiero. Obtenido de <https://geo-webonline.com/el-sistema-de-clasificacion-de-suelos-aashto/#:~:text=En%20el%20sistema%20AASHTO%2C%20los,l%C3%ADquido%20e%20%C3%ADndice%20de%20plasticidad.>
- Cipriano Londoño. (2022). Empresa de cemento. Obtenido de Empresa del cemento del grupo ARGOS: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/diseño-de-pavimentos-de-concreto/>
- Cueva del ingeniero Civil. (2020). Obtenido de Cueva del ingeniero Civil.
- Diseño de Pavimentos AASHTO 93 (Tercera ed.). (93). San Juan: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.
- Geotech. (2018). Geotech tips. Obtenido de <https://www.geotechtips.com/post/que-es-el-cbr>
- Hernandez, H. (2011). Transito de diseño.
- Hudiel, D. S. (2010). Dr. Sergio J. Navarro Hudiel. Obtenido de <https://sjnavarro.wordpress.com/ing-transito/>
- Hudiel, I. S. (12 de Septiembre de 2012). <http://sjnavarro.wordpress.com/ing-transito/>. Recuperado el 5 de Octubre de 2012, de [http://](http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/material-del-curso-ing.pdf)
- Infraestructura, M. d. (2008). Inventario de Red Vial. Managua.
- Ingenieria Civil. (2014). Ingenieria Civil. Obtenido de Pavimentos de concreto asfalico metodo AASHTO-93: <https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/09/periodo-de-diseno-pavimentos-de.html>
- Instituto Nacional de Información de Desarrollo . (2008). Instituto Nacional de Información de Desarrollo . Matagalpa en cifras.
- Juan Carlos Munera Miranda, José Pablo Aguiar Moya. (2019). Infraestructura Vial. Scielo.
- Maria Gabriela Castro, Luis Alberto Castro, Prissila Castro. (Septiembre de 2020). Aplicacion practica del metodo AASHTO 93 para el diseño de pavimento. Polo del Conocimiento., 5(9), 24. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/download/1717/3308>
- Ministerio de Transporte de Infraestructura MTI. (2012). Ministerio de Transporte e Infraestructura. Managua.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2019). Ministerio de Transporte e Infraestructura. Obtenido de Anuario de Aforos 2020.
- Nationals Academies Sciences, Engineering, Medicine. (20 de Noviembre de 2010). Nationals Academies Sciences, Engineering, Medicine. Obtenido de <https://trid.trb.org/view/1005087#:~:text=El%20metodo%20de%20factores%20de,del%20LEF%20para%20firmes%20flexibles.>
- Navarro, H. S. (2021). Determinación de tasas de crecimiento de tráfico promedio diario anual en Nicaragua a partir de datos macroeconómicos. El Higo, Revista de ciencia y Tecnologia., 70,71.

Proyecto Mejoramiento de transitabilidad peatonal y vehicular de las vías locales del centro poblado de cruz colorada, distrito de Pias-Patas La libertad. (2018). Proyecto Mejoramiento de transitabilidad peatonal y vehicular de las vías locales del centro poblado de cruz colorada, distrito de Pias-Patas La libertad, 40.

Ricardo, A. (2015). Diseño de pavimento asfáltico por el método de AASHTO 93 emplantado el software DISAASHTO.

SIECA. (2002). Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. Guatemala: USAID/SIECA No. 0596-0184.20.

ANEXOS

Anexo 1: Formato de aforos

| CONTEO VEHICULAR DEL LUNES (AMBOS SENTIDOS) | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|-------|------|------|----------------|----------------|------------|-------------|--------------------|----|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|------|-------|-------|
| PERIODO DE AFORO | Vehículos de Livianos | | | | Veh. Pasajeros | | | | Vehículos de Carga | | | | | | Equipo Pesado | | Total | |
| | Motos | Autos | Jeep | Cam. | McBus <15 s. | MnBus 15-30 s. | Bus 30+ s. | Liv. 2-5 t. | C2 5+ t. | C3 | Tx-Sx <=4 e. | Tx-Sx >=5 e. | Cx-Rx <=4 e. | Cx-Rx >=5 e. | V.A. | V.C. | | Otros |
| 06:00 | 07:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 07:00 | 08:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 08:00 | 09:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 09:00 | 10:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 10:00 | 11:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 11:00 | 12:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 12:00 | 13:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 13:00 | 14:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 14:00 | 15:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 15:00 | 16:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 16:00 | 17:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 17:00 | 18:00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Anexo 2: Diagramas de cargas permisibles

| Tipo de Vehículo | Peso por eje (TON) | Peso por eje (LBS) |
|------------------|--------------------|--------------------|
| AUTOMOVIL | 1/1 | 2200/2200 |
| JEEP | 1/1 | 2200/2200 |
| CAMIONETA | 1/2 | 2200/4400 |
| MC-15 | 2/4 | 4400/8800 |
| MC-15-30 | 4/8 | 8800/17600 |
| C-2 LIV | 4/8 | 8800/17600 |
| BUS=C2 | 5/10 | 11000/22000 |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo.

| TIPO DE VEHICULOS | ESQUEMAS DE VEHICULOS | PESO MAXIMO AUTORIZADO | | | | | | Peso Máximo Total (t) Ton - Met. |
|-------------------|-----------------------|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------------------------|
| | | 1er. Eje | 2do. Eje | 3er. Eje | 4to. Eje | 5to. Eje | 6to. Eje | |
| C2 | | 5.00 | 10.00 | | | | | 15.00 |
| C3 | | 5.00 | 16.50 | | | | | 21.50 |
| | | | 8.25 | 8.25 | | | | |
| C4 | | 5.00 | 20.00 | | | | | 25.00 |
| | | | 6.67 | 6.66 | 6.66 | | | |
| T2-S1 | | 5.00 | 9.00 | 9.00 | | | | 23.00 |
| T2-S2 | | 5.00 | 9.00 | 16.00 | | | | 30.00 |
| | | | 8.00 | 8.00 | | | | |
| T2-S3 | | 5.00 | 9.00 | 20.00 | | | | 34.00 |
| | | | 6.67 | 6.66 | 6.66 | | | |
| T3-S1 | | 5.00 | 16.00 | 9.00 | | | | 30.00 |
| | | | 8.00 | 8.00 | | | | |
| T3-S2 | | 5.00 | 16.00 | 16.00 | | | | 37.00 |
| | | | 8.00 | 8.00 | 8.00 | 8.00 | | |
| T3-S3 | | 5.00 | 16.00 | 20.00 | | | | 41.00 |
| | | | 8.00 | 8.00 | 6.67 | 6.66 | 6.66 | |
| C2-R2 | | 4.50 | 9.00 | 4.0 a | 4.0 a | | | 21.50 |
| | | 4.50 | 9.00 | 6.5 b | 6.5 b | | | 26.50 |
| C3-R2 | | 5.00 | 16.00 | 4.0 a | 4.0 a | | | 29.00 |
| | | 5.00 | 8.00 | 8.00 | 6.5 b | 6.5 b | | 34.00 |
| C3-R3 | | 5.00 | 16.00 | 4.0 a | 5.0 a | 5.0 a | | 35.00 |
| | | 5.00 | 8.0 b | 8.0 b | 6.5 b | 5.0 b | 5.0 b | 37.50 |

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura vial (MTI).

Anexo 4: Resumen de Aforo Vehicular

| RESUMEN DEL AFORO VEHICULAR Y CALCULO DEL TPDIS. (Trnsito Promedio Diario Semanal) | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|-------|------|-----|----------------------|----------|-----|------------------|----|----|-------|-------|
| Estación: (0+000) | | | | | | | | | | | | |
| Dias | Vehículos Livianos | | | | Pesados de Pasajeros | | | Pesados de Carga | | | Otros | TOTAL |
| | Motos | Autos | Jeep | Cta | Mbus | Mb> 15 P | Bus | Liv C2 | C2 | C3 | | |
| Lunes | 45 | 41 | 20 | 37 | 6 | 4 | 9 | 16 | 13 | 4 | 0 | 195 |
| Martes | 50 | 22 | 14 | 24 | 3 | 3 | 6 | 5 | 3 | 0 | 0 | 130 |
| Miércoles | 133 | 31 | 26 | 34 | 4 | 7 | 9 | 11 | 11 | 5 | 0 | 271 |
| Jueves | 40 | 24 | 28 | 32 | 7 | 9 | 9 | 10 | 9 | 6 | 0 | 174 |
| Viernes | 29 | 17 | 16 | 23 | 1 | 1 | 8 | 2 | 0 | 2 | 0 | 99 |
| Sábado | 39 | 28 | 21 | 38 | 15 | 7 | 6 | 7 | 8 | 7 | 0 | 176 |
| Domingo | 50 | 36 | 10 | 62 | 14 | 12 | 7 | 6 | 6 | 8 | 0 | 211 |
| Total | 386 | 199 | 135 | 250 | 50 | 43 | 54 | 57 | 50 | 32 | 0 | 1256 |
| TPDIS(Vehiculos/12 hrs) | 66 | 29 | 20 | 36 | 8 | 7 | 8 | 9 | 8 | 5 | 0 | 186 |

Fuente: Sustentantes

Anexo 5: Transito Promedio Diario Anual

| Factor / Tipo de Vehículo | Vehículos Livianos | | | | Pesados de Pasajeros | | | Pesados de Carga | | | Otros | total |
|---------------------------|--------------------|-------|-------|-------|----------------------|----------|------|------------------|------|------|-------|--------|
| | Moto | Autos | Jeep | Cta | Mibus | Mb> 15 P | Bus | Liv C2 | C2 | C3 | | |
| TPDIS | 56 | 29 | 20 | 36 | 1.28 | 1.25 | 1.36 | 1.2 | 1.26 | 1.2 | 0 | 148.6 |
| FACTOR DIA | 1.37 | 1.33 | 1.19 | 1.24 | 1.28 | 1.25 | 1.36 | 1.2 | 1.26 | 1.2 | 1 | 13.68 |
| FACTOR EXPANSION | 1.02 | 0.99 | 0.95 | 1 | 1.02 | 0.89 | 1.01 | 0.97 | 1.01 | 1.01 | 0.66 | 10.53 |
| TPDA | 79 | 39 | 23 | 45 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 198 |
| % TPDA | 39.9% | 19.7% | 11.6% | 22.7% | 1.0% | 1.0% | 1.0% | 1.0% | 1.0% | 1.0% | 0.0% | 100.0% |
| % TPDA Veh. Livianos | | | | | 93.9% | | | | | | | |
| % TPDA Veh. Pasajeros | | | | | 3.0% | | | | | | | |
| % TPDA Veh. Pesados | | | | | 3.0% | | | | | | | |
| % TPDA Veh. Otros. | | | | | 0.0% | | | | | | | |

Fuente: Sustentantes

Anexo 6: Evolución TPDA de la Estación 1802. (San Marcos- Masatepe)

| N° | CODIGO NC | EST. | TIPO | NOMBRE DEL TRAMO | Año | Motos | Autos | Jeep | Cmto. | Micro <15 pas | Medio 15-30 pas | Bus | Liv. 2.5 Ton | C2 5 + Ton | C3 | Tr>5x <=4e | Tr>5x >=5e | Cr>5x <=4e | Cr>5x >=5e | VA | V.C | Otros | TPDA | |
|------|-----------|------|------|----------------------|------|-------|-------|------|-------|---------------|-----------------|-----|--------------|------------|----|------------|------------|------------|------------|----|-----|-------|------|-------|
| 1827 | MC-18A | 1802 | EMC | San Marcos- Masatepe | 2000 | 5661 | 1294 | 278 | 884 | 344 | 93 | 140 | 410 | 165 | 40 | | 69 | | | | | | 8 | 9,282 |
| | | | | | 2019 | 5213 | 1344 | 310 | 957 | 397 | 96 | 159 | 387 | 172 | 50 | | 85 | | | | | | 9 | 8,178 |
| | | | | | 2018 | 5167 | 1548 | 319 | 1022 | 386 | 98 | 159 | 431 | 205 | 54 | | 93 | | | | | | 7 | 6,497 |
| | | | | | 2017 | 4638 | 1379 | 346 | 1068 | 395 | 88 | 158 | 391 | 221 | 60 | | 152 | | | | | 1 | 11 | 8,958 |
| | | | | | 2016 | 3942 | 1453 | 450 | 1185 | 423 | 94 | 163 | 421 | 272 | 45 | | 81 | | | | | | 11 | 8,590 |
| | | | | | 2015 | 3372 | 1291 | 370 | 993 | 388 | 85 | 161 | 382 | 236 | 36 | | 80 | | | | | | 9 | 7,482 |
| | | | | | 2014 | 3174 | 1161 | 348 | 926 | 322 | 75 | 146 | 369 | 240 | 41 | | 69 | | | | | | 13 | 4,893 |
| | | | | | 2013 | 2691 | 1161 | 319 | 875 | 318 | 86 | 146 | 351 | 187 | 25 | | 52 | | | | | | 11 | 4,221 |
| | | | | | 2012 | 2789 | 1064 | 357 | 895 | 341 | 72 | 130 | 347 | 200 | 54 | 2 | 44 | | | | | 1 | 8 | 4,324 |
| | | | | | 2011 | 1971 | 978 | 309 | 803 | 322 | 60 | 139 | 286 | 195 | 27 | | 35 | | | | | | 7 | 5,132 |
| | | | | | 2010 | 1501 | 1076 | 336 | 840 | 356 | 82 | 154 | 290 | 214 | 36 | | 40 | | | | | | 8 | 4,934 |
| | | | | | 2009 | 1326 | 1068 | 363 | 885 | 340 | 76 | 164 | 323 | 259 | 34 | | 42 | | | | | | 8 | 4,887 |
| | | | | | 2008 | 1056 | 944 | 327 | 917 | 349 | 78 | 175 | 335 | 270 | 42 | | 46 | | | | | 1 | 13 | 4,554 |
| | | | | | 2004 | 288 | 814 | 305 | 1012 | 281 | 72 | 213 | 321 | 241 | 14 | | 37 | | | | | 0 | 8 | 3,608 |
| | | | | | 2002 | 234 | 827 | 388 | 1113 | 260 | 61 | 190 | 223 | 237 | 25 | | 31 | | | | | 1 | 13 | 3,682 |
| | | | | | 1999 | 224 | 585 | 287 | 938 | 142 | 66 | 196 | 208 | 180 | 34 | | 21 | | | | | 2 | 17 | 2,871 |
| | | | | | 1997 | 184 | 500 | 234 | 746 | 18 | 69 | 169 | 91 | 206 | 18 | | 13 | | | | | | 12 | 2,360 |
| | | | | | | Lit. | 8117 | | | | | | | | | | 695 | | | | | | | |
| | | | | | | BUS | | | 6% | | | 7% | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2020-2021, MTI-DAV). Pág 155.

Anexo 7: Evolución TPDA de la Estación 302. (Matagalpa- El Arenal)

| N° | CODIGO NC | EST. | TIPO | NOMBRE DEL TRAMO | Año | Motos | Autos | Jeep | Cmto. | Micro <15 pas | Medio 15-30 pas | Bus | Liv. 2.5 Ton | C2 5 + Ton | C3 | Tr>5x <=4e | Tr>5x >=5e | Cr>5x <=4e | Cr>5x >=5e | VA | V.C | Otros | TPDA | | | |
|----|-----------|------|------|----------------------|-------------------------|-------|-------|------|-------|---------------|-----------------|-----|--------------|------------|----|------------|------------|------------|------------|----|-----|-------|------|-------|-------|--|
| 36 | MC-3 | 302 | EMC | Matagalpa- El Arenal | 2000 | 1970 | 818 | 289 | 817 | 68 | 69 | 88 | 78 | 112 | 5 | | 9 | | | | | | 2 | 4,325 | | |
| | | | | | 2012 | 282 | 115 | 84 | 361 | 20 | 4 | 70 | 95 | 56 | 3 | | 1 | | | | | | 3 | 1,094 | | |
| | | | | | 2011 | 226 | 87 | 69 | 271 | 11 | | 53 | 87 | 33 | 5 | | 4 | | | | | | 12 | 888 | | |
| | | | | | 2010 | 192 | 93 | 68 | 314 | 8 | | 42 | 107 | 30 | 19 | | 2 | | | | | | 2 | 917 | | |
| | | | | | 2008 | 120 | 135 | 109 | 293 | 12 | | 84 | 112 | 163 | 12 | | 17 | | | | | | 1 | 1,056 | | |
| | | | | | 2005 | 38 | 117 | 105 | 353 | 11 | 4 | 69 | 90 | 124 | 15 | | 28 | | | | | 1 | 2 | 958 | | |
| | | | | | 2002 | 70 | 106 | 115 | 411 | 9 | | 82 | 94 | 164 | 32 | | 17 | | | | | | 1 | 1,102 | | |
| | | | | | 1999 | 31 | 48 | 77 | 281 | 1 | 1 | 70 | 45 | 71 | 8 | | 17 | | | | | | | 650 | | |
| | | | | | EMC 1802 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | Tasa Crecimiento: 4,74% | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 2000 | 1970 | 818 | 289 | 817 | 68 | 69 | 88 | 78 | 112 | 5 | | 9 | | | | | | | 2 | 4,325 | |
| | | | | | | Lit. | 3894 | | | | | | | | | | 206 | | | | | | | | | |
| | | | | | | 90% | | | 5% | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2020-2021, MTI-DAV).

Anexo 8: Tránsito de Diseño

| Tránsito de diseño para el cálculo del ESAL'S | | | | | | | |
|---|------------------------|-------|--------------|--------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Tipo de vehículos | Tránsito Actual (2018) | F.C. | Días del año | Tránsito de diseño | Factor por carril (Fc) | Factor de Dirección (Fs) | Tránsito para el carril de diseño |
| Autos | 39.00 | 25.45 | 365 | 362,280.75 | 0.50 | 1.00 | 181,140.38 |
| Jeep | 23.00 | 25.45 | 365 | 213,652.75 | 0.50 | 1.00 | 106,826.38 |
| Camionetas | 45.00 | 25.45 | 365 | 418,016.25 | 0.50 | 1.00 | 209,008.13 |
| McBus<15 pas | 2.00 | 25.45 | 365 | 18,578.50 | 0.50 | 1.00 | 9,289.25 |
| MnBus 15-30 pas | 2.00 | 25.45 | 365 | 18,578.50 | 0.50 | 1.00 | 9,289.25 |
| Bus | 2.00 | 25.45 | 365 | 18,578.50 | 0.50 | 1.00 | 9,289.25 |
| C2 liv | 2.00 | 25.45 | 365 | 18,578.50 | 0.50 | 1.00 | 9,289.25 |
| C2 5 +ton | 2.00 | 25.45 | 365 | 18,578.50 | 0.50 | 1.00 | 9,289.25 |
| C3 | 2.00 | 25.45 | 365 | 18,578.50 | 0.50 | 1.00 | 9,289.25 |
| Total | | | | | | | 552,710.375 |

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Cálculo ESAL'S del Carril de Diseño.

| Cálculo ESAL'S del carril de diseño | | | | | | | | |
|---|----------------------|-------------------|-------------|------------|------------|--------------|-------------|------------------|
| Asumimos un número estructural (SN=5), Pt=2.0 | | | | | | | | |
| Tipo de vehículos | Peso X eje (Ton.met) | Peso X eje (Kíps) | Tipo de eje | TPDA. 2018 | TD | TD corregido | Factor ESAL | ESAL de diseño |
| Autos | 1.00 | 2.20 | Simple | 39.00 | 181,140.38 | 181,141.00 | 0.00038 | 69 |
| | 1.00 | 2.20 | Simple | | | | 0.00038 | 69 |
| Jeep | 1.00 | 2.20 | Simple | 23.00 | 106,826.38 | 106,826.00 | 0.00038 | 41 |
| | 1.00 | 2.20 | Simple | | | | 0.00038 | 41 |
| Camionetas | 1.00 | 2.20 | Simple | 45.00 | 209,008.13 | 209,008.00 | 0.00038 | 79 |
| | 2.00 | 4.40 | Simple | | | | 0.0034 | 711 |
| McBus<15 pas | 2.00 | 4.40 | Simple | 2.00 | 9,289.25 | 9,289.00 | 0.0034 | 32 |
| | 4.00 | 8.80 | Simple | | | | 0.0502 | 466 |
| MnBus 15-30 pas | 4.00 | 8.80 | Simple | 2.00 | 9,289.25 | 9,289.00 | 0.0502 | 466 |
| | 8.00 | 17.60 | Simple | | | | 0.9206 | 8551 |
| Bus | 5.00 | 11.00 | Simple | 2.00 | 9,289.25 | 9,289.00 | 0.1265 | 1175 |
| | 10.00 | 22.00 | Simple | | | | 2.35 | 21829 |
| C2 Liv | 4.00 | 8.80 | Simple | 2.00 | 9,289.25 | 9,289.00 | 0.0502 | 466 |
| | 8.00 | 17.60 | Simple | | | | 0.9206 | 8551 |
| C2 5 +ton | 5.00 | 11.00 | Simple | 2.00 | 9,289.25 | 9,289.00 | 0.1265 | 1175 |
| | 10.00 | 22.00 | Simple | | | | 2.35 | 21829 |
| C3 | 5.00 | 11.00 | Simple | 2.00 | 9,289.25 | 9,289.00 | 0.1265 | 1175 |
| | 16.50 | 36.30 | Doble | | | | 1.43 | 13283 |
| Total, ESAL'S de Diseño(W18) | | | | | | | | 80,008.00 |
| | | | | | | | | 8.00E+04 |

Fuente: Elaboración propia

