



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL Y ESPESOR DE PAVIMENTO ARTICULADO
POR EL MÉTODO DE AASHTO 93, DE 785 METROS LINEALES DEL
BARRIO “MONTE TABOR”, MUNICIPIO DE MATAGALPA, DEPARTAMENTO
DE MATAGALPA.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Carlos Bryan Soza Pérez
Br. Georgy Douglas Hernández Gómez

Tutor

MSc. Ing. José Fernando Bustamante Arteaga

Managua, enero 2020

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, siendo el ser que me guía, me da sabiduría y fortaleza para afrontar cualquier adversidad y reto, ya que me ha dado salud, y me ha puesto en el camino, a muchas personas que me han ayudado a crecer en una plenitud de ámbitos.

A mis padres, Carlos Alberto Soza, Sista Pérez Gómez, siendo ellos un pilar fundamental en mi vida, ya que, con su amor incondicional y enseñanzas, me han logrado formar primeramente como humano y me han dado todo lo que soy como persona, aprender la importancia de valores y transmitirlos siempre de corazón. Han estado conmigo en todo tipo de situaciones, apoyándome y siempre brindándome consejos, los cuales han sido necesarios para poder llegar a cumplir cada objetivo que me he marcado.

A mi hermana, Josilen Anielka Soza Pérez, que más que una hermana, la considero mi segunda madre, apoyándome en el transcurso de mi vida, desde que solíamos practicar atletismo, hasta el ámbito de la enseñanza, animándome a mejorar como estudiante y dar lo mejor de mí siempre.

A mi hermano, Helner Yotzhak Gómez, sus ánimos y buenas vibras a lo largo de mi vida, me han forjado a ser mejor, a continuar siempre por el buen camino, y haber compartido conmigo, muchos buenos momentos.

A mis amigos, que, con sus buenos deseos, y ocurrencias han hecho de mí, un mejor ser, a lo largo de la carrera, aprendí mucho de ellos.

Br. Carlos Bryan Soza Pérez.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado primeramente a Dios y a la virgen María, por haberme permitido llegar hasta este punto, por brindarme sabiduría, entendimiento y salud para afrontar este largo camino y culminar esta etapa tan maravillosa de mi vida. También agradezco a Santiago Apóstol por interceder por mí ante Dios.

A mis padres, Marcia Gómez y Douglas Hernández por su amor y apoyo incondicional, por creer en mí, por brindarme la mejor herencia que es la educación, por hacerme ver y corregir mis faltas, por haberme enseñado como debe ser una persona con principios y valores, muchas gracias por cada esfuerzo y sacrificio que hicieron para que lograra cumplir esta meta.

A mis hermanas, Doris Hernández y Katerine Hernández, por cuidarme y protegerme durante toda mi vida, por su paciencia y por cada detalle que tuvieron hacia mí, por sus consejos y bromas ayudándome a ser una mejor persona.

A mi tía Enriqueta Gómez, aunque no esté con nosotros, le agradezco todo el amor y consejos que me brindó para ser una buena persona a como lo fue ella.

A mi tía Martha, por darme el apoyo y cariño durante toda mi vida.

A mis amigos y compañeros de clases, por todos los buenos y malos momentos que vivimos juntos, han hecho de todo esto, una de las mejores etapas de mi vida.

Br. Georgy Douglas Hernández Gómez

AGRADECIMIENTO

Primeramente, gracias a Dios, por habernos permitido lograr terminar un objetivo que nos planteábamos desde pequeños.

A nuestros padres por impulsarnos y apoyarnos integralmente para poder culminar nuestros estudios

A cada una de las personas que participaron y nos ayudaron, brindándonos sus consejos y conocimientos, como el Ing. Carlos González, siendo nuestro mentor en el levantamiento topográfico. A los Ingenieros Johnny y Jimmy por su constancia y críticas constructivas para el buen desarrollo de los estudios de suelos en el laboratorio de materiales y suelos "Ing. Julio Padilla Méndez".

A nuestro tutor, Ing. José Bustamante, quien nos guio y apoyó a lo largo de nuestro trabajo monográfico.

Y a todos nuestros amigos y compañeros que, a lo largo de estos años, nos brindaron ánimos y fuerza de voluntad para culminar este camino.

Br. Carlos Bryan Soza Pérez.

Br. Georgy Douglas Hernández Gómez.

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo se abordaron seis capítulos, los cuáles serán presentados a continuación.

CAPITULO I GENERALIDADES

En este capítulo se abordan las generalidades del tema, tales como introducción, antecedentes, justificación, objetivos y macro y micro localización del lugar.

CAPITULO II LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

En este capítulo se abordó el estudio topográfico del Barrio Monte Tabor, el cual consta con 1085 metros lineales en el que se realizó el trabajo de planimetría y altimetría, de los cuales 300 metros ya poseen su carpeta de rodamiento de pavimento articulado (adoquín), los 785 metros restantes no poseen esta carpeta, obteniéndose así con el estudio todos los puntos posibles con sus coordenadas y elevaciones para lograr obtener perfiles longitudinales y secciones transversales del lugar.

CAPITULO III DISEÑO GEOMÉTRICO

Se realizó el diseño geométrico del barrio Monte Tabor, Matagalpa; el diseño consta de la realización de calles transversales de dicho barrio, con respecto a la calle principal, basándose en la normativa del Libro Verde AASHTO 2011, Diseño Geométricos de Caminos y Calles. Y con el programa AutoCAD Civil 3D, el cual incluyó la definición de cada uno de los principales criterios de diseño, así también como el diseño de señalización vial de las calles en estudio según Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (año 2014).

Las curvas horizontales y verticales se aplicaron en dependencia a las calles en estudio, ocupando los criterios de diseño de la AASHTO 2011. En el diseño de la sección transversal se hizo en base las especificaciones de la AASHTO 2011 y las condiciones que presenta el camino.

CAPITULO IV ESTUDIO DE SUELOS

Se realizaron cuatro sondeos en el barrio Monte Tabor con dimensiones de 0.75*0.75*1.5m, con el objetivo de conocer las propiedades físico-mecánicas del suelo. Los ensayos de laboratorio se realizaron siguiendo los procedimientos estándares descritos en las normas internacionales ASTM. Las muestras extraídas fueron sometidas a análisis granulométrico, análisis de límites de consistencia, ensayo Proctor, y CBR. También se analizó material extraído del banco de materiales de Jorge Castro, el cual también fue sometido a cada ensayo consecuente.

El proceso de realización de estudio de suelos fue llevado a cabo en el laboratorio de Materiales y Suelos "Ing. Julio Padilla Méndez", del cual ejecutamos cada ensayo, haciendo uso de guía de suelos, y en conjunto con técnicos de laboratorio.

CAPITULO V ESTUDIO DE TRÁNSITO

Se basa en la situación actual del tráfico sobre el tramo y su respectiva proyección; tomando como parámetro los volúmenes de tránsito obtenidos mediante aforos en el sitio de estudio.

Para esto se estimó TPD_S (tráfico promedio diario semanal) el cual se calculó por medio de los datos recolectados en el conteo vehicular, realizado durante 7 días consecutivos, 12 horas diurnas (6 am- 6 pm). El MTI ha desarrollado factores a partir de estaciones permanentes, asociando una ECD o una Estación de Conteo Sumario (ECS) para ajustar los valores obtenidos del aforo con el objetivo de estimar el TPDA (tráfico promedio diario anual), los factores utilizados fueron el FD (Factor día) y FE (Factor expansión).

El TPDA calculado para el año base 2019, se proyectó para un periodo de diseño de 15 años, utilizando una tasa de crecimiento de 2.35%, encontrándose así el tránsito proyectado para el año 2034.

CAPITULO VI ESPESOR DE PAVIMENTO

En este capítulo se realizó el diseño de pavimento articulado de forma manual, en el cual se realizó el cálculo de los espesores de cada capa que conforman el pavimento. A la vez se detalla el procedimiento para seleccionar los parámetros de diseño tales como: Ejes equivalentes de diseño, confiabilidad, serviciabilidad, desviación estándar y el CBR el cual sirvió como base para determinar el módulo resiliente y el valor de los coeficientes estructurales obtenidos del ábaco dado por la AASHTO 93, para así, obtener los espesores adecuados de pavimento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Producto del presente trabajo con el objetivo que sea de utilidad para la construcción del tramo en estudio.

Recomendaciones. Información a tomar en cuenta para ejecución correcta del proyecto.

Anexos. Se complementa toda la información utilizada en el desarrollo del proyecto.

ÍNDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. General	4
1.4.2. Específico.....	4
1.5. Ubicación del proyecto	5
1.5.1. Macro Localización.....	5
1.5.2. Micro localización.....	6

CAPITULO II: LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

2.1. Levantamiento topográfico	7
2.1.1. Planimetría	7
2.1.2. Altimetría	7
2.1.3. Nivelación compuesta.....	8
2.2. Levantamiento topográfico Barrio Monte Tabor	8

CAPITULO III: DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1. Introducción.....	10
3.2. Clasificación funcional para diseño geométrico del barrio.....	10
3.2.1. Según el Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las carreteras Regionales (SIECA).....	11
3.2.2. Según Libro Verde AASHTO 2011, Diseño Geométricos de Caminos y Calles.....	12
3.3. Componentes principales del diseño geométrico.....	13
3.3.1. Vehículo de Diseño.....	13

3.3.2.	Velocidad directriz.....	14
3.3.3.	Volumen de tránsito de diseño.....	14
3.3.4.	Pendientes.....	14
3.3.5.	Peralte.....	15
3.3.6.	Distancia de visibilidad	15
3.3.7.	Pendiente transversal o bombeo.....	17
3.3.8.	Alineamiento Horizontal.....	17
3.4.	Elementos de la sección transversal.....	20
3.4.1.	Ancho de calzada.....	20
3.4.2.	Rasante.....	21
3.4.3.	Medianas	21
3.5.	Diseño Geométrico realizado en AutoCAD Civil 3D.....	21
3.5.1.	Importación de puntos	21
3.5.2.	Alineamiento Horizontal.....	22
3.5.3.	Alineamiento Vertical	22
3.5.4.	Obra lineal o Corredor.....	23
3.5.5.	Sección transversal	24
3.6.	Señalización Vial	30
3.6.1.	Señalización Horizontal.....	31
3.6.2.	Señalización Vertical	32
3.7.	Observaciones:	33
 CAPITULO IV: ESTUDIO DE SUELOS		
4.1.	Introducción.....	36
4.2.	Exploración y muestreo.....	36
4.3.	Sondeos Manuales Sobre la Línea.....	37

4.4.	Sondeo de Banco de Material	38
4.5.	Clasificación de los suelos.....	38
4.5.1.	Clasificación de los suelos según AASHTO	39
4.5.2.	Clasificación unificada de suelos (SUCS)	41
4.6.	Actividades de Laboratorio	42
4.6.1.	Ensaye de Proctor Estándar.	44
4.6.2.	Ensaye Proctor Modificado.....	46
4.6.3.	Ensaye de Valor Relativo Soporte ó Relación de Soporte de California.....	48
4.7.	Estudio de Suelos Realizado por la Alcaldía de Matagalpa.....	51
4.7.1.	Resultados de ensayos de Suelo	51
 CAPITULO V: ESTUDIO DE TRÁNSITO		
5.1.	Introducción.....	53
5.1.1.	Estudio de tránsito	53
5.1.2.	Volumen de tránsito	53
5.1.3.	Aforos vehiculares.....	54
5.1.4.	Análisis de cargas equivalentes.....	55
5.1.5.	Tipos de estaciones de conteo vehicular	55
5.1.6.	Clasificación vehicular	56
5.2.	Trabajo de campo y representación de resultados	57
5.2.1.	Estación de mayor cobertura asociada al camino en estudio ..	58
5.2.2.	Expansión a 24 horas	60
5.2.3.	Expansión a Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS).....	61
5.2.4.	Expansión a Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA ₂₀₁₉).....	62
5.3.	Proyección de Tráfico	65

5.3.1. Crecimiento poblacional	65
5.3.2. Crecimiento vehicular	67
5.3.3. Producto interno bruto (PIB).....	70
5.4. Tránsito de diseño.....	73
5.4.1. Periodo de diseño.....	73
5.4.2. Factor Direccional (FD)	74
5.4.3. Factor Distribucion carril (FC')	74
5.4.4. Factor de crecimiento (FC)	75
5.4.5. Tránsito proyectado en el año n.....	75
5.4.6. Tránsito de diseño	76

CAPITULO VI: ESPESOR DE PAVIMENTO

6.1. Introducción.....	78
6.2. Diseño de pavimento articulado	79
6.2.1. Adoquines	79
6.2.2. Cama de arena	79
6.2.3. Base	80
6.3. Materiales a usar según AASHTO M-147.....	80
6.3.1. Base	80
6.3.2. CBR con Próctor modificado AASHTO T-180.....	81
6.4. Materiales a usar según normas NIC 2018.....	81
6.4.1. CBR con Próctor modificado AASHTO T-180.....	82
6.5. Variables a considerar en el diseño por AASHTO 93.....	82
6.5.1. Índice de Servicialidad	83
6.5.2. Pérdida de servicialidad (Δ PSI)	84
6.5.3. Numero Estructural Asumido (SN).....	84

6.5.4. Análisis de carga y eje equivalente para el diseño de pavimento.....	85
6.5.5. Confiabilidad (R)	89
6.5.6. Desviación Estándar Normal del Error Combinado en la Predicción del Tráfico y Comportamiento Estructural (ZR)	90
6.5.7. Desviación estándar (S _o).....	91
6.5.8. Coeficiente de drenaje.....	91
6.5.9. Módulo de Resiliencia Efectivo de la Sub rasante (Mr).....	92
6.5.10. Número Estructural SN	93
6.6. Cálculo de espesores.....	94
6.6.1. Cálculo del número estructural SN y espesores de capa D.....	94
Conclusiones	100
Recomendaciones.....	102
Bibliografía.....	103
ANEXOS	
CONJUNTO DE PLANOS	

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

La construcción de nuevas vías de carreteras, tanto urbanas como rurales, ha sido imprescindible para el progreso de la sociedad humana a lo largo de la historia. El mejoramiento de la calidad de vida de los pueblos, objetivo principal de la política económica de todo gobierno, se ve influenciada por el nivel de servicio de la red vial. De ahí que en nuestro país un porcentaje considerable del gasto público, además de préstamos a entidades financieras internacionales (Banco Mundial, BID, etc.) sea dirigido a ejecutar significativos proyectos en materia de infraestructura vial. En Nicaragua el uso del adoquín es muy común, su aplicación se da en carreteras que no tienen un flujo vehicular muy grande, así como en las calles de las ciudades donde la mayoría están hechas por este material. En Nicaragua se ha optado por este tipo de pavimento ya que primeramente son fabricados a base de concreto de alta resistencia, son de fácil manejo en el transporte y la colocación, ya que no requieren de mano de obra especializada, tiene una superficie auto derrapante, todo ello con una apariencia agradable y a un costo más accesible, así como el mantenimiento de éste.

La red vial en Nicaragua se estima en un total de 24,334.78 Km, de la cuales 4127.09 km están pavimentadas, 2467.3 km contiene asfaltado y 1449.52 km de adoquinados. El departamento de Matagalpa, que es el segundo más poblado de la nación, contiene el mayor parte de la red vial (2950.05 Km). En dicho departamento se encuentra el barrio "Monte tabor" en el municipio de Matagalpa, el cual posee un 7.02 km de adoquinado y un total de 436.72 Km de red vial, que se distribuye de acuerdo a zonas establecidas del casco urbano y rural. El barrio Monte Tabor pertenece al municipio de Matagalpa, departamento de Matagalpa, se encuentra ubicado en el Km.126 carretera Sébaco-Matagalpa, a unos 2.5 km de la ciudad. Consta de 1 calle principal y 11 secundarias, con aproximadamente 213 casas de habitación. Se localiza en las coordenadas: 12°54'34.59" N y 85°56'54.66" O, a una altura de 674 metros sobre el nivel del mar.

1.2. Antecedentes

En Nicaragua ha venido en crecimiento el uso de adoquín de concreto desde ciertas décadas atrás hasta la época actual, ya que este ofrece cierta cantidad de ventajas a la hora de escoger el tipo de material a ocupar para su capa de rodadura, entre las cuales se tiene permeabilidad, durabilidad ya que un adoquín bien colocado y bien cuidado tiene una vida útil de 40 años, sencillez del proceso constructivo, fácil mantenimiento y seguridad, logrando con esto cumplir con las necesidades básicas.

El barrio de Monte Tabor, está ubicado a las afueras de la ciudad de Matagalpa (**Ver Imagen No. 2, Micro localización, Pág. 6**), en el sector 83, territorio rural. Conecta directamente con la troncal secundaria de Matagalpa, cuenta con 213 viviendas según censo realizado en 2010, y cuenta con los servicios básicos como: agua potable, electricidad, telefonía y servicios de alcantarillado sanitario.

El barrio cuenta con 1085 metros lineales totales, de los cuales 300 metros ya poseen su carpeta de rodamiento de adoquines, y 785 metros aún no poseen esta carpeta (**Ver en anexo, Imagen No.33, Pág. I**). En épocas de lluvias fuertes afecta considerablemente los tramos que no cuentan con la capa y termina deteriorando, provocando baches a lo largo de su sección, que a la larga provoca ciertas lagunas que quedan estancadas en el camino.

Cabe destacar que por el barrio circulan maquinaria de gran peso, tales como camiones, tractores, debido a que se encuentra un garaje con este tipo de maquinaria en el interior del barrio, y que eventualmente circulan por dichas calles, deteriorando estructuras como vados ya construidos en tramos ya adoquinados.

1.3. Justificación

Los habitantes del barrio Monte Tabor a pesar de poseer los servicios básicos para vivir, llevan cierta cantidad de años esperando una respuesta positiva para la realización de un proyecto para la construcción total de sus calles con adoquines, ya que estos poseen ciertas ventajas, y sus costos son menores a la hora de su financiamiento.

Los tramos que no cuentan con una carpeta de rodamiento en tiempos de verano se caracterizan por ser polvosos y muy secos, lo que puede provocar entre los habitantes del sector tanto niños, ancianos y transeúntes en general enfermedades respiratorias debido a estos problemas, por otro lado, en época de lluvia, se crean baches que forman lagunas, a su vez que pueden ser un detonante a la proliferación de enfermedades transmitidas por vectores tales como mosquitos que lleguen a afectar la salud de los transeúntes.

Para el diseño geométrico vial se utilizará el libro verde de la AASHTO 2011, designado para Calles y Caminos Locales, apoyados en conjunto con la Norma para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004), y para el diseño de pavimento articulado (adoquín) se utilizará el método AASHTO 93, siendo este uno de los métodos más empleados considerando variables en su diseño.

El principal objetivo de la realización de este trabajo monográfico es poder brindar una solución para la población de ese barrio, proporcionado el diseño final a la alcaldía de Matagalpa con el fin de que se pueda valorar y ejecutar dicho proyecto, mejorando las condiciones de vida para sus habitantes. Con los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, se podrá asegurar un mejor bienestar y calidad a la que actualmente poseen.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

- Realizar el diseño geométrico vial y espesor de pavimento articulado por el método de AASHTO 93, de 785 metros lineales del barrio “Monte Tabor”, municipio de Matagalpa, departamento de Matagalpa.

1.4.2. Específico

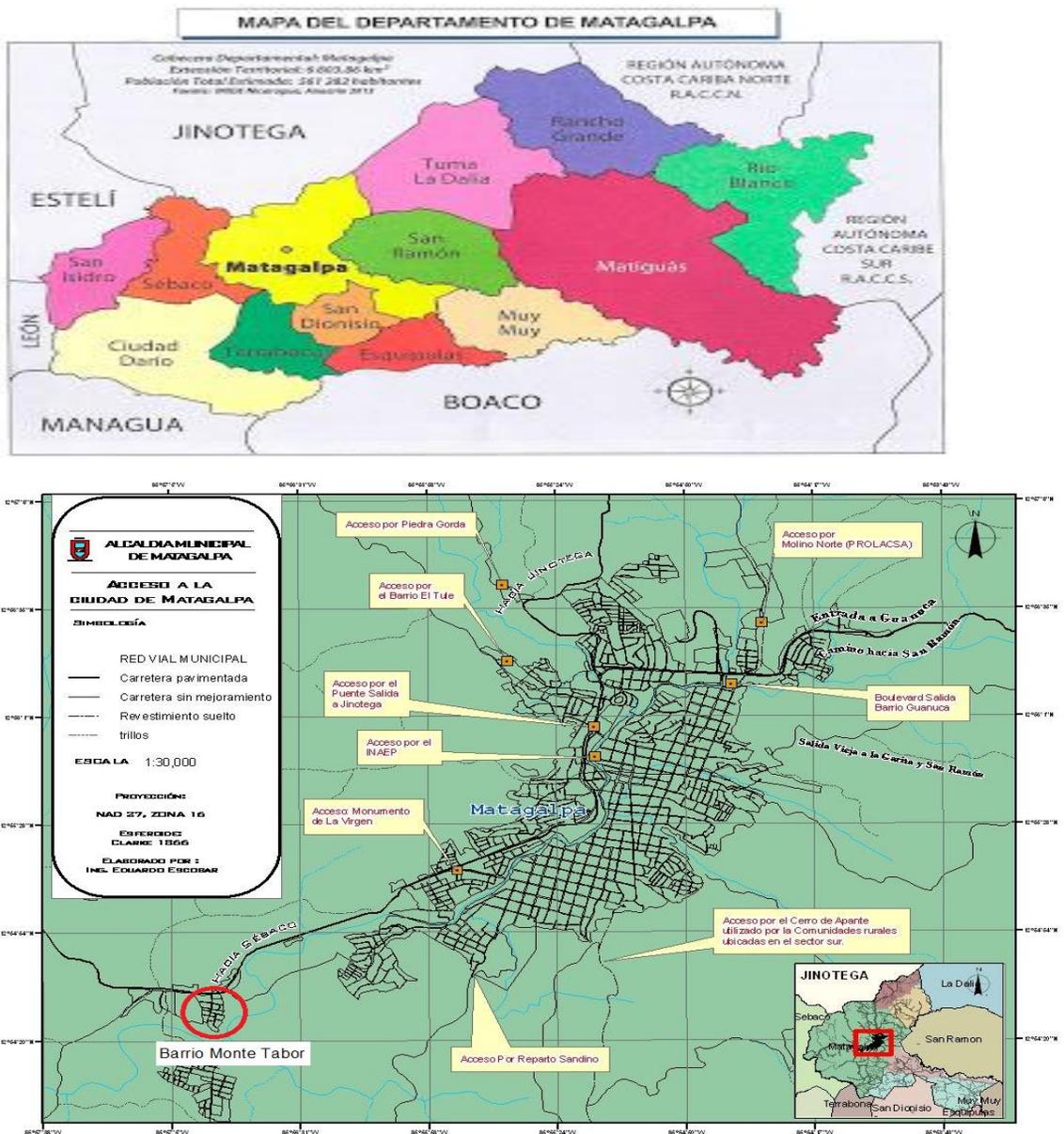
- Realizar el levantamiento topográfico del barrio Monte Tabor, para definir la rasante óptima.
- Diseñar geométricamente las calles del barrio Monte Tabor utilizando las normas de Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004).
- Determinar propiedades físico-mecánicas del tramo mediante la toma de muestras alteradas para establecer el uso adecuado en la estructura de pavimento.
- Hacer un estudio de tránsito mediante conteos manuales con el fin de obtener la carga que actuará en la estructura de pavimento.
- Determinar los espesores de la estructura de pavimento articulado por el método AASHTO 93.

1.5. Ubicación del proyecto

El Barrio Monte Tabor se encuentra ubicado a las afueras de la ciudad de Matagalpa, Departamento de Matagalpa.

1.5.1. Macro Localización

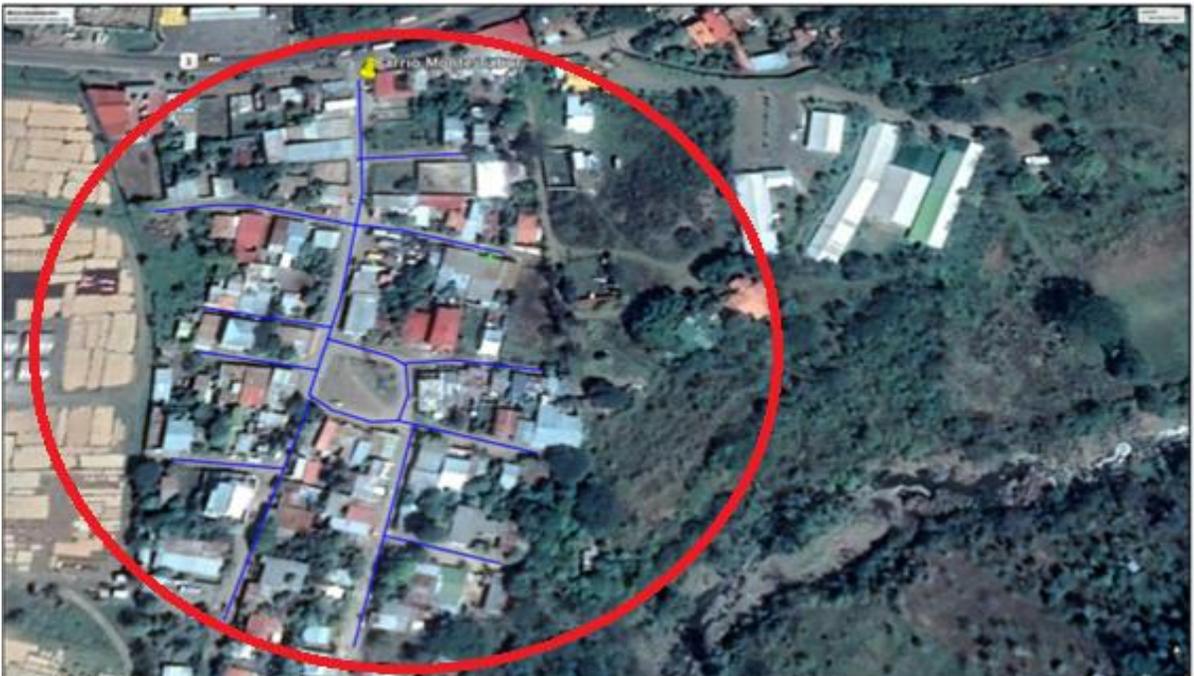
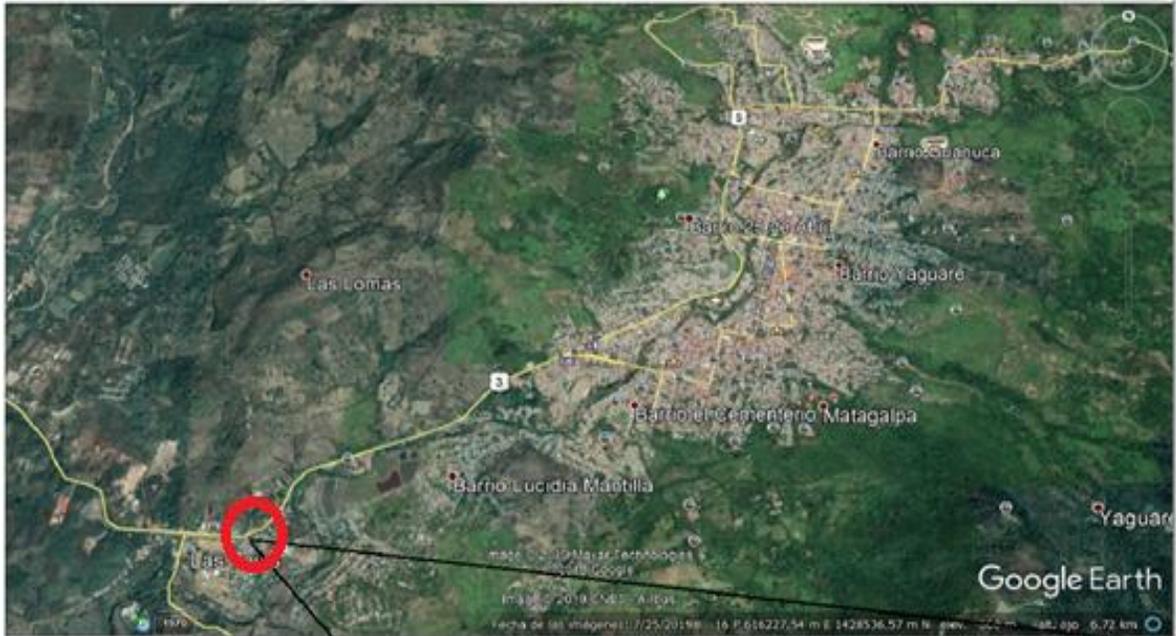
Imagen No.1 Macro localización.



Fuente: Elaboración propia

1.5.2. Micro localización

Imagen No. 2 Micro localización.



Fuente: Google earth.

CAPÍTULO II

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



2.1. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico es el conjunto de diversas operaciones realizadas con instrumentos especiales, cuya finalidad es la determinación de la posición relativa de los puntos relevantes localizados sobre la superficie de la tierra o a poca altura sobre ella. El resultado de dichas operaciones es la medición de distancias y ángulos horizontales y verticales, así como la ubicación de puntos sobre el terreno; todo ello representado gráficamente a través de un mapa topográfico.

El levantamiento topográfico es el punto de partida para poder realizar toda una serie de etapas básicas dentro de la identificación y señalamiento del terreno a edificar, como levantamiento de planos (planimétricos y altimétricos), replanteo de planos, deslindes, amojonamientos y demás. Existen dos grandes modalidades: Planimetría y altimetría.

2.1.1. Planimetría

La planimetría sólo tiene en cuenta la proyección del terreno sobre un plano horizontal imaginario (vista en planta) que se supone que es la superficie media de la tierra; esta proyección se denomina base productiva y es la que se considera cuando se miden distancias horizontales y se calcula el área de un terreno.

2.1.2. Altimetría

Es la parte de la topografía que se encarga a medir las alturas, estudia los métodos y técnicas para la representación del relieve del terreno, así como para determinar y representar la altura; también llamada "cota", de cada uno de los puntos, respecto de un plano de referencia.

2.1.3. Nivelación compuesta

Es la nivelación más corriente y de más frecuente uso en la práctica diaria y no es más que una sucesión de varias nivelaciones simples. En la nivelación compuesta el aparato no permanece en un mismo sitio, sino que va trasladándose a diversos puntos desde cada uno de los cuales se toman nivelaciones simples que van ligándose entre sí por los llamados Puntos de Cambio (PC) o Puntos de Liga (PL).

2.2. Levantamiento topográfico Barrio Monte Tabor

Con el objetivo de realizar la planimetría y altimetría del barrio, se hizo el levantamiento topográfico con teodolito para obtener ángulos horizontales (**Ver Anexos Fotografía No.2, Pág. III**), plomada, cinta para obtener las distancias, y con el objetivo de obtener las elevaciones se ocupó, un nivel marca WILD Heerbrugg N10-60331 (**Ver Anexos Fotografía No.3, Pág. III**), estadia tomando en consideración un BM-1 con una cota asumida igual a 100 en la entrada principal, siendo este Banco de marca (BM) una válvula de agua colocada cerca de la entrada, para poder corroborar las elevaciones en un punto más alejado se asignó un BM-2, para obtener las coordenadas UTM de cada punto se ocupó GPS.

Se plantó el equipo en la entrada principal al barrio, el cual se amarró al norte magnético, y se comenzó a radiar y obtener cada uno de los ángulos de este, recogiendo con ellos, la mayor cantidad de información posible del lugar, tales como ubicación de postes telefónicos, de luz, pozos de visita, y cunetas donde se encontraban, en calles donde no había cunetas se plantaron estacas, y se fueron colocando cada 20 metros, en casos donde había que recoger mayor de cantidad de información debido a formaciones rocosas sobre la rasante de lugar, se sacaron distancias a menor medida, tal como 10 metros.

El método utilizado para sacar las elevaciones de cada punto fue la nivelación compuesta, primeramente, definido un BM, se colocó el nivel en un punto x, se

tomó lectura trasera obteniéndose al sumarse esa elevación la altura del instrumento, posteriormente conociendo la altura del instrumento, se procedió a tomar las lecturas frontales y restarlas con la altura de instrumento para así obtener la cota de cada punto tomado.

Tabla No. 1 Resumen de Estaciones de Levantamiento Topográfico

Ubicación del barrio:		Km. 126 carretera Sébaco-Matagalpa		
Coordenada Inicial (Ref. Kilometraje):	X= 614061.0000	Y= 1427383.0000	Z= 101.540	
Ubicación del barrio (PI1):	X= 614069.7303	Y= 1427366.5868	Z= 100.075	
Longitud del barrio:	1085 metros lineales			

Estación	Línea	Rumbo	Distancia (m)	Coordenadas UTM			Descripción
				X	Y	Z	
PI-1				614069,7303	1427366,5868	100,075	Punto inicial
PI-2	PI1 - PI2	S 01° 53' 29.56" E	43,63	614071,1709	1427322,9662	99,702	Eje de Calle–Calle principal
PI-3	PI2 - PI3	S 01° 00' 50.65" E	34,36	614071,779	1427288,6116	99,275	Eje de Calle–Calle principal
PI-4	PI3 - PI4	S 09° 25' 09.31" W	40	614065,2327	1427249,1509	98,915	Eje de Calle–Calle principal
PI-5	PI4 - PI5	S 09° 05' 09.76" W	17	614062,5481	1427232,3642	98,796	Eje de Calle–Calle principal
PI-6	PI5 - PI6	S 10° 19' 08.63" W	18,6	614059,2163	1427214,0651	99,153	Eje de Calle–Calle principal
PI-7	PI6 - PI7	S 16° 44' 09.81" W	18,47	614053,8976	1427196,3774	100,046	Eje de Calle–Calle principal
PI-8	PI7 - PI8	S 78° 00' 50.85" E	11,68	614065,3230	1427193,9518	100,536	Eje de Calle–Calle principal
PI-9	PI8 - PI9	S 77° 57' 50.46" E	23	614087,8174	1427189,1557	101,101	Eje de Calle–Calle principal
PI-10	PI9 - PI10	S 84° 20' 51.41" E	10,55	614098,3161	1427188,1166	101,316	Eje de Calle–Calle principal
PI-11	PI10 - PI11	N 03° 05' 50.64" W	32,8	614096,5438	1427220,8687	100,127	Eje de Calle–Calle principal

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

DISEÑO GEOMÉTRICO



3.1. Introducción

Se encarga de determinar las características geométricas de una vía a partir de factores como el tránsito, topografía, velocidades, de modo que se pueda circular de una manera cómoda y segura. El diseño geométrico de una carretera está compuesto por tres elementos bidimensionales que se ejecutan de manera individual, pero dependiendo unos de otros, y que al unirlos finalmente se obtiene un elemento tridimensional que corresponde a la vía propiamente. Estos tres elementos son:

- **Alineamiento horizontal:** Compuesto por ángulos y distancias formando un plano horizontal con coordenadas norte y este.
- **Alineamiento vertical:** Compuesto por distancias horizontales y pendientes dando lugar a un plano vertical con abscisas y cotas.
- **Diseño transversal:** Consta de distancias horizontales y verticales que a su vez generan un plano transversal con distancias y cotas.

3.2. Clasificación funcional para diseño geométrico del barrio

De acuerdo a los criterios de diseño requeridos a utilizar en el barrio, se clasificó la vía por dos métodos. El primero por el Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA) y el segundo por el Libro Verde AASHTO 2011, Diseño Geométricos de Caminos y Calles. Utilizando este último como base principal de diseño, ya que sus criterios de diseño encajan perfectamente con el diseño de nuestro proyecto.

3.2.1. Según el Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las carreteras Regionales (SIECA)

Tabla No. 2 Clasificación de vía por medio de la SIECA

No.	DESCRIPCIÓN	AUTOPISTAS	TRONCALES		COLECTORAS	
		REGIONALES	Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500
2	VHP, vehículos por hora	>2,000	2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92	0.92	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 o Directriz, Km/hora	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50
7	Número de carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2
8	Ancho de carril, metros	3.6	3.6	3.6	3.3-3.6	3.3
9	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de las carreteras Regionales (SIECA) Pág. 13.

Clasificado por la SIECA, se concluyó que la vía es Colectora Suburbana con clasificación funcional: Troncal Suburbana - Colectora Suburbana (TS-CS), con un vehículo de diseño WB-15, un tipo de terreno plano y velocidad de diseño de 70 km/hora. **Sin embargo, este criterio no se utilizará para diseño final, ya que este es brindado para carreteras, y el dado por el libro verde de la AASHTO 2011, es para calles y caminos locales.**

3.2.2. Según Libro Verde AASHTO 2011, Diseño Geométricos de Caminos y Calles.

Según el libro verde de la AASHTO 2011, su clasificación vial es: Calle Urbana Local.

Calle Urbana Local:

Una calle urbana local es una vía pública para el recorrido vehicular, incluyendo el transporte público y el tránsito de peatones y bicicletas. La calle incluye toda el área en la servidumbre de paso a la derecha y por lo general tiene capacidad para instalaciones de utilidad pública, en la zona de camino. El desarrollo o el mejoramiento de las calles se deben basar en una clasificación funcional de la calle que forma parte de un plan integral de desarrollo comunitario. Los criterios de diseño deben ser apropiados para el desarrollo en última instancia que estaba previsto.

Clasificaciones funcionales más urbanas incluyen tres tipos de calles: arterias, colectores, y las rutas de acceso local. Este tipo de clasificación no presenta un análisis completo de todos los criterios de diseño que se aplican a las calles rurales locales.

Las características de diseño de calles urbanas locales están limitadas por las limitaciones prácticas en mayor medida que los de caminos similares en las zonas rurales. Los dos principales controles de diseño son (1) el tipo y el grado de desarrollo urbano, que a menudo limita la zona de camino disponible, y (2) la zonificación o reglamentarias restricciones. Algunas calles sirven principalmente para dar acceso a las zonas de viviendas adyacentes.

En tales casos, la consideración fundamental es fomentar un ambiente de la comunidad, mientras que la comodidad del conductor es secundaria. Otras calles locales no sólo dan acceso a un desarrollo adyacente, pero también sirven limitado a tránsito directo. Nivel operativo de tránsito de servicio puede ser una preocupación importante en las calles.

En las calles que sirven zonas industriales o comerciales, las dimensiones de los vehículos, los volúmenes de tránsito, y un montón de vehículos son muy diferentes de los de las calles residenciales, y los diferentes valores de diseño dimensional y estructural son las adecuadas. Los principales controles de diseño para tales calles están destinados a dar operaciones eficientes. Cuando una característica de diseño particular varía dependiendo de la zona servida, tales como residencial, comercial, o industrial, diferentes pautas de diseño se presentan para cada condición. El proyectista debe ser informado de los decretos y resoluciones que afectan a ciertas características de diseño locales.

3.3. Componentes principales del diseño geométrico

3.3.1. Vehículo de Diseño

Los vehículos de diseño son los vehículos automotores predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por las carreteras regionales, por lo que, al tipificar las dimensiones, pesos y características de operación de cada uno de ellos, se brinda al diseñador los controles y elementos a los que se deben ajustar los diseños para posibilitar y facilitar su circulación irrestricta. De cada tipo de vehículo utilizado para diseño, se seleccionan a propósito para adoptar las condiciones más desfavorables, aquellos de mayores dimensiones físicas y de radios de giro mayores dentro de su clasificación tipológica.

En la parte correspondiente al estudio de tráfico en lo general, hemos expuesto los tipos de vehículos que hacen mayor presencia en la vía, y en todo caso apartando los vehículos livianos como el automóvil, camioneta, jeep, y otros, el camión C2 de los pesados de carga es el que cuenta con mayor presencia, como resultado de los estudios de tráfico realizados para el proyecto; esto debido a que las características del barrio tal a como se encuentra en la actualidad, no permite que vehículos más grandes operen sobre la vía. **En anexos, Imagen No.34, Pág. IV**, se presenta esquema de las características estructurales funcionales-operativas del vehículo de diseño.

3.3.2. Velocidad directriz

Velocidad directriz no es un factor importante para las calles urbanas locales porque en la parrilla típica de la calle, las intersecciones muy próximas entre sí suelen limitar las velocidades vehiculares. Para mantener la coherencia en los elementos de diseño, velocidad directriz de 30 a 50 km/h pueden usarse, dependiendo de zona de camino, presencia disponible terreno probable peatonal, el desarrollo adyacente, y otros controles de la zona. Dado que la función de calles locales es facilitar el acceso a la propiedad adyacente, todos los elementos de diseño deben ser coherentes con el carácter de la actividad en y al lado de la calle, y deben animar a velocidades por lo general no superior a 50 km/h.

Velocidad de Diseño = 30 km/h

3.3.3. Volumen de tránsito de diseño

El volumen de tránsito es un factor importante para las calles que sirven a áreas industriales o comerciales. El TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) proyectado a un futuro año de diseño debe ser la base de diseño. Por lo general, es difícil y costoso modificar el diseño geométrico de una calle existente salvo disposición en el momento de la construcción inicial. Los volúmenes de tránsito de diseño en dichas zonas deben ser estimadas por lo menos a 10 años, y preferiblemente de 20 años, en el futuro.

3.3.4. Pendientes

Las pendientes de las calles residenciales locales deben estar lo más nivelada, a la conformidad con el terreno circundante. Las pendientes de las calles residenciales locales deberían ser inferiores al 15%. Cuando sean necesarios los pendientes de 4% o más elevadas, el diseño de drenaje puede llegar a ser crítica. En dichas clases, el cuidado especial se debe tomar para evitar la erosión en las laderas y las instalaciones de drenaje abierto.

3.3.5. Peralte

El peralte en las curvas horizontales puede ser ventajoso para las operaciones de tránsito locales de la calle en lugares específicos, pero en las zonas urbanizadas de la combinación de áreas de pavimento anchas, la cercanía del desarrollo contiguo, control de pendiente transversal, el perfil para el drenaje, la frecuencia de cruce de calles, y otras características urbanas a menudo se combinan para hacer que el uso de peralte impracticable o indeseable. Por lo tanto, peralte normalmente no se da en las calles locales de las zonas residenciales y comerciales, ya que puede ser considerado en las calles locales en las zonas industriales para facilitar la operación.

Si se usa peralte, las curvas de la calle deben estar diseñadas para una tasa de peralte máximo de 4%. Si el terreno dicta curvatura aguda, un tipo de peralte máximo de 6% puede estar justificado si la curva es suficiente para dar una transición sin peralte adecuado.

3.3.6. Distancia de visibilidad

Es la longitud de la carretera, que un conductor ve continuamente delante de él cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables. Se consideran dos distancias de visual de parada y distancia visual de rebase.

3.3.6.1. Distancia visual de parada

Distancia visual de parada de las calles locales mínimo debe oscilar entre 30 y 60 m, dependiendo de la velocidad directriz (**véase la Imagen No 3, Pág 16.**).

Imagen No. 3 Controles de diseño para distancia visual de detención y para curvas verticales convexas y cóncavas

Initial Speed (km/h)	Design Stopping Sight Distance (m)	Rate of Vertical Curvature, K^o (m/%)	
		Crest	Sag
20	20	1	3
30	35	2	6
40	50	4	9
50	65	7	13
60	85	11	18
70	105	17	23
80	130	26	30
90	160	39	38
100	185	52	45

Fuente: Libro Verde AASHTO 2011, Diseño Geométricos de Caminos y Calles. Tomo II, Capítulo 5, pág. 4.

K, es el índice de curvatura, siendo esta la longitud (L) de la curva de las pendientes (C) $K = L/C$

3.3.6.2. Distancia visual de rebase

Es la distancia que se necesita para que un vehículo pueda adelantar a otro que circula el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercero que se aproxime en sentido contrario y se haga visible cuando se inicia la maniobra. El diseño para la distancia visual de rebase, rara vez se aplica en las calles locales.

Imagen No. 4 Controles de diseño de las curvas verticales convexas basados en la distancia visual de rebase.

Design Speed (km/h)	Design Passing Sight Distance (m)	Rate of Vertical Curvature, K^o (m/%)
30	120	17
40	140	23
50	160	30
60	180	38
70	210	51
80	245	69
90	280	91
100	320	119

Fuente: Libro Verde AASHTO 2011, Diseño Geométricos de Caminos y Calles. Tomo II, Capítulo 5, pág. 4.

K, es el índice de curvatura, siendo esta la longitud (L) de la curva de las pendientes (A) $K = L/A$ por el porcentaje de la diferencia algebraica.

3.3.7. Pendiente transversal o bombeo

Bombeo: Es la pendiente transversal de la corona en los tramos rectos del alineamiento horizontal hacia uno u otro lado del eje para evacuar las aguas lluvias de la vía y evitar el fenómeno de hidropelaje. El bombeo apropiado debe permitir un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente, a fin de que el conductor no tenga sensaciones de incomodidad e inseguridad.

Pendiente transversal del pavimento debe ser suficiente para dar un drenaje adecuado. Normalmente las pistas de fondo varían de 1,5 a 2% para superficies pavimentadas y 2 al 6% para superficies no pavimentadas donde hay banquetas ras. Donde hay cordones exteriores, pendientes transversales más pronunciadas que las directrices dadas anteriormente por aproximadamente 0,5 a 1% son deseables para el carril de al lado de la vereda.

Para las superficies no pavimentadas, tal como estabilizado o grava suelta o superficies de tierra estabilizada, una pendiente transversal 3% es deseable.

3.3.8. Alineamiento Horizontal

Está constituido por una serie de líneas rectas, definidas por la línea preliminar, enlazados por curvas circulares o curvas de grado de curvatura variable de modo que permitan una transición suave y segura al pasar de tramos rectos a tramos curvos y viceversa.

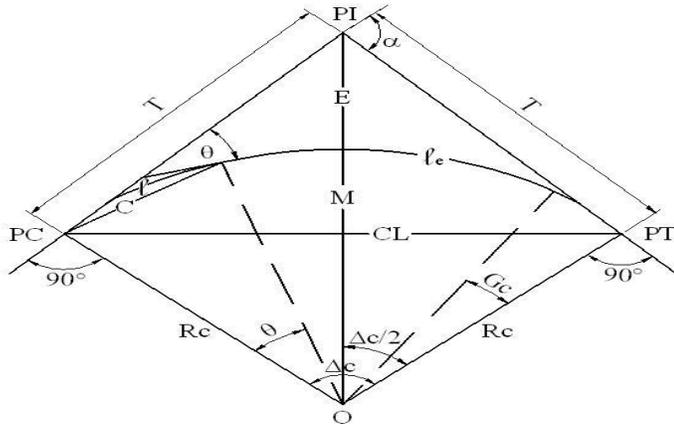
En el siguiente inciso se ocupará la SIECA para el cálculo de curvas circulares.

3.3.8.1. Curvas Circulares Simple

Para unir dos tangentes (rectas) consecutivas se pueden usar curvas circulares, el diseño de éstas debe satisfacer condiciones de seguridad, las cuales quedan

determinadas por sus características, tales como: velocidad de proyecto, grado de curvatura, sobreelevación, ampliación, visibilidad, etc.

Imagen No. 5 Elementos de una curva circular simple.



Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA, 2004).

Sus elementos son:

PI: Punto de intersección de la prolongación de las tangentes

PC: Punto en donde empieza la curva simple

PT: Punto en donde termina la curva simple

α: Angulo de deflexión de las tangentes

Δc: Angulo central de la curva circular

θ: Angulo de deflexión a un punto sobre la curva circular

Gc: Grado de curvatura de la curva circular

RC: Radio de la curva circular

T: Tangente de la curva circular o sub-tangente

E: Externa (E)

M: Ordenada (M)

CL: Cuerda larga

I: Longitud de un arco

le: Longitud de la curva circular

➤ **Tangente de curva o sub tangente**

Es la distancia entre el PI y el PC ó entre el PI y el PT de la curva, medida sobre la prolongación de las tangentes. Se representa con la letra “**T**” y su fórmula de cálculo es:

$$T = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad \text{Ecuación No. 1}$$

➤ **Grado de curvatura:** El grado de curvatura constituye un valor significativo en el diseño del alineamiento. Se representa con la letra GC y su fórmula es la siguiente:

$$Gc = \frac{1145.92}{R} \quad \text{Ecuación No. 2}$$

➤ **Radio de curvatura:** Es el radio de la curva circular y se identifica como “R” su fórmula en función del grado de curvatura es:

$$R = \frac{1145.92}{Gc} \quad \text{Ecuación No. 3}$$

➤ **Longitud de la curva:** Es la longitud del arco entre el PC y el PT. Se lo representa como l_c y su fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$l_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

➤ **Externa:** Es la distancia mínima entre el PI y la curva. Se representa con la letra “**E**” y su fórmula es:

$$E = \frac{R}{\cos \Delta/2} - R$$

Ecuación No. 5

- **Ordenada media (M):** Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva. Se representa con la letra “**M**” y su fórmula de cálculo es:

$$M = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2}\right)$$

Ecuación No. 6

Si los dos puntos de la curva son el **PC** y el **PT**, a la cuerda resultante se la llama **Cuerda larga**. Se la representa con las letras “**CL**” y su fórmula es:

$$CL = 2 * R * \sin \frac{\Delta}{2}$$

Ecuación No. 7

3.4. Elementos de la sección transversal

La sección transversal de una carretera corresponde a un corte vertical normal al eje del alineamiento horizontal, definiendo la ubicación y dimensiones de cada uno de los elementos que conforman dicha carretera en un punto cualquiera y su relación con el terreno natural.

3.4.1. Ancho de calzada

Carriles de la calle para mover el tránsito de preferencia debe ser 3 a 3,3 m de ancho, y en zonas industriales deben ser 3.6 m de ancho. Cuando el ancho de zona-de camino disponible o alcanzable impone graves limitaciones, 2,7 m de carriles se pueden usar en zonas residenciales y 3,3 m de carriles se pueden usar en las zonas industriales. Añadido carriles de giro, cuando se utilicen en las intersecciones debe ser de al menos 2,7 m de ancho, y, deseablemente, 3 y 3,6 m de ancho, dependiendo del porcentaje de camiones.

3.4.2. Rasante

En la sección transversal está representada por un punto que indica la altura de la superficie de acabado final de la vía en el eje. En el diseño vertical corresponde a una línea, que al interceptarla con un plano vertical perpendicular al eje se obtiene el mencionado punto.

3.4.3. Medianas

Las calles urbanas locales a menudo no tienen las medianas. Sin embargo, cuando las medianas se dan en las calles urbanas locales, principalmente para mejorar el ambiente y para actuar como franjas de protección. Estas franjas de protección deben ser diseñadas para minimizar la interferencia con el acceso a la tierra contigua al camino.

3.5. Diseño Geométrico realizado en AutoCAD Civil 3D

El diseño consta de la realización de 11 calles transversales del barrio Monte Tabor, ubicado en el departamento de Matagalpa. El barrio contiene su carpeta de adoquín en la calle principal, el objetivo de este diseño consiste en realizar el diseño de secciones para colocar la carpeta de rodadura (pavimento articulado) en sus calles restantes. **Ver Imagen No.33 Leyendas de calles del barrio Monte Tabor.**

3.5.1. Importación de puntos

Para la obtención de coordenadas UTM de cada punto levantando en el estudio topográfico, se utilizó un GPS para sacar las coordenadas exactas en diversos puntos. Una vez realizado el levantamiento con la herramienta AutoCAD, ésta nos brindó todas las coordenadas X, Y para importarlas a Civil 3D, la coordenada Z encargada de la elevación de los puntos de igual manera se obtuvo mediante la altimetría realizada en el estudio topográfico.

Una vez importado los puntos de todo el barrio en Civil 3D, se creó una superficie de elevaciones, mostrando las diferencias de cotas de dicho barrio **(Véase en anexos, imagen No.35, Pág. V)**

3.5.2. Alineamiento Horizontal

Consiste en trazar una línea que una todos los puntos correspondientes a línea central y de borde para tener una idea más clara del comportamiento y del ancho actual de calle.

Una vez creadas y unidas todas las rectas se realizó el alineamiento a partir de la poli línea creada (conjunto de rectas creadas y unidas entre sí), introduciendo todos los criterios de diseño para el alineamiento horizontal como son velocidad de diseño=30 km/h mencionado en el inciso 3.3.2, **Pág.14** Dado por la AASHTO 2011, Diseño Geométrico de caminos y calles, capítulo 5: Caminos y Calles Locales. **Ver en Anexos. Imagen No.36, Pág. VI).**

De igual manera, citando la AASHTO 2011, el cálculo de peralte normalmente no se da en las calles locales de las zonas residenciales y comerciales, ya que puede ser considerado en las calles locales en las zonas industriales para facilitar la operación.

3.5.3. Alineamiento Vertical

Para el trazado y diseño del alineamiento vertical en el programa Civil 3D se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Crear la vista del perfil longitudinal a lo largo de todo el eje central del camino a partir de la superficie del terreno.

Perfil longitudinal: Es la representación gráfica del corte que produce en el terreno el plano vertical que contiene el eje de una obra lineal. **Ver en Anexos. Imagen No.37 Pág. VI).**

- Marcar todos los posibles PI de las curvas presentes para que sirvan de guía, al trazar la rasante del camino.

En este perfil se relaciona altimétricamente la **rasante** o línea teórica que se quiere conseguir con la traza o línea real del terreno. **Ver en Anexos. Imagen No.38, Pág. VII).**

- Crear la rasante lo más cercano posible a los niveles actuales del camino y crear sus respectivas curvas, a partir de los criterios de diseño mostrados en la AASHTO 2011, los cuales están basados en los valores K para diseño a partir de la distancia visual de parada y de rebase.

3.5.4. Obra lineal o Corredor

AutoCAD Civil 3D dispone del módulo "Modelado de obra lineal" para la generación de modelos tridimensionales de obras lineales como carreteras convencionales, vías del alta capacidad o de otras modalidades de transporte como los ferrocarriles. **Ver en Anexos. Imagen No.39, Pág. VII).**

3.5.4.1. Target

Los Target u objetivos son necesarios cuando la geometría de uno o varios sub ensamblajes de un ensamblaje requieren objetivos de superficie, desfase o elevación correspondientes para definir esa geometría.

Dado a que los anchos de calle son variables en todos sus puntos; es decir, las calles del barrio ya tienen su ancho definido, dando como resultado, que el ancho de entrada de calle, no es el mismo al ancho de fin de calle. Se utilizó la herramienta Target para respetar los anchos variables en todo el transcurso de la calle y la sección típica en diseño llegase a su limitante, o sea la cuneta existente. **Ver en Anexos. Imagen No.40, Pág. VIII).**

3.5.5. Sección transversal

La sección transversal de un camino o carretera, es un corte vertical normal al alineamiento horizontal. Los elementos que la integran y definen son:

- Calzada: es la parte de la corona destinada al tránsito de los vehículos y construida con uno o más carriles.
- Sub-corona: es la superficie que limita las terracerías y sobre lo que apoyan las capas del pavimento.
- Rasante: es la línea obtenida al proyectar el alineamiento vertical del camino.
- Subrasante: es la proyección sobre el plano vertical del desarrollo del eje de Sub-corona.

3.5.5.1. Definición de la Sección Transversal Típica de la Vía y los Elementos que la Conforman

Sección transversal típica

Para los tramos de calles, obedece principalmente a los requerimientos mínimos con que debe contar una vía según las especificaciones AASHTO 2011.

Se realizaron 3 tipos de secciones típicas, de acuerdo a las condiciones y limitantes que poseen las calles del barrio.

A como se menciona en el inciso **3.4.1, Pág.20**. Los carriles de calle para mover el tránsito de preferencia deben ser 3 a 3,3 m de ancho. Cuando el ancho de zona de camino disponible o alcanzable impone graves limitaciones, su ancho de carril varía dependiendo la geometría del lugar.

3.5.5.2. Sección transversal típica No.1

La sección transversal típica No.1 propuesta, se empleó en la calle 20 (**Ver Imagen No.33 Leyenda de calles del barrio Monte Tabor**), dicha calle no contaba con cunetas ni andén peatonal. Está constituida por los siguientes elementos geométricos para brindar el servicio de rodamiento:

Dos carriles de rodamiento de 3 m de ancho, constituidos a base de una estructura de pavimento de adoquines. Según el inciso **3.3.7, Pág.17** nos dice la AASHTO 2011 que un bombeo al 3% es recomendable.

3.5.5.2.1. Diseño de cuneta

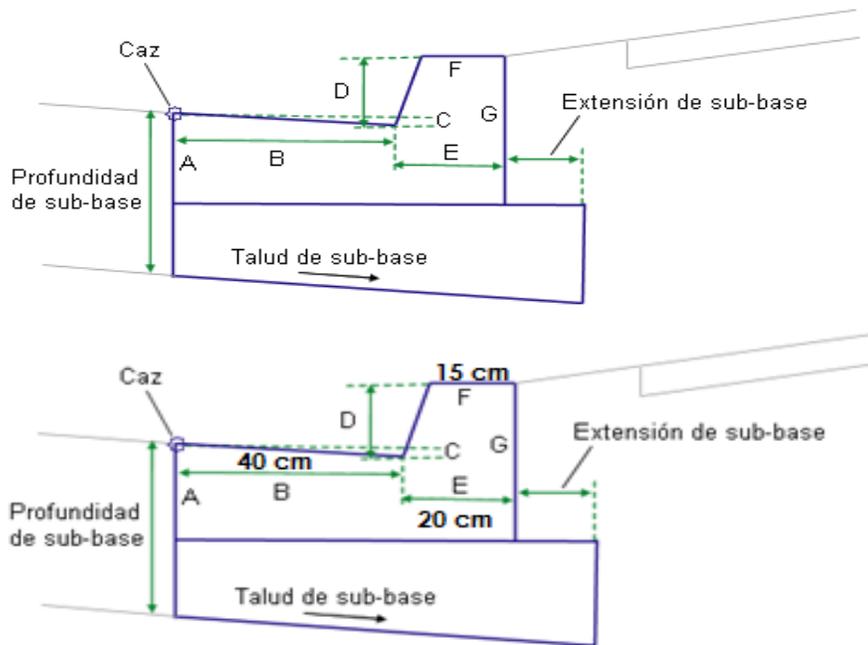
Las cunetas son zanjas abiertas y longitudinales, construidas en concreto o en tierra, que tienen la función de recoger y canalizar las aguas superficiales y de infiltración y conducir las hasta un punto de fácil evacuación.

Tabla No. 3 Dimensiones de cuneta propuesta en el diseño.

Talud del Caz	-2.50 %	
Profundidad de Sub-base	0.25 m	
Extensión de Sub-base	0.10 m	
Método de Talud de Sub-base	Talud de carril exterior	
Talud de Sub-base	-2.50 %	
Dimensión A	175.000 mm	17.5 cm
Dimensión B	400.000 mm	40 cm
Dimensión C	25.000 mm	2.5 cm
Dimensión D	150.000 mm	15 cm
Dimensión E	200.000 mm	20 cm
Dimensión F	150.000 mm	15 cm
Dimensión G	325.000 mm	32.5 cm

Fuente: Elaboración propia, AutoCAD, Civil 3D.

Imagen No. 6 Diseño típico de cuneta



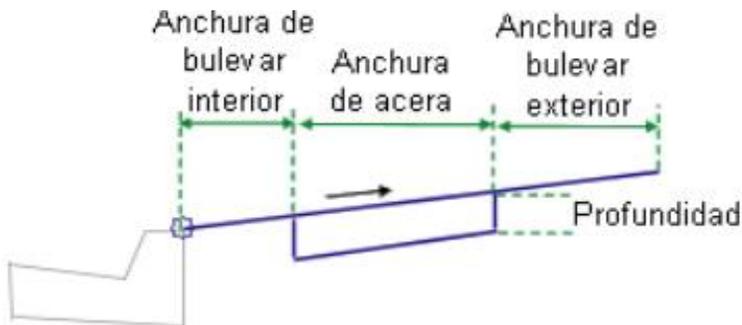
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD, Civil 3D.

Para más detalles de dimensiones propuestas de la cuneta. **Ver en Anexos. Imagen No.41, Pág. VIII).**

3.5.5.2.2. Diseño de acera o andén peatonal

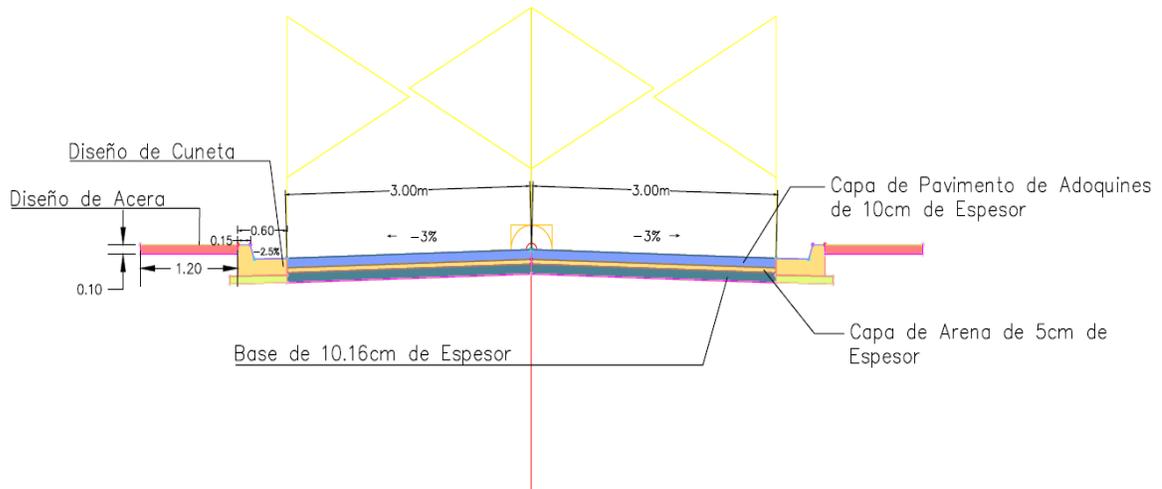
El diseño propuesto para este ensamblaje, es una acera básica de 1.20 metros de ancho x 0.10 metros de profundidad.

Imagen No. 7 Diseño de acera



Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

Imagen No. 8 Sección típica propuesta No.1



Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

A como se muestra en la **Imagen No. 8** La sección típica de la calle 20, contiene 3 tipos de espesor de pavimento, los cuales son:

- Capa de rodamiento: Adoquín = 10 cm
- Capa de arena = 5 cm
- Base = 10.16 cm

Los espesores utilizados en las secciones, se calcularon en el capítulo VI. Por el método de la AASHTO 93.

Otros datos:

Ancho de carril = 3 m

Bombeo = 3%

3.5.5.3. Sección transversal típica No.2

La sección transversal propuesta No. 2, comprende solamente los espesores de pavimento, ya que en las calles donde se implementó, existen cunetas y andenes

peatonales (**Ver Anexos Fotografía No.4, Pág. IX**). De igual manera los espesores con los que cuenta esta sección son los siguientes:

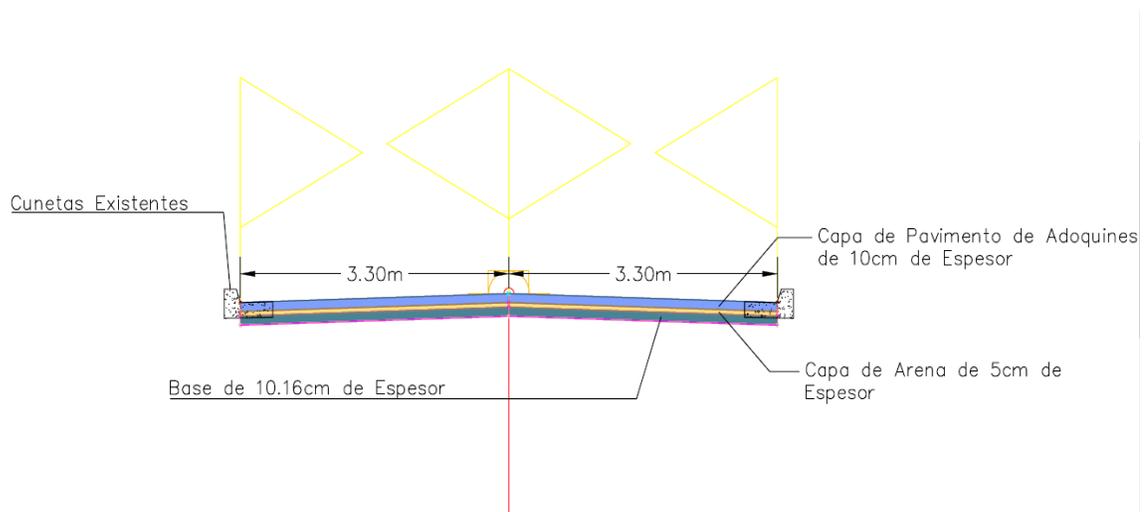
- Capa de rodamiento: Adoquín = 10 cm
- Capa de arena = 5.08 cm
- Base = 10.16 cm

Se propuso un ancho de carril de 3.3 m, ya que estas calles son las más grandes del barrio. Aunque en el transcurso de ella, el ancho varía de principio a fin.

Los bombeos varían en todos sus puntos, ya que la sección se acomodó a las cunetas existentes, y a las pendientes del terreno. **Ver Planos Secciones transversales.**

Las calles que se utilizó esta sección fueron: Calle 70 y Calle 90. **Ver Imagen No.33 Leyenda de calles del barrio Monte Tabor.**

Imagen No. 9 Sección típica No. 2



Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

3.5.5.4. Sección transversal típica No.3

Al igual que la sección típica anterior, esta solamente comprende los espesores de pavimento antes mencionados.

- Capa de rodamiento: Adoquín = 10 cm
- Capa de arena = 5.08 cm
- Sub base = 10.16 cm

Se propuso un ancho de carril de 3 metros ya que estas calles son las más pequeñas, y sus anchos varían entre 2.7 a 3.10 metros, y según la AASHTO nos dice en el inciso 3.4.1 que si el camino impone variaciones, su ancho de carril puede llegar hasta 2.7 metros.

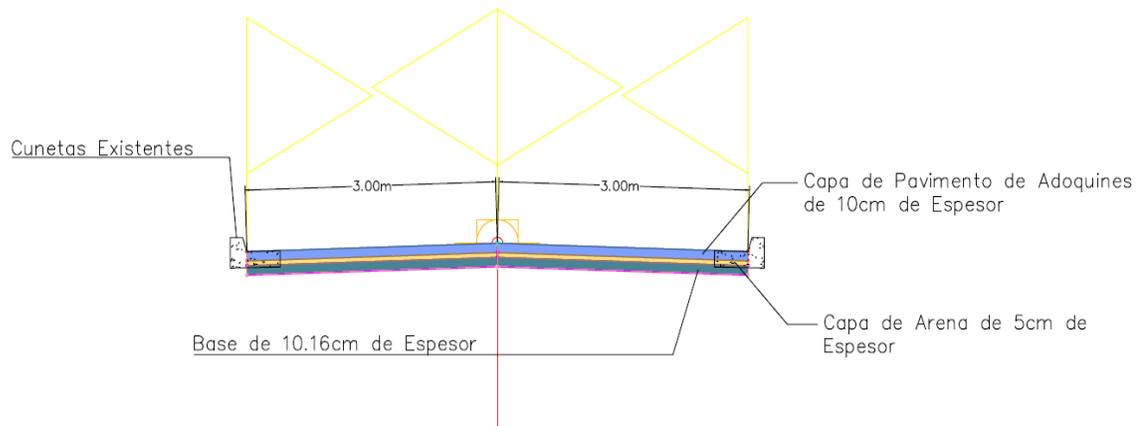
Los bombeos varían en todos sus puntos, ya que la sección se acomodó a las cunetas existentes, y a las pendientes del terreno. **Ver Planos Secciones transversales en Anexos.**

Las calles que se utilizó esta sección fueron:

Calle 30, Calle 40, Calle 50, Calle 60, Calle 80, Calle 100, Calle 110, Calle 120.

Ver Imagen No.33 Leyenda de calles del barrio Monte Tabor.

Imagen No. 10 Sección típica No. 3



Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

Partiendo de lo planteado anteriormente se crearon las secciones transversales en el programa Civil 3D **Ver en Anexos. Imagen No.42, Pág. IX**). Incorporando cada uno de los elementos antes mencionados en este capítulo.

3.6. Señalización Vial

Bajo este título se analizaron las condiciones y ubicación de los dispositivos de control del tránsito, se diseñó la señalización y demarcación de estas mismas en el barrio Monte Tabor.

En este apartado del trabajo, se tomaron en consideración las necesidades del barrio en estudio para proponer de manera profesional un sistema de señalización vertical y horizontal, para las calles del barrio Monte Tabor, ubicado en la ciudad de Matagalpa. Haciendo uso y cumpliendo con las especificaciones técnicas del Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (año 2014).

Los dispositivos para la regulación del tránsito indican a los usuarios las precauciones que deben tener en cuenta, las restricciones en el tramo de circulación y las informaciones estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la vía. En síntesis el propósito del señalamiento vial es permitir al conductor formar un juicio sobre su entorno para facilitar y garantizar el movimiento ordenado, seguro y predecible de todos los usuarios de la vía. Para garantizar la visibilidad de las señales y lograr la misma forma y color tanto en el día como en la noche, los dispositivos para la regulación del tránsito deben ser elaborados preferiblemente con materiales reflectivos o estar convenientemente iluminados.

La reflectividad se consigue fabricando los dispositivos con materiales adecuados que reflejen las luces de los vehículos, sin deslumbrar al conductor.

3.6.1. Señalización Horizontal

La señalización horizontal, corresponde a la aplicación de marcas viales, conformadas por líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordillos y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura, con el fin de regular, canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos. Las funciones que desempeñan son muy importantes para ubicar a los conductores en sus correspondientes espacios para circular, indicar los movimientos que pueden realizarse mediante las flechas direccionales, pasos de peatones, limitaciones de espacio y se vuelve más importante en los tramos donde no es permitido adelantar a otros vehículos, como es el caso de este estudio. Para que la señalización horizontal cumpla la función para la cual se usa, se requiere que se tenga uniformidad respecto a las dimensiones, diseño, símbolos, caracteres, colores, frecuencia de uso, circunstancias en que se emplea y tipo de material usado. Las marcas viales o demarcaciones deben ser reflectivas o estar debidamente iluminadas, excepto paso peatonal tipo cebra.

3.6.1.1. Clasificación

Por su uso, la demarcación se clasifica como sigue:

3.6.1.1.1. Demarcación de pavimentos

- Líneas de centro
- Líneas de carril
- Líneas de barrera
- Líneas de borde de pavimento
- Transiciones en el ancho del pavimento
- Líneas de canalización
- Aproximaciones a obstáculos
- Marcas de giros
- Líneas de parada

- Pasos para peatones
- Aproximaciones a pasos a nivel con vías férreas
- Zonas de estacionamiento
- Palabras y símbolos sobre el pavimento
- Marcas para regular el uso de la vía
- Otros dispositivos y marcas auxiliares

3.6.1.1.2. Demarcaciones para indicar restricción de estacionamiento

- Línea de borde amarilla
- Línea de borde roja
- Línea de borde verde
- Línea de borde azul

3.6.2. Señalización Vertical

Las señales verticales son dispositivos instalados a nivel del camino o sobre él, destinados a transmitir un mensaje a los conductores y peatones, mediante palabras o símbolos, sobre la reglamentación de tránsito vigente, o para advertir sobre la existencia de algún peligro en la vía y su entorno, y para guiar e informar sobre rutas, nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés y servicios. Deberían usarse solamente donde se justifiquen según un análisis de necesidades y estudios de campo, son esenciales donde rigen normativas especiales, tanto en lugares específicos como durante períodos de tiempo determinados, o donde los peligros no sean evidentes para los usuarios.

3.6.2.1. Requisitos de las Señales Verticales

Las señales verticales deben satisfacer una necesidad importante, llamar la atención, transmitir un mensaje claro, imponer respeto a los usuarios, guiar al usuario a lo largo del camino, y convencerlo de modificar su comportamiento al volante, estar en el lugar apropiado, a fin de dar tiempo para reacción.

De acuerdo a la función que cumplen se clasifican en:

Señales Preventivas: Advierten al usuario de la vía la existencia de una condición peligrosa y la naturaleza de ésta, exigen precaución de parte del conductor ya sea para disminuir la velocidad o para que efectúe otras maniobras que redundan en su beneficio y en el de otros conductores y peatones.

Señales Reglamentarias: Indican al usuario de la vía las limitaciones, prohibiciones y restricciones en el uso de la vía, según las leyes y reglamentos en materia de tránsito de cada país y cuya violación constituye un delito.

Señales Informativas: Orientan al usuario de la vía suministrándole la formación necesaria sobre identificación de localidades, destinos, direcciones, sitios de interés turístico geográficos, intersecciones, cruces, distancias por recorrer, prestación de servicios, etc. El empleo de las señales informativas debe efectuarse en las rutas de modo que guarden uniformidad.

3.7. Observaciones:

- Todas las calles contienen cunetas, a excepción de la calle 20, ésta no posee cunetas y aceras.
- Para la calle 20, se realizaron dichos diseños de cunetas y aceras.
- Los bombeos de las calles son variables ya que contienen cunetas existentes, esto quiere decir que la rasante y secciones típicas se ajustaron a ellas.
- Todas las calles poseen anchos variables, es decir, ningún ancho de calle es el mismo en todo el tramo de la calle.
- Las calles poseen pozos de visitas, estos quedaran a nivel por medio de su rasante. Mostrada en los perfiles longitudinales.

- En la calle 120 se quitó un poste de tendido eléctrico debido a su mala ubicación, ya que obstruye la vía de circulación.
- Los criterios de diseño de la AASHTO 2011, Capitulo de caminos y calles locales, nos dice que para calles urbanas locales no presenta un análisis completo de todos los criterios de diseño.
- Para todos los tramos en estudio, se realizó el diseño de alineamiento vertical, cumpliendo el criterio de distancia visual de parada en todos los planos de calles. La norma de la AASHTO 2011, incluye las tablas de K mínimo para distancia visual de parada y distancia visual de rebase (**ver Imagen No.3 e Imagen No.4**). Exceptuando los criterios de distancia visual de rebase. Citando la misma AASHTO 2011, nos dice que este criterio de diseño rara vez se aplica en las calles locales.
- En base al Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito, se adjuntó señalización horizontal y vertical con sus códigos en todas las calles en estudio.
- En la calle 30 se utilizó una curva circular, calculado por la herramienta Civil 3D. Dando los siguientes resultados:

Tabla No.4 Datos de curva circular No. 1

Circular Curve Data			
Delta:	17° 59' 08.3314"	Tipo:	LEFT
Radio:	154.942 m		
Longitud de cuerda:	48.638 m	Tangente:	24.52 m
Mediana:	1.905 m	Externa:	1.928 m
Cuerda Larga:	48.438 m	Rumbo:	N 88° 16' 04.6509" W

Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

Se comprobaron los resultados dados por el programa de la curva con las **ecuaciones No.1 a No.7** antes expuesta en el inciso 3.3.8.1. A continuación, a manera de ejemplo se muestran los cálculos para la curva circular simple.

Tabla No.5 Datos de puntos de curva

Coordenadas UTM			
Descripción	Estación	Norte	Este
PC	0+37.533	1427296.328	614030.949
PT	0+86.171	1427297.792	613982.533

Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

$$\Delta = 17^{\circ}59'08.3314'' = 17.98$$

$$R = 154.942 \text{ m}$$

$$Vd = 30 \text{ km/h}$$

$$Gc = \frac{1145.92}{154.942 \text{ m}} = 7^{\circ}23'44.88'' \quad \text{Ecuación No. 2}$$

$$T = 154.942 * \left(\tan \frac{17.98}{2} \right) = 24.513 \text{ m} \quad \text{Ecuación No. 1}$$

$$E = \frac{154.942 \text{ m}}{\cos \frac{17.98}{2}} - 154.942 \text{ m} = 1.927 \text{ m} \quad \text{Ecuación No. 5}$$

$$M = 154.942 \text{ m} \left(1 - \cos \left(\frac{17.98}{2} \right) \right) = 1.903 \text{ m} \quad \text{Ecuación No. 6}$$

$$Lc = \frac{\pi * 154.942 \text{ m} * 17.98}{180} = 48.622 \text{ m} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

$$CL = 2 * 154.942 \text{ m} * \sin \left(\frac{17.98}{2} \right) = 48.423 \text{ m} \quad \text{Ecuación No. 7}$$

Todo el informe con los datos del diseño geométrico, se adjuntará en disco con todos los archivos

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE SUELOS



4.1. Introducción

Desde el punto de vista de la ingeniería, el suelo es sustrato físico sobre el que se realizan obras, del que importan las propiedades físico-mecánico, formado por partículas sólidas discretas con líquidos y gases que ocupan los espacios entre ellas.

El suelo está formado por tres fases: la líquida, la sólida y la gaseosa. En la mayor parte de los suelos, la fase sólida la forman partículas minerales que constituyen el esqueleto estructural en el que se absorben el humus y/o las partículas orgánicas. Entre las partículas de la fase sólida existen espacios porosos. Los espacios porosos son llenados con la fase líquida y gaseosa, juntamente.

La fase líquida consiste, principalmente, en agua procedente de las precipitaciones, existiendo como películas que rodean a los espacios porosos más pequeños. Los espacios porosos más grandes, a menos que el suelo esté saturado de agua, los llenan los gases.

4.2. Exploración y muestreo.

La importancia de la exploración y el muestreo de un suelo radican entre otras cosas, el obtener muestras representativas, para posteriormente realizar pruebas de laboratorio necesarias para llevar a cabo un buen diseño. Mediante las cuales se determinen las propiedades físicas y mecánicas de dicho suelo en estudio según la necesidad del proyecto, ubicando así la naturaleza del problema con más factibilidad de ocurrir y plantear las mejores soluciones posibles.

El método de exploración para la obtención de muestras en el diseño de espesores de pavimentos y geometría de las carreteras son los sondeos manuales en la línea del proyecto y en casos de bancos de materiales, los pozos a cielo abierto y sondeos a profundidad.

4.3. Sondeos Manuales Sobre la Línea.

Con el fin de conocer los materiales que conforman la estructura del camino actual y determinar sus propiedades físicas-mecánicas básicas, se realizaron sondeos manuales sobre la longitud del camino, ubicados de forma alterna centro, izquierda y derecha de la línea central. Las dimensiones de los sondeos fueron de 0.75 m de diámetro aproximadamente con una profundidad de 1.50 m. Se realizaron a 4 calles del dicho barrio, habiéndose realizado un total de 4 sondeos. **Ver anexos Imagen No.43, Pág. X)**

De las excavaciones de estos sondeos, se fueron tomando muestras continuas en cada uno, dando un total de 15 muestras extraídas de los diferentes estratos de suelos encontrados, las cuales se derivan de la clasificación del material en el sitio, visualmente y al tacto de acuerdo a la norma American Society for Testing and Materials **(ASTM) D 2488-00 (“Practice for description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure”)**. Luego, a las mismas muestras además de la clasificación de campo, se registró en fichas de identificación la siguiente información de cada muestra; Proyecto, Localización, Sondeo N^o., Muestra N^o., Profundidad, clasificación de campo y la fecha que fueron almacenadas (esta información también se plasmó en un cuaderno de registro). Las muestras obtenidas de los sondeos fueron almacenadas en bolsas de plástico y/o en sacos dependiendo de las pruebas a realizar en ellas y de la importancia de su traslado, para posteriormente ser trasladadas al laboratorio.

Las muestras fueron sometidas a ensayos de laboratorios para determinar su humedad natural, distribución de tamaños (Granulometría) y propiedades plásticas, es decir, su Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad. Luego en base a estos resultados, se procedió a efectuar la clasificación definitiva del material, de acuerdo a la norma American Association of State Highway and Transportation officials (AASHTO); M-145 (Classification of Soils and Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes); para después ser agrupadas por tipos de suelos, afines representativos de todos los suelos

encontrados. Dependiendo de estos procedimientos previos se determina su densidad seca máxima y humedad óptima empleando la metodología Proctor Estándar y consecuentemente determinar las resistencia o valor relativo soporte (CBR). Este valor es de fundamental importancia para el diseño de la nueva estructura del pavimento del camino.

4.4. Sondeo de Banco de Material

El Banco de Material utilizado en los ensayos lleva el nombre de Banco de Material “Jorge Castro”, se encuentra ubicado en el kilómetro 124, carretera Managua-Matagalpa, a una distancia de 3.25 km de la línea del proyecto. Previamente éste Banco se utilizó para el proyecto vial de la calle principal de dicho barrio, como material granular para diferentes capas. Actualmente el banco se encuentra explotado.

Sus propiedades físico-mecánicas se resumen en la tabla No.8

4.5. Clasificación de los suelos.

Teniendo en cuenta que en la naturaleza existe una gran variedad de suelos, la ingeniería de suelos ha desarrollado algunos métodos de clasificación de los mismos. Cada uno de estos métodos tiene prácticamente, su campo de aplicación según la necesidad y uso que los haya fundamentado.

Los principales sistemas de clasificación de suelos más utilizados actualmente son:

- Clasificación de suelos para el propósito de construcción de carreteras, conocido como American Association of State Highway and Transportation officials (AASHTO); según ASTM D-3282 y AASHTO M-145.

- Unified Soil Classification System, conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); según ASTM D-2487-11.

4.5.1. Clasificación de los suelos según AASHTO

Imagen No.11 Tabla de clasificación de suelos, según AASHTO M-145.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Fuente: Principios de la ingeniería Geotécnica, Brajas M. Das, 1998.

En este método los suelos se clasifican en siete grupos (A-1, A-2,...A-7), según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices N° 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz N.º 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelo.

Descripción de los grupos de clasificación:

a) **Suelos granulares:** Son aquellos que tienen 35% o menos, del material fino que pasa el tamiz No. 200. Estos suelos forman los grupos A-1, A-2 y A-3.

Grupo A-1: El material de este grupo comprende las mezclas bien graduadas, compuestas de fragmentos de piedras, grava, arena y material ligante poco plástico. Se incluyen también en este grupo mezclas bien graduadas que no tienen material ligante.

Subgrupo A-1a: Comprende aquellos materiales formados predominantemente por piedra o grava, con o sin material ligante, estos materiales son bien graduados.

Subgrupo A-1b: Incluye aquellos materiales formados predominantemente por arena gruesa bien graduada, con o sin ligante.

Grupo A-2: Comprende una gran variedad de material granular que contiene menos del 35% del material fino.

Subgrupo A-2-4 y A-2-5: Pertenecen a estos subgrupos aquellos materiales cuyo contenido de material fino es igual o menor del 35% y cuya fracción que pasa el tamiz número 40 tiene las mismas características de los suelos A-4 y A5 respectivamente.

Subgrupo A-2-6 y A-2-7: Los materiales de estos subgrupos son semejantes a los anteriores, pero la fracción que pasa el tamiz número 40 tiene las mismas características de los suelos A-6 y A-7.

Grupo A-3: En este grupo se encuentra incluidas las arenas finas, de playa y aquellas con poca cantidad de limo que no tengan plasticidad. Este grupo incluye además, las arenas de río que contengan poca grava y arena gruesa.

b) **Suelos finos:** Contienen más del 35% del material fino que pasa el tamiz número 200. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, a-6, y A-7.

Grupo A-4: Pertenecen a este grupo los suelos limosos poco o nada plásticos que tienen un 75% o más del material fino que pasa el tamiz número. Además se incluye en este grupo las mezclas de limo con grava y arena hasta en un 64%.

Grupo A-5: Los suelos comprendidos en este grupo son semejantes a los del anterior, pero contienen material micáceo o diatomáceo. Son elásticos y tiene un límite líquido elevado.

Grupo A-6: El material típico de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamiz número 200, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%. Estos materiales presentan, generalmente, grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

Grupo A-7: Los suelos de este grupo son semejantes a los suelos A-6 pero son elásticos. Sus límites líquidos son elevados.

Subgrupo A-7-5: Incluye aquellos materiales cuyos índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.

Subgrupos A-7-6: Comprende aquellos suelos cuyos índices de plasticidad son muy elevados con respecto a sus límites líquidos y que, además experimentan cambios de volumen extremadamente grandes.

4.5.2. Clasificación unificada de suelos (SUCS)

Sistema concebido para permitir la identificación de los suelos en el terreno, los agrupa de acuerdo a su comportamiento como material para construcción en función de sus propiedades de granulometría y plasticidad.

➤ **Suelos gruesos:** Son aquellos suelos que más del 50% de las partículas son retenidas en el tamiz N° 200. Un suelo grueso será grava, si la mayor parte de

la fracción gruesa queda retenida en el tamiz N° 4 y se considera como arena en el caso contrario.

- **Suelos finos:** Son aquellos suelos que más del 50% de las partículas pasan el tamiz N° 200. Para distinguir si la fracción fina es de carácter limoso o arcilloso, se emplea carta de plasticidad de casa grande.

4.6. Actividades de Laboratorio

Las muestras obtenidas en el campo, en los sondeos de línea, fueron trasladadas al laboratorio de Materiales y Suelos "Ing. Julio Padilla Méndez", ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (R.U.P.A.P); para practicar en ellas los ensayos requeridos para conocer y determinar sus propiedades físico-mecánicas, clasificar las mismas y conocer su capacidad de soporte.

De esta manera, a cada muestra obtenida en los sondeos se les practicaron los siguientes ensayos:

Tabla No.6 Ensayos realizados en laboratorio

Tipo de Ensayo	Designación ASTM	Designación AASHTO
Determinación del Contenido de Humedad	D 2216	T 265
Análisis Granulométrico de los Suelos	D 422	T 88
Límite Líquido de los Suelos	D 423	T 89
Límite Plástico de los Suelos	D 424	T 90
Índice de Plasticidad de los Suelos	D 424	T 90
Clasificación de Suelos	D 3282 D 2487-11	M 145
Ensayo Proctor Estándar	D 698	T 99
Ensayo Proctor Modificado	D 1557	T 180
Ensayo C.B.R	D 1883	T 193

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.7 Resultados de los Laboratorios de Ensayos de Sondeos Sobre la Línea de Estudio.

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (m)	% QUE PASA POR EL TAMIZ										Clasificación			
			2"	1½"	1"	¾"	½"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200	L.L	L.P	I.P	AASHTO
1	1	0.00-0.50	100	97	84	76	61	52	52	33	23	14	37.9	6.7	31.2	A-2-6(0)
	2	0.50-0.80	100	91	71	57	46	40	30	23	14	8	38.8	11.8	27	A-2-6(0)
	3	0.80-1.50	100	100	94	80	70	62	39	28	19	11	46	6.65	39.35	A-2-7(0)
		>1.50	MANTO ROCOSO													
2	1	0.00-0.13	100	100	100	98	94	91	83	61	29	15	29.5	10.5	19	A-2-6(0)
	2	0.13-0.15	100	100	100	99	95	95	83	67	33	18	29.4	8.05	21.35	A-2-6(0)
	3	0.15-0.24	100	100	96	90	84	80	69	58	33	21	29.4	9.45	19.95	A-2-6(1)
	4	0.24-0.58	100	100	97	97	96	93	84	79	65	48	40.4	7.15	33.25	A-6(9)
	5	0.58-0.74	100	100	100	100	100	100	95	77	43	30	39.3	7.3	32	A-2-6(3)
	6	0.74-1.50	100	94	71	61	51	44	28	19	9	5	30.65	14.05	16.6	A-2-6(0)
		>1.50	MANTO ROCOSO													
3	1	0.00-0.60	100	100	100	97	91	87	73	64	46	31	32.5	7.6	24.9	A-2-6(2)
	2	0.60-0.80	100	97	85	80	75	69	56	48	35	24	37.3	6.75	30.55	A-2-6(2)
	3	0.80-1.00	100	100	90	84	76	68	46	34	22	16	39.1	11.35	27.75	A-2-6(0)
	4	1.00-1.50	100	62	58	52	46	40	26	22	15	10	41	9.05	31.95	A-2-7(0)
		>1.50	MANTO ROCOSO													
4	1	0.00-0.60	100	96	81	73	64	60	51	41	22	14	33.4	8.55	24.85	A-2-6(0)
	2	0.60-1.50	100	100	100	98	90	86	74	63	37	23	34	8.1	25.9	A-2-6(1)
		>1.50	MANTO ROCOSO													

Fuente: Elaboración propia.

Tabla No.8 Resultados de Laboratorio de Ensayos de Banco de Materiales.

BANCO DE MATERIAL "JORGE CASTRO"	% QUE PASA POR EL TAMIZ										L.L	L.P	I.P	Clasificación
	2"	1½"	1"	¾"	½"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200				
	98	83	58	42	27	20	14	10	6	2	32	8.2	23.8	AASHTO A-2-6(0)

Fuente: Elaboración propia.

4.6.1. Ensaye de Proctor Estándar.

La relación entre la humedad y densidad para un suelo compactado juega un papel muy importante en las propiedades del mismo, especialmente en cuanto a su resistencia y deformabilidad. Así que el ensayo de Proctor Estándar permite determinar la humedad óptima, es decir la humedad a la que el suelo alcanza su densidad máxima y por lo tanto presenta sus mejores propiedades mecánicas.

El valor de esta humedad óptima depende de la energía de compactación brindada al suelo, y en caso de incrementarse ésta, la humedad óptima será menor y la densidad seca mayor.

El ensayo Proctor Estándar se realizó para las muestras obtenidas por los sondeos de la línea en estudio.

De acuerdo a la clasificación obtenida por la AASHTO, se realizó un ensayo ya que 14 de 15 muestras de suelos ensayadas, dieron el mismo tipo de suelo. A excepción de S2-M4 donde se obtuvo un suelo A-6; no se realizó ensayo a este suelo ya que no se contaba con suficiente material para realizar las pruebas de proctor estándar y C.B.R respectivamente.

Tabla No.9 Especificaciones para el ensaye Proctor Estándar (basadas en la norma 698-91 de la ASTM)

CONCEPTO	METODO			
	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.16	15.24	10.16	15.24
Volumen del molde (cm ³)	943.3	2124.0	943.3	2124.0
Peso del martillo o pisón (Kg)	2.5	2.5	2.5	2.5
Altura de caída del martillo (cm)	30.48	30.48	30.48	30.48
Numero de golpes del pisón por cada capa	25	56	25	56
Numero de capas de compactación	3	3	3	3
Energía de compactación (Kg-cm/cm ³)	6.06	6.03	6.06	6.03

Fuente: Guía de laboratorio de Mecánica de Suelos I, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Tecnología de la Construcción, Pág. 63.

De acuerdo a la granulometría general, concluimos que el método a implementar será el método D; ya que menos del 30% es retenido por el tamiz $\frac{3}{4}$ ".

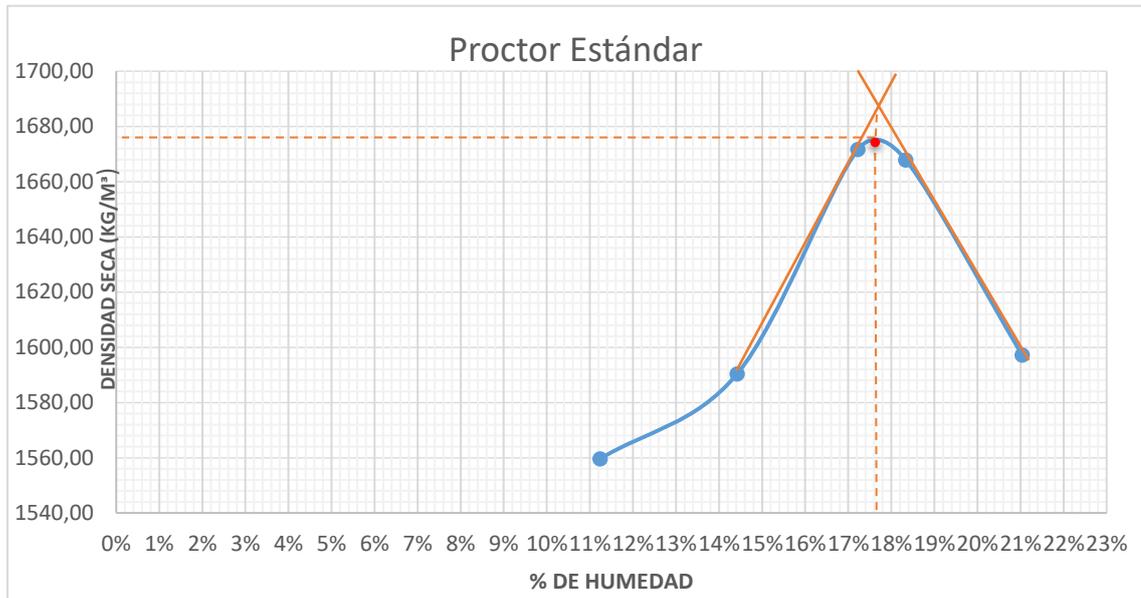
Tabla No.10 Recopilación de datos para compactación de suelos

Ensaye N°	1	2	3	4	5
Volumen del cilindro (m ³)	0.002124	0.002124	0.002124	0.002124	0.002124
Peso del molde cilíndrico	6.6059	6.6059	6.6059	6.6059	6.6059
Peso del material + molde Cilíndrico (Kg)	10.2906	10.4709	10.7679	10.798	10.7121
Tara No.	R-22	P-12	D-33	A-06	A-03
Peso Tara (Kg)	0.0542	0.0541	0.0535	0.0412	0.041
Peso Húmedo + Tara (Kg)	0.2631	0.2747	0.2788	0.269	0.2947
Peso seco + Tara (Kg)	0.242	0.2469	0.2457	0.2337	0.2506
% de Humedad	11.24	14.42	17.22	18.34	21.04
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m ³)	1734.79	1819.68	1959.51	1973.68	1933.24
Peso Volumétrico Seco (Kg/m ³)	1559.57	1590.36	1671.63	1667.84	1597.19

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de pesos volumétricos seco en las ordenadas y contenido de humedad en las abscisas, se grafica la curva de compactación y de ahí se obtiene el peso volumétrico máximo (*γ_d máx*) y la humedad óptima los cuales corresponden al punto más alto de la curva de compactación.

Gráfica No. 1 Densidad seca máxima Vs % de humedad



Fuente: Elaboración propia.

W óptimo 17.70%

Densidad seca máxima: 1671.63 Kg/m³

4.6.2. Ensaye Proctor Modificado.

En esta prueba de laboratorio se determina la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco. Este método se aplicó para el Banco de Material “Jorge Castro”.

Tabla No.11 Especificaciones para el ensaye Proctor Modificado (basadas en la norma 1557 de la ASTM)

CONCEPTO	METODO			
	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.16	15.24	10.16	15.24
Volumen del molde (cm ³)	943.3	2124.0	943.3	2124.0
Peso del martillo o pisón (Kg)	4.54	4.54	4.54	4.54
Altura de caída del martillo (cm)	45.7	45.7	45.7	45.7
Numero de golpes del pisón por cada capa	25	56	25	56
Numero de capas de compactación	5	5	5	5
Energía de compactación (Kg-cm/cm ³)	16.49	16.42	16.49	16.42

Fuente: Guía de laboratorio de Mecánica de Suelos I, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Tecnología de la Construcción, Pág. 80.

De acuerdo a la granulometría del Banco, el método a implementar será el método D; ya que el material pasa por el tamiz $\frac{3}{4}$ ".

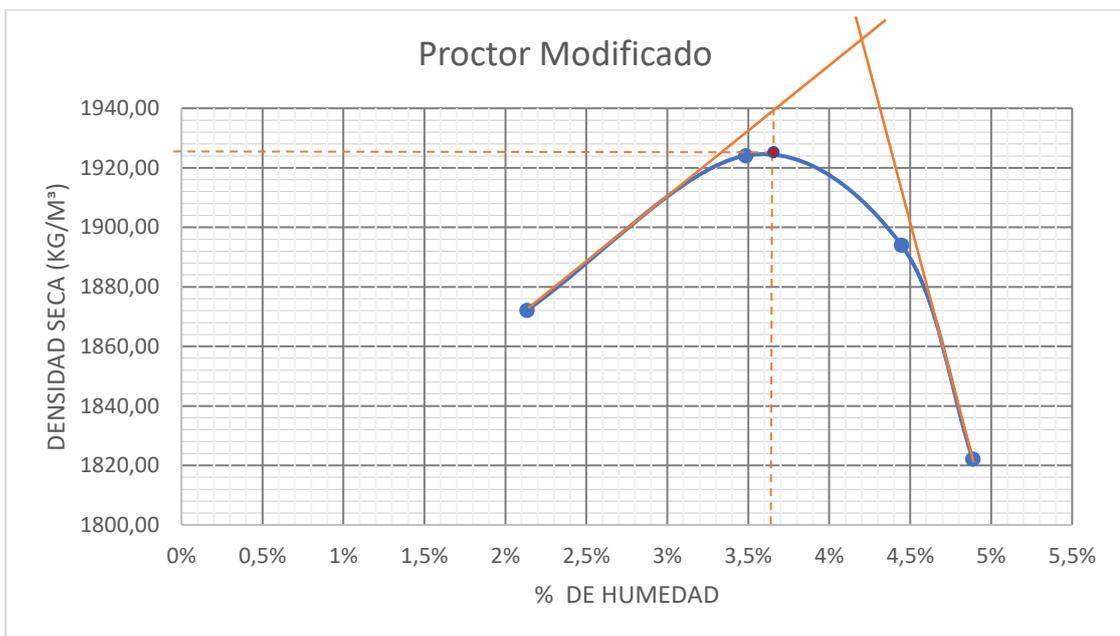
Tabla No.12 Recopilación de datos para compactación de suelos

Ensaye N°	1	2	3	4
Volumen del cilindro (m³)	0.002124	0.002124	0.002124	0.002124
Peso del molde cilíndrico (Kg)	6.6051	6.6051	6.6051	6.6051
Peso del material + molde Cilíndrico (Kg)	10.6664	10.8343	10.8068	10.6645
Tara No.	C-180	R-100	R-22	#8
Peso Tara (Kg)	0.0526	0.0535	0.054	0.0535
Peso Húmedo + Tara (Kg)	0.3446	0.3475	0.35	0.354
Peso seco + Tara (Kg)	0.3385	0.3376	0.3374	0.34
% de Humedad	2.13	3.48	4.45	4.89
Peso Volumétrico Húmedo (Kg/m³)	1912.10	1991.15	1978.20	1911.21
Peso Volumétrico Seco (Kg/m³)	1872.16	1924.10	1893.99	1822.16

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de pesos volumétricos seco en las ordenadas y contenido de humedad en las abscisas, se grafica la curva de compactación y de ahí se obtiene el peso volumétrico máximo ($\gamma_d \text{ máx}$) y la humedad óptima los cuales corresponden al punto más alto de la curva de compactación.

Gráfica No.2 Densidad seca máxima Vs % de humedad.



Fuente: Elaboración propia.

W óptima 3.62%

Densidad seca máxima: 1924.10 Kg/m³

4.6.3. Ensayo de Valor Relativo Soporte ó Relación de Soporte de California

California Bearing Ration (C.B.R)

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la penetración de un suelo compactado bajo condiciones controladas de humedad y densidad y que se expresa como una relación de soporte porcentual entre la carga unitaria del suelo y la carga unitaria patrón de la piedra picada, establecida por la penetración a una misma profundidad de un pistón de penetración.

Para la aplicación de este ensayo las muestras se sometieron a saturación por.

Para este ensayo se emplea una muestra de suelo de 150 mm de diámetro y 116 mm de altura, compactada en un molde cilíndrico de acero. Antes de realizar el ensayo generalmente se satura (un periodo de 96 horas de anticipación) para simular las condiciones más desfavorables en cuanto a drenaje de un camino y para determinar su posible expansión. Junto con la saturación y durante la penetración, se somete la muestra a una presión (sobrecarga) igual a la que producirá el futuro pavimento.

La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100 \qquad \text{Ecuación No. 8}$$

De la ecuación se puede ver que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de (%) se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

Tabla No.13 Valores de la Carga Unitaria Patrón

Penetración			Esfuerzo unitario Patrón		
Milímetros (mm)	Centímetros (mm)	Pulgadas (pulg)	Kg/cm ²	MPa	PSI
2.5	0.25	0.10	70.31	6.9	1,000
5.0	0.50	0.20	105.46	10.3	1,500
7.5	0.75	0.30	133.58	13.0	1,900
10.0	1.00	0.40	161.71	16.0	2,300
12.7	1.27	0.50	182.80	18.0	2,600

Fuente: Guía de laboratorio de Mecánica de Suelos I, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Tecnología de la Construcción, Pág. 104.

4.6.3.1. Procedimiento de ensayo

Se realizaron dos ensayos de CBR, los cuales fueron realizados tanto para material recolectado del suelo en estudio, ubicado en el barrio Monte Tabor, y el Banco de Materiales "Jorge Castro".

4.6.3.2. Preparación del espécimen

Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de unidad óptimo de mezclado que fue calculada previamente del ensayo de compactación Proctor Estándar (ASTM D 698), ó Modificado (ASTM D 1557), según sea el caso.

Se deben confeccionar como mínimo tres probetas con distinta energía de compactación, de tal manera que la densidad a la cual se desee determinar el CBR, quede entre dos probetas. Generalmente se utilizan probetas compactadas con 56, 25 y 10 golpes.

Tablas No.14 Resultados de Ensayo C.B.R del barrio Monte Tabor.

Penetración	Esfuerzo (Lb/Pulg ²) 0,1"	Esfuerzo (Lb/Pulg ²) 0,2"
Molde A-3	34	41
Molde A-4	97	148
Molde A-8	194	335

Fuente: Elaboración propia.

Próctor máxima densidad seca γ (kg/m³)	1675
95% Proctor Máxima densidad seca (Kg/m³)	1591.25

Fuente: Elaboración propia.

Molde	Densidad Seca γ (Kg/m ³)	Penetración 0,1"	Penetración 0,2"	CBR %
Molde A-3 (10 golpes)	1414.10	3	3	3
Molde A-4 (25 golpes)	1523.13	10	10	10
Molde A-8 (56 golpes)	1675.66	19	22	22

Fuente: Elaboración propia.

Tablas No.15 Resultados de Ensayo C.B.R del Banco de Material.

Penetración	Esfuerzo (Lb/Pulg ²) 0,1"	Esfuerzo (Lb/Pulg ²) 0,2"
Molde A-1	5	19
Molde A-2	177	432
Molde A-5	530	918

Fuente: Elaboración propia.

Proctor máxima densidad seca (kg/m³)	1924.1
95% Proctor Máxima densidad seca (Kg/m³)	1827.895

Fuente: Elaboración propia.

Penetración	Densidad γ (Kg/m ³)	0,1"	0,2"	CBR %
Molde A-1 (10 golpes)	1774.31	1	1	1
Molde A-2 (25 golpes)	1784.82	18	29	29
Molde A-5 (56 golpes)	1925.04	53	61	61

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de CBR obtenidos para una penetración de 0.1” fueron menores que los de 0.2”, al volverse a realizar el ensayo se produjo el mismo comportamiento, por lo tanto, el valor de CBR final ocupado es de una penetración de 0.2” con un CBR de 22% para el suelo obtenido del barrio y de 61% para el banco de materiales, todos estos con una cantidad de 56 golpes finales establecidos en norma.

4.7. Estudio de Suelos Realizado por la Alcaldía de Matagalpa

La alcaldía de Matagalpa facilitó un estudio de suelos realizado en el barrio “Monte Tabor”, éste consta solamente de dos ensayos de laboratorio, Ensaye de Granulometría y Ensaye de Limites de Atterberg. El estudio de suelos facilitado por la alcaldía, se realizó para construir la calle principal del barrio, siendo lo que actualmente se encuentra adoquinado.

Para la caracterización del suelo se ejecutó 1 sondeo de suelos, de los cuales se extrajeron 3 muestras que varían a su profundidad, para la primera muestra de 0.40 m a 0.80 m de profundidad, para la segunda muestra desde 0.80m hasta 1.35m y para la tercera muestra desde 1.35m hasta 2.00 m de profundidad.

4.7.1. Resultados de ensayos de Suelo

Los estudios de Laboratorio de Suelos, correspondiente al Diseño de Sistema de Alcantarillado Sanitario de los Barrios Monte Tabor y Las Tejas, Matagalpa, fueron realizados por Ingeniería, Desarrollos e Inversiones, S.A. IDISA.

Informes de Ensayes de Suelos

Imagen No.12 Datos de Profundidad de muestras analizadas.

Datos de Profundidad de muestras analizadas.

Ensaye			
Muestra N°	1	2	3
Ubicación			
Sondeo			
Profundidad	0.40 – 0.80 m	0.80 – 1.35 m	1.35 – 2.00 m

Fuente: Ingeniería, Desarrollos e Inversiones, S.A. IDISA.

Imagen No.13 Ensaye de Granulometría

Granulometría (A.S.T.M C 136-46 ó D 422-54T)

% Que pasa por Tamiz	Muestra N°		
	1	2	3
2"		88	100
1 1/2"		81	84
1"	100	69	69
3/4"	97	61	61
1/2"	93	51	48
3/8"	92	45	41
N° 4.	84	30	27
N° 10	74	22	20
N° 40	60	14	11
N° 200	46	11	6

Fuente: Ingeniería, Desarrollos e Inversiones, S.A. IDISA.

Imagen No.14 Límites de Atterberg

Ensayes Adicionales (A.S.T.M)

Descripción	Muestra N°		
	1	2	3
Límite líquido (D 423-54 T)	48	53	39
Índice de plasticidad (D 424-54 T)	23	27	13
Clasificación H.R.B	A-7-6 (7)	A-2-7 (0)	A-2-6 (0)

Fuente: Ingeniería, Desarrollos e Inversiones, S.A. IDISA.

Como se muestra en la **Imagen No.14** el tipo de suelo A-2-6 y A-2-7 coincide con los resultados finales del estudio de suelos realizados por los sustentantes en el laboratorio de Materiales y Suelos "Ing. Julio Padilla Méndez", ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (R.U.P.A.P).

CAPÍTULO V

ESTUDIO DE TRÁNSITO



5.1. Introducción

Para efectuar un proyecto vial es de suma importancia realizar un estudio de tránsito a través de aforos vehiculares, los cuales analizan el volumen de tráfico que circula a lo largo de la vía o tramo en estudio, a fin de proyectar una carretera o calle cómoda, rápida y segura. Los estudios de tránsito juegan un papel muy importante en la elaboración de estructuras de pavimento, ya que al realizar los análisis de tránsito nos permite conocer la cantidad y tipo de vehículos que circulan en el tramo, donde se pretende ejecutar la obra ya sea diseñar o rehabilitar, los cuales darán como resultado, el peso y la cantidad de ejes equivalentes para diseñar la estructura de pavimento.

Es necesario recalcar que la demanda de transporte se define por medio del indicador del Tránsito Promedio Diario Anual. (TPDA) y se complementa con los resultados del estudio de origen y destino que define los parámetros del comportamiento del tráfico, sus orígenes, sus destinos, tipos de vehículos utilizados, etc. Los factores referentes al tránsito, se obtienen a través del TPDA de la ECD ó ECS asociada a la EMC.

5.1.1. Estudio de tránsito

Permite determinar la cantidad de vehículos que se trasladan de un lugar a otro. Se utiliza para evaluar la situación actual de una vía en la cual se hace un diagnóstico de la demanda vehicular.

5.1.2. Volumen de tránsito

Es la cantidad de vehículos que se hacen uso de una vía o carretera, y se obtiene a través de conteos o aforos de tránsito en un punto específico del tramo en estudio.

A demás, el tránsito que circula por una infraestructura vial no es uniforme a través del tiempo ni con respecto al espacio, ya que hay variaciones de un mes a otro, variaciones diarias, variaciones horarias, variaciones en intervalos de tiempo menor a la hora y variaciones en la distribución del tránsito en los

carriles, dependiendo de estas duraciones, se obtienen los siguientes volúmenes totales o absolutos:

5.1.2.1. Tránsito promedio diario

Se define el volumen de tránsito promedio Diario (TPD) como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo.

$$TPD: \frac{\textit{Acumulado de conteo vehicular por tipo de vehiculo}}{\textit{Cantidad de dias del aforo}} \quad \textit{Ecuación No. 9}$$

De acuerdo al número de días de este periodo se presentan los siguientes volúmenes de tránsito promedio diario, dados en vehículos por día:

5.1.2.2. Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

TS: Tránsito Semanal

$$TPDS = \frac{TS}{7} \quad \textit{Ecuación No. 10}$$

5.1.2.3. Tránsito promedio diario mensual (TPDM)

TM: Tránsito Mensual

$$TPDM = \frac{TM}{30} \quad \textit{Ecuación No. 11}$$

5.1.2.4. Tránsito promedio diario anual (TPDA)

TA: Tránsito Anual

$$TPDA = \frac{TA}{365} \quad \textit{Ecuación No. 12}$$

5.1.3. Aforos vehiculares

Es la cuantificación de los volúmenes actuales de tránsito, con las condiciones presentes y pronosticar los volúmenes que serán atraídos y generados como resultado de su rehabilitación y mejora.

5.1.4. Análisis de cargas equivalentes

Para el cálculo de los ejes equivalentes se consideran los tipos de vehículos obtenidos en los conteos o aforos vehiculares y los pesos sugeridos por la AASHTO para cada uno de ellos. Esto se hace cuando en el tramo de estudio no se cuenta con una báscula que permita el pesaje de los vehículos (en todo caso es el MTI).

5.1.5. Tipos de estaciones de conteo vehicular

Estaciones de mayor cobertura (EMC)

Se realizan aforos 3 veces al año divididos en tres cuatrimestres debido al alto costo de ejecución, realizando conteos clasificados durante 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) que no es más que el promedio de los periodos. Estas estaciones permiten un conocimiento de las variaciones típicas del tráfico (estacionales, semanales y diarias) y de la frecuencia de las intensidades horarias a lo largo del año.

Estaciones de corta duración (ECD)

Su función es conocer las variaciones diarias, semanales y estacionales para establecer unas leyes que puedan aplicarse a un grupo de estaciones similares o afines. Generalmente son realizadas en caminos de adoquinado y asfalto, en donde el TPDA es mayor de 300 pero menor a la de una estación de mayor cobertura.

Estación de conteo sumaria (ECS)

Son estaciones con volúmenes menores a un TPDA de 300 vehículos. Se realiza como mínimo un aforo anual durante 12 horas diarias (6 a.m. - 6 p.m.) en periodos de tres días, generalmente en todo el trascurso del año.

5.1.6. Clasificación vehicular

La hoja de clasificación vehicular usada en campo está compuesta por 17 tipos de vehículos, es importante diferenciar uno de otro, ya que contienen diferencias en sus características.

La hoja de clasificación vehicular usada por el MTI, está compuesta por 17 tipos de vehículos, los cuales se mencionan a continuación:

- Motocicleta
- Automóviles
- Jeep
- Camioneta
- Microbus
- Minibus
- Bus
- Liviano de carga
- Camion rígido sencillo, 2 ejes
- Camion rígido sencillo, 3 ejes
- Camión de carga Tx –Sx-<4
- Camión de carga Tx –Sx->5
- Camión combinado Cx –Rx-<4
- Camión combinado Cx –Rx->5
- Vehículo agrícola (tractor)
- Vehículo de construcción (niveladora)
- Otro (remolque halado por un vehículo liviano)

Para la clasificación de los vehículos el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha designado cuatro categorías: **(Ver en Anexo, Imagen No.44, Pág. XIII).**

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 vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los microbuses pequeños (hasta de 15 pasajeros y microbuses medianos de 25 pasajeros y los buses medianos y grandes).

Vehículos pesados de carga: Son los vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3, 4, 5 y más ejes, estos vehículos incluyen los camiones de dos ejes (C2), camiones C3, C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3) y otros tipos de vehículos para la clasificación de vehículos especiales, tales como Agrícolas y de Construcción.

Otros: Remolques y tráileres (pequeños que sean halados por cualquier clase de vehículo automotor).

5.2. Trabajo de campo y representación de resultados

El volumen de tránsito que circula por la vía se determinó a través de aforos vehiculares. El aforo vehicular fue realizado durante una semana completa, comprendido entre el día miércoles 27 de febrero al martes 5 de marzo del año 2019, en un periodo de 12 horas diurnas correspondientes de 6 am a 6 pm.

A continuación, se presentarán los resultados obtenido del aforo vehicular.

Tabla No.16 Resultados de aforo vehicular de 12 horas Barrio Monte Tabor

RESUMEN SEMANAL AFORO 12 HRS												
AFORO VEHICULAR DE 12 HRS DEL MIERCOLES 27 DE FEBRERO-MARTES 5 MARZO 2019												
DIA	MOTO	VEHICULOS LIVIANOS			VEHICULOS PESADOS DE PASAJEROS			VEHICULOS DE CARGA				TOTAL VEH A 12 HORAS POR DIA
		AUTOMOVILES	JEEP	CAMIONETAS	MICROBUS < 15 PAS	MINIBUS 15-30 PAS	BUS >30 PAS	C2 2-5 TON	C2 > 5 TON	C3	TX-SX<=4	
MIERCOLES	242	167	30	158	13	17	2	35	34	3	1	702
JUEVES	233	168	25	151	14	13	2	25	27	1	0	659
VIERNES	199	171	25	199	4	12	2	39	29	5	1	686
SABADO	187	167	15	184	3	7	0	36	16	1	2	618
DOMINGO	52	68	12	71	2	1	0	19	5	1	0	231
LUNES	266	188	33	172	11	18	2	33	26	2	1	752
MARTES	246	193	23	158	12	20	2	36	23	1	0	714
TOTAL POR VEHICULO A LA SEMANA EN 12 HORAS	1425	1122	163	1093	59	88	10	223	160	14	5	4362
TPDiS a 12 hrs	204	160	23	156	8	13	1	32	23	2	1	623
% vehiculos liviano y pesado TPDiS	32,67 %	25,72 %	3,74 %	25,06 %	1,35%	2,02%	0,23%	5,11 %	3,67 %	0,32 %	0,11 %	100 %

Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Estación de mayor cobertura asociada al camino en estudio

Para este estudio se debe determinar cuál EMC está asociada al tramo para proceder a cuantificar el TPDA. En nuestro caso, la estación que corresponde será la estación de corta duración número 301, entrada al Guayacán-Matagalpa.

Según el Anuario de Aforos de Tráfico, Año 2017, publicado por la Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y Puentes de la Dirección General de Planificación del MTI, se encontró que la ECD N° 35, Estación 301 tramo Entrada el Guayacán - Matagalpa, Código Nic: NIC-3, **Ver Imagen No.15, Pág.59**, por lo tanto, la EMC asociada al tramo es la número 101B “Zona

Franca – La Garita”, la cual nos brindará los factores correspondientes para poder obtener el TPDA. **Ver Imagen No.16, pág.59.**

Los factores obtenidos de la EMC, fueron escogidos en el primer cuatrimestre de aforo realizado por el personal de conteo de tráfico de la oficina de diagnóstico, Evaluación de Pavimentos y Puentes, siendo el periodo de enero-abril del año 2017. Debido a que el aforo realizado en el lugar de estudio se encuentra en este periodo, iniciando el 27 de febrero del año 2019.

Imagen No. 15 Estación de corta duración asociada al tráfico que circula por el Barrio Monte Tabor



**MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION
DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL
OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS
TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTORICO POR TIPO DE VEHICULO
AÑO 2017**

Nº	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA	
35	NIC-3	301	ECD	Ent. El Guayacán - Matagalpa	Matagalpa	2012	833	843	473	1730	47	12	318	498	858	81	1	171					10	5,471	
						2011	517	875	388	1547	65	19	300	390	474	64		123					1	18	4,561
						2010	328	565	411	1418	48	12	309	419	501	80	1	153					1	2	4,248
						2009	462	593	410	1287	35	27	295	318	423	47	1	78						5	3,973
						2004	100	387	322	1068	40	15	295	267	300	28	1	101						2	2,927
						2002	114	354	373	1112	28	36	264	200	328	26	3	79	3					3	2,923
						2000	115	268	369	1138	17	6	237	185	347	43	0	106				1	4	2,867	
EMC: 101B																									
Tasa Crecimiento:						4.92%	2017	805	1072	601	2200	60	15	404	631	834	103	1	217					13	6,956

Fuente: Anuario de Aforos de tráfico, año 2017. Pág. 123.

Imagen No.16 Factores correspondientes para obtener TPDA asociada a la estación de mayor cobertura No. 101B Zona Franca – La Garita



**MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION
DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL
OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS**

**ESTACION DE MAYOR COBERTURA 101B
ZONA FRANCA - LA GARITA
FACTORES - 2017**



Primer cuatrimestre del año Enero - Abril

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx <=4	Tx-Sx >=5	Cx-Rx <=4	Cx-Rx >=5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.33	1.43	1.25	1.29	1.31	1.57	1.21	1.33	1.43	1.39	1.00	1.58	1.00	1.00	1.00	1.00	1.24
Factor Semana	0.94	0.99	0.96	0.93	0.93	0.97	0.96	0.90	0.88	0.85	1.00	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97
Factor Fin de Semana	1.18	1.01	1.13	1.21	1.22	1.08	1.12	1.39	1.54	1.80	1.00	1.51	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08
Factor Expansión a TPDA	1.00	1.03	0.98	0.99	1.00	1.00	0.99	1.01	0.96	1.09	0.80	0.93	1.00	1.00	1.87	1.87	1.15

Fuente: Anuario de Aforos de tráfico, año 2017. Pág. 276.

5.2.2. Expansión a 24 horas

Los volúmenes de tráfico diario diurno de doce horas se expandieron a tráfico de veinticuatro horas, haciendo uso del Factor día por tipo de vehículo de la estación **Nº 35, Estación 301 tramo Entrada el Guayacán - Matagalpa, Código Nic: NIC-3**, asociada a la Estación de Mayor Cobertura **101B Zona Franca – La Garita** correspondiente al conteo del año 2017.

Tránsito expandido 24 horas = Factor día * Tránsito 12 hrs *Ecuación No. 13*

Tabla No.17 Conteo Vehicular expandido a 24.0 Hrs. por Tipo de Vehículo en ambos sentidos de miércoles 27 al martes 5 de febrero del año 2019

FACTOR DIA

TIPO DE VEHICULO	FACTOR DIA	DIA MIERCOLES		DIA JUEVES		DIA VIERNES		DIA SABADO		DIA DOMINGO		DIA LUNES		DIA MARTES		TRANSITO SEMANAL POR VEHICULO A 24 HORAS
		12 HORAS	24 HORAS	12 HORAS	24 HORAS	12 HORAS	24 HORAS	12 HORAS	24 HORAS	12 HORAS	24 HORAS	12 HORAS	24 HORAS	12 HORAS	24 HORAS	
MOTO	1,33	242	322	233	310	199	265	187	249	52	69	266	354	246	327	1895
AUTOMOVILES	1,43	167	239	168	240	171	245	167	239	68	97	188	269	193	276	1604
JEEP	1,25	30	38	25	31	25	31	15	19	12	15	33	41	23	29	204
CAMIONETAS	1,29	158	204	151	195	199	257	184	237	71	92	172	222	158	204	1410
MICROBUS < 15 PAS	1,31	13	17	14	18	4	5	3	4	2	3	11	14	12	16	77
MINIBUS 15-30 PAS	1,57	17	27	13	20	12	19	7	11	1	2	18	28	20	31	138
BUS >30 PAS	1,21	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	12
C2 2-5 TON	1,33	35	47	25	33	39	52	36	48	19	25	33	44	36	48	297
C2 > 5 TON	1,43	34	49	27	39	29	41	16	23	5	7	26	37	23	33	229
C3	1,39	3	4	1	1	5	7	1	1	1	1	2	3	1	1	19
TX-SX<=4	1	1	1	0	0	1	1	2	2	0	0	1	1	0	0	5
TOTAL		702	948	659	891	686	925	618	833	231	311	752	1016	714	967	5891

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Expansión a Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)

Obtenidos los TPD de 24 horas se procede a expandir a TPDS, para estos se utilizan los factores semana y fin de semana. En nuestro caso el factor semana sería 1 para cada tipo de vehículo ya que el conteo se realizó durante una semana completa y el factor fin de semana no es utilizado por que también se contaron vehículos los días sábado y domingo.

A continuación se mostrará la **tabla No.18** el resumen del transito total a 24 horas por tipo de vehiculo una vez expandido con su factor día, para su consecuente TPDS.

Tabla No.18 Resumen Transito Semanal expandido a 24 horas y su TPDS

TPDS		
TIPO DE VEHICULO	Tránsito semanal	TPDS
MOTO	1895	271
AUTOMOVILES	1604	229
JEEP	204	29
CAMIONETAS	1410	201
MICROBUS < 15 PAS	77	11
MINIBUS 15-30 PAS	138	20
BUS >30 PAS	12	2
C2 2-5 TON	297	42
C2 > 5 TON	229	33
C3	19	3
TX-SX<=4	5	1
TOTAL	5891	842

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el transito semanal a 24 horas de cada vehiculo, cada uno de estos se divide entre 7 (siendo 7 el número de días que contiene 1 semana), para así obtener el TPDS.

A modo de ejemplo se expresará el siguiente cálculo: TPDS moto: $1895/7= 271$ motos/día. Y así consecutivamente con cada vehiculo.

5.2.4. Expansión a Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA₂₀₁₉)

Una vez obtenido el TPDS, este se multiplica por el factor expansión (Ver **Tabla No.19, Pág.62**) a TPDA y se obtiene el Tráfico Promedio Diario Anual correspondiente al año 2019.

TPDA= TPDS*Factor de expansión

Ecuación No. 14

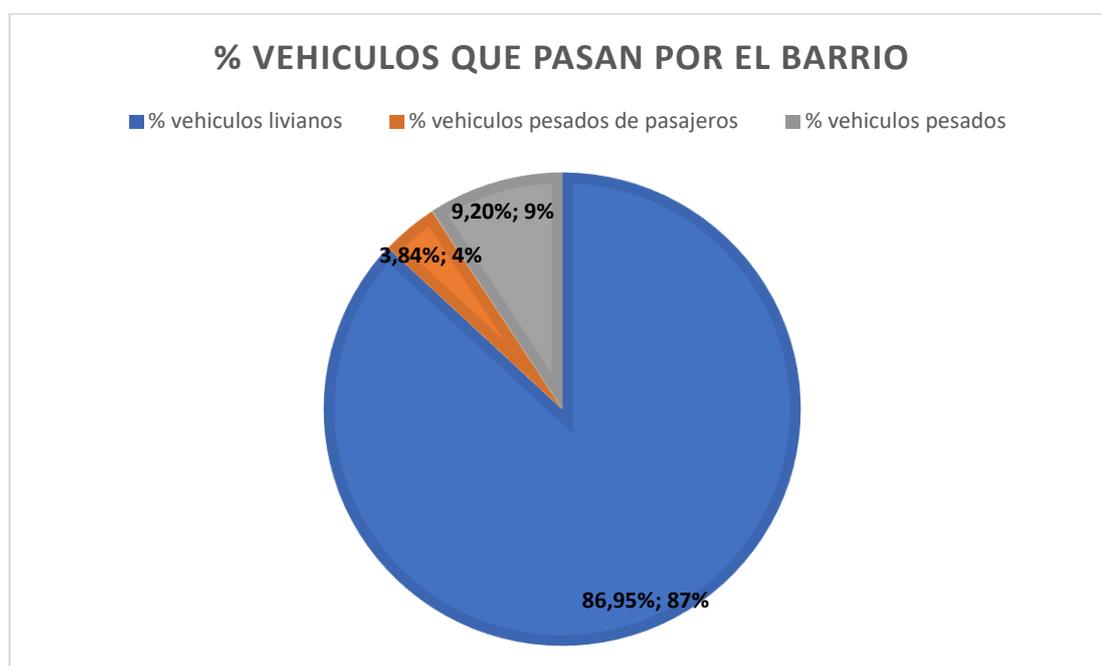
Tabla No.19 Factor de expansión a TPDA

FACTOR DE EXPANSION A TPDA			
TIPO DE VEHICULO	TPDS	FACTOR DE EXPANSION A TPDA	TPDA
MOTO	271	1	271
AUTOMOVILES	229	1,03	236
JEEP	29	0,98	29
CAMIONETAS	201	0,99	199
MICROBUS < 15 PAS	11	1	11
MINIBUS 15-30 PAS	20	1	20
BUS >30 PAS	2	0,99	2
C2 2-5 TON	42	1,01	43
C2 > 5 TON	33	0,96	31
C3	3	1,09	3
TX-SX<=4	1	0,8	1
TOTAL	842		845

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido el TPDA, podemos conocer los porcentajes de vehiculos tanto livianos como pesados que circulan en el barrio, clasificandose en vehiculos livianos: Motos, automóviles, Jeep, Camionetas, obteniendose como resultado en porcentaje de: **86.95%**. Para vehiculos pesados de pasajeros siendo estos: Microbuses menores a 15 pasajeros, Microbuses de 15-30 pasajeros y Buses mayores a 30 pasajeros, obteniendose como resultado en porcentaje de: **3.84%**. Para vehiculos pesados siendo estos: C2 2-5 Ton, C2 mayor a 5 ton, C3 y TX-SX menor o igual a 4, obteniendose como resultado en porcentaje de: **9.20%**, para un total del 100%.

Imagen No. 17 Porcentaje de tráfico de vehículos livianos y pesados en Barrio Monte Tabor



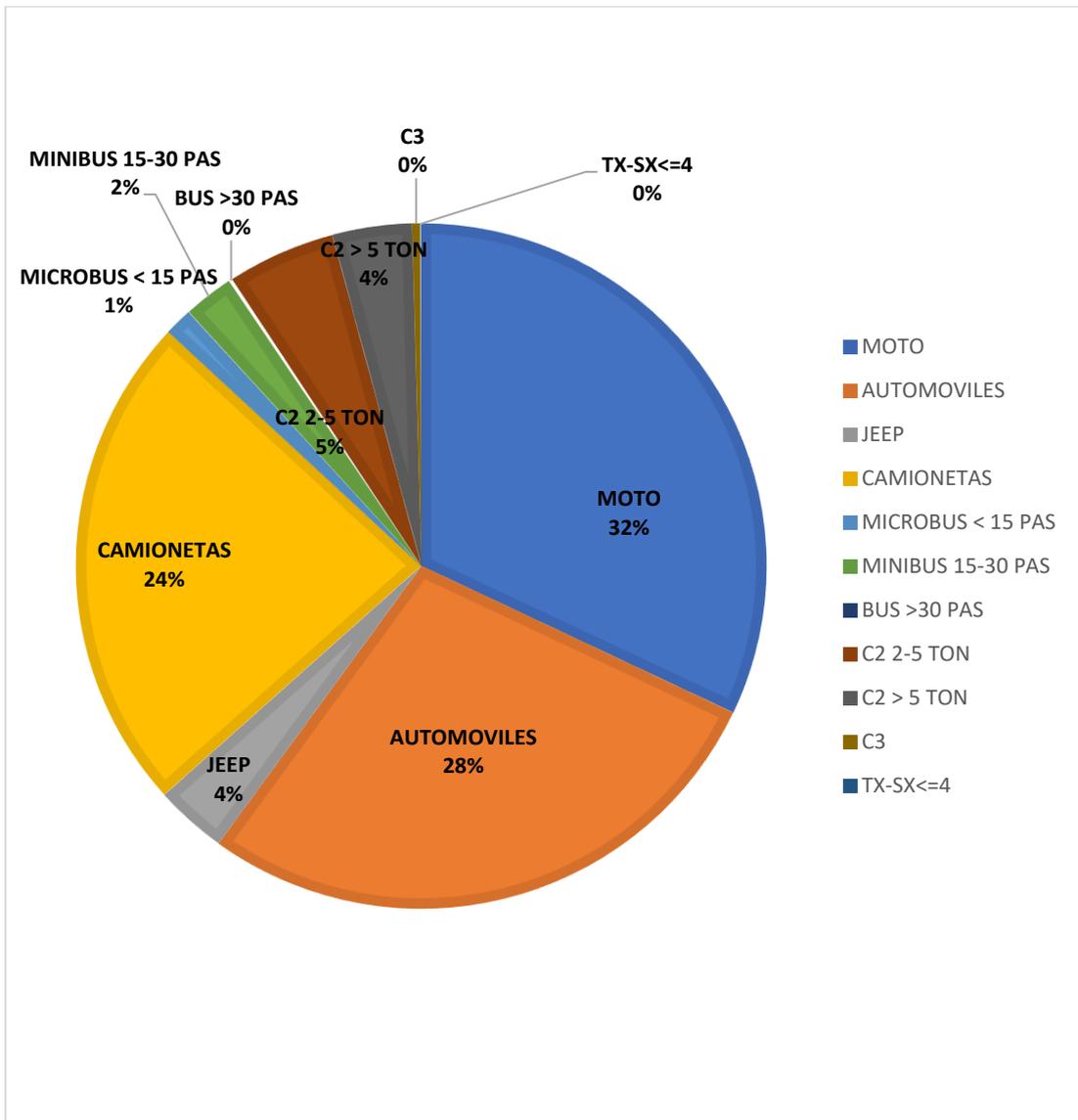
Fuente: Elaboración propia

Tabla No.20 Porcentaje vehicular según su TPDA que circula en el barrio Monte Tabor por cada tipo de vehículo

TIPO DE VEHICULO	TPDA	% Vehicular
MOTO	271	32,04%
AUTOMOVILES	236	27,94%
JEEP	29	3,38%
CAMIONETAS	199	23,60%
MICROBUS < 15 PAS	11	1,31%
MINIBUS 15-30 PAS	20	2,34%
BUS >30 PAS	2	0,20%
C2 2-5 TON	43	5,06%
C2 > 5 TON	31	3,71%
C3	3	0,36%
TX-SX<=4	1	0,07%
TOTAL	845	100%

Fuente: Elaboración propia

Imagen No. 18 Porcentaje de tráfico por vehiculos en Barrio Montetabor



Fuente: Elaboración propia

5.3. Proyección de Tráfico

Para poder proyectar el tráfico futuro que circulara por la vía, se debe de tomar variables para poder conocer este en un futuro, tales variables son los registros históricos del tránsito promedio diario anual "TPDA" de la zona en estudio, siendo este la tasa de crecimiento vehicular a lo largo de los años, la tasa de crecimiento poblacional y el producto interno bruto "PIB", para correlacionarlos y ver la tasa de crecimiento que mejor se ajusta a la zona en estudio.

5.3.1. Crecimiento poblacional

Es el cambio en la población en un cierto plazo, y puede ser cuantificado como el cambio en el número de individuos en una población usando "tiempo por unidad" para su medición.

Según las estadísticas poblacionales cuantificadas por el Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos (INEC), actualmente Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), con el objetivo de valorar las tendencias y coherencias de los datos municipales, a lo largo del período 1971 – 2005, se analizaron las tasas de crecimiento y proporciones de población arrojadas por los censos de población, estimándose el grado de omisión para cada municipio. Posteriormente se obtuvieron las tasas de crecimiento por municipio, las cuales fueron ajustadas a las tasas estimadas para los departamentos. Finalmente, para la proyección hasta el año 2020, se tomó la población base del año 2005 ajustándose a los techos departamentales proyectados al 30 de junio de cada año.

Fuente: Matagalpa en cifras. INIDE. Capítulo V, Proyección de población municipal 2005-2020. Revisión 2007. **Pág. 66 (Ver Imagen No.19 y tabla N°.21).**

Imagen No.19 Proyección de población en el Municipio de Matagalpa según INIDE

Matagalpa en Cifras

CUADRO 7. PROYECCIONES DE POBLACIÓN AL 30 DE JUNIO POR SEXO, SEGÚN AÑO CALENDARIO Y TASA DE CRECIMIENTO. PERIODO 2005 - 2020.

Municipio, Año y Tasa de Crecimiento	Ambos Sexos	Hombres	Mujeres
MATAGALPA			
2005	137 395	66 903	70 492
2006	138 948	67 608	71 340
2007	140 502	68 306	72 196
2008	142 047	68 997	73 050
2009	143 609	69 697	73 912
2010	145 123	70 371	74 752
2011	146 692	71 077	75 615
2012	148 253	71 776	76 477
2013	149 778	72 465	77 313
2014	151 269	73 141	78 128
2015	152 728	73 801	78 927
2016	154 303	74 486	79 817
2017	155 835	75 161	80 674
2018	157 342	75 839	81 503
2019	158 766	76 457	82 309
2020	159 543	77 076	82 467
Tasa de Crecimiento			
2005 - 2010	1.1	1.0	1.2
2010 - 2015	0.8	0.8	0.9
2015 - 2020	0.9	0.9	0.9

Fuente: Matagalpa en cifras. INIDE. Capítulo V, Proyección de población municipal 2005-2020. Revisión 2007. Pág. 66

Tabla No.21 Tasa de crecimiento poblacional en Matagalpa (2005-2020)

PERIODO	TASA DE CRECIMIENTO (TC)
2005-2010	1.1
2010-2015	0.8
2015-2020	0.9

Fuente: Matagalpa en cifras. INIDE. Capítulo V, Proyección de población municipal 2005-2020. Revisión 2007. Pág. 66.

Según el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE); el periodo comprendido entre 2015-2020, la tasa de crecimiento poblacional correspondiente para el municipio de Matagalpa es igual a 0.9%.

5.3.2. Crecimiento vehicular

5.3.2.1. Tasa de crecimiento

Siendo que el primer paso para realizar investigaciones sobre volúmenes de tránsito es conocer el TPDA y su tendencia de crecimiento. El método más común para la proyección de tráfico es la ecuación siguiente:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - 1 \quad \text{Ecuación No. 15}$$

Dónde:

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDA_i: Tráfico promedio diario actual.

TPDA₀: Tráfico promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

Para observar el comportamiento vehicular, se tomó en cuenta la estación de corta duración "ECD" Código NIC: NIC-3, Entrada al Guayacán-Matagalpa, número 301, que corresponde a nuestra zona.

Imagen No.20 Datos históricos de TPDA EST Entrada Guayacán-Matagalpa

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA



DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION

DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL

OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS

TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTORICO POR TIPO DE VEHICULO

AÑO 2017

Nº	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA	
35	NIC-3	301	ECD	Ent. El Guayacán - Matagalpa	Matagalpa	2012	833	643	473	1730	47	12	318	496	656	81	1	171					10	5,471	
						2011	517	675	368	1547	65	19	300	390	474	84		123					1	18	4,561
						2010	328	565	411	1418	48	12	309	419	501	80	1	153					1	2	4,248
						2009	462	583	410	1287	35	27	295	318	423	47	1	78						5	3,973
						2004	100	387	322	1068	40	15	295	267	300	28	1	101						2	2,927
						2002	114	354	373	1112	28	36	264	200	328	26	3	79	3					3	2,923
						2000	115	268	369	1138	17	8	237	185	347	43	0	106				1	4	2,867	
EMC: 101B																									
Tasa Crecimiento:						4.92%	2017	805	1072	601	2200	60	15	404	631	634	103	1	217					13	6,856

Fuente: Anuario de Aforos de tráfico, año 2017. Pág. 123.

Tabla No.22 Datos históricos TPDA Entrada Guayacón-Matagalpa

ECD NIC-3 ECD Entrada al Guayacón-Matagalpa No. 301								
AÑO	2000	2002	2004	2009	2010	2011	2012	2017
TPDA	2867	2923	2927	3973	4248	4561	5471	6956

Fuente: Anuario de aforos de tráfico, año 2017.

Si aplicamos la **ecuación No.15** Para aplicar la tasa de crecimiento vehicular en el periodo 2012-2017, logramos determinar que:

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - 1$$

$$TC = \left[\left[\left(\frac{6956}{5471} \right)^{\frac{1}{5}} \right] - 1 \right] * 100$$

$$TC = 4.92\%$$

Podemos concluir que para el periodo 2012-2017 la tasa de crecimiento vehicular es de 4.92%.

5.3.2.2. Tasa de crecimiento vehicular aplicando la media geométrica

Para el cálculo de las tasas de crecimiento, el cual consiste en aplicar a la fórmula antes descrita (**Ecuación No.15**), la media geométrica con la cual podemos considerar todos los TPDA históricos de la estación **ECD NIC-3 ECD Entrada al Guayacón-Matagalpa No. 301**, con el fin de ponderar o hacer pesar más el resultado final. Una de las ventajas de media geométrica es menos sensible al cálculo con los valores extremos.

Siendo el procedimiento de calcular las diferentes tasas de crecimiento para cada uno de los datos históricos, con la siguiente ecuación:

$$TC_n = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{1/n} \right] \quad \text{Ecuación No. 16}$$

Dónde:

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

TPDAn: Tráfico promedio diario del año en análisis.

TPDAo: Tráfico promedio diario del año anterior.

n: La diferencia de años.

Se procederá a calcular el TCn Para el periodo 2000-2002

$$TC_n = \left[\left(\frac{2923}{2867} \right)^{1/2} \right] = 1.01$$

Obteniéndose como resultado para el periodo 2000-2002 un TCn= 1.01%, y así sucesivamente para cada periodo, dando como resultado los siguientes valores.

Tabla No.23 Tasa de crecimiento para los diferentes periodos de la ECD Entrada al Guayacán-Matagalpa.

Periodo	TC _n
2000-2002	1,01
2002-2004	1
2004-2009	1,06
2009-2010	1,07
2010-2011	1,07
2011-2012	1,20
2012-2017	1,05

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidas todas las Tasas de crecimiento para cada periodo, se procede a aplicar la media geométrica, aplicando la siguiente ecuación.

$$Tf = [(TC1 * TC2 * TC3 * ... * TCn)]^{1/n} - 1 \quad \text{Ecuación No. 17}$$

Donde:

Tf= Tasa de crecimiento final

TCn= Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica

n= Cantidad de tasas de crecimiento

$$Tf = (1.01 * 1 * 1.06 * 1.07 * 1.07 * 1.2 * 1.05)^{1/7} - 1) * 100 = 6.48\%$$

Obteniéndose como resultado una tasa final aplicándose la media geométrica de= 6.48%, entre el periodo 2000-2017.

5.3.3. Producto interno bruto (PIB)

Esta variable es el valor de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de una nación en un periodo. El PIB en congruencia al poder adquisitivo (PPA) de una nación es la suma de valor de todos los bienes y servicios producidos en un país. Se utiliza como un indicador de la riqueza generada por una nación, durante un año, un trimestre u otra medida de tiempo.

Los datos del producto interno bruto están expresados en millones de córdobas a su vez están basados en las estadísticas presentadas por el Banco Central de Nicaragua (BCN) mostradas en su página web para el periodo comprendido entre 2006-2018, siendo el año de referencia el 2006.

Imagen No. 21 Producto interno bruto en millones de córdobas, periodo 2006-2018

Cuadro - Table I-1
Producto interno bruto: enfoque de la producción - Gross domestic product: production approach
(millones de córdobas constantes - millions of 2006 cordobas)

Conceptos - Concepts	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 ^{1/}	2017 ^{1/}	2018 ^{1/}
Producto interno bruto - Gross domestic product	118,837.7	124,870.3	129,160.5	124,907.7	130,416.3	138,654.2	147,661.4	154,936.8	162,351.3	170,131.6	177,894.9	186,212.4	179,107.0
Más - Plus: Impuestos netos a los productos - Net taxes on products	11,248.0	12,069.1	12,352.6	12,049.3	12,186.8	13,385.7	14,561.4	14,973.4	15,643.0	16,986.3	17,884.3	18,725.2	17,053.3
Total Industrias - All Industries													
Agricultura - Agriculture	9,495.3	10,693.4	10,068.2	10,481.3	10,754.8	11,580.4	11,852.9	11,534.4	11,495.9	11,518.9	12,486.6	13,267.3	13,703.3
Pecuario - Livestock	7,067.9	7,932.3	8,787.6	8,403.2	8,610.0	8,897.6	8,207.6	8,022.7	8,322.8	8,241.9	8,412.9	9,473.7	8,962.5
Silvicultura y extracción de madera - Forestry	1,440.4	1,485.6	1,518.1	1,504.0	1,513.9	1,602.6	1,632.8	1,643.5	1,658.8	1,659.6	1,619.4	1,640.5	1,570.8
Pesca y acuicultura - Fishing	891.2	1,008.6	1,178.3	1,344.0	1,415.8	1,358.6	1,523.5	1,601.7	1,883.6	1,752.3	1,711.8	1,901.5	2,180.8
Explotación de minas y canteras - Mining and quarrying	1,089.1	1,048.9	1,013.0	978.7	1,483.5	1,864.6	2,068.4	2,531.6	2,541.1	2,533.8	2,740.8	2,492.4	2,535.2
Industrias manufactureras - Manufacturing	16,153.7	16,758.0	16,980.3	16,057.3	17,486.2	19,207.7	21,170.6	22,554.0	24,260.9	24,863.2	25,774.9	27,079.0	27,365.5
Construcción - Construction	5,791.7	5,304.6	4,486.4	3,179.2	2,632.6	2,917.0	3,706.2	4,113.2	4,186.6	5,251.2	5,179.0	5,242.2	4,419.5
Electricidad - Electricity	1,223.2	1,183.4	1,662.1	1,699.1	1,765.9	1,715.7	2,076.1	2,566.7	2,890.3	2,943.9	2,971.7	2,885.4	3,010.7
Agua - Water supply	550.9	542.4	587.5	667.9	683.0	936.6	984.5	973.6	983.6	1,011.1	1,067.2	1,085.4	1,124.4
Comercio - Trade	12,803.2	13,314.5	14,137.4	13,545.9	14,597.8	16,073.6	17,218.0	17,724.0	18,402.8	19,548.4	20,485.9	21,318.6	18,881.0
Hoteles y restaurantes - Hotels and restaurants	3,446.9	3,727.3	3,606.3	3,600.6	3,801.8	3,986.8	4,283.1	4,537.1	4,655.0	4,835.8	5,139.8	6,054.7	4,831.6
Transporte y comunicaciones - Transport and communication	7,128.1	8,326.7	8,836.0	8,764.5	10,299.5	11,601.0	12,294.2	12,962.8	13,517.6	14,560.0	15,586.6	15,861.3	15,313.9
Intermediación financiera y servicios conexos - Financial intermediation	5,796.7	5,467.7	5,807.5	4,985.1	4,613.3	4,425.1	4,612.9	5,011.4	5,592.8	5,981.0	6,490.3	6,932.3	6,559.7
Propiedad de vivienda - Housing	9,881.6	10,042.5	10,149.3	10,325.0	10,234.2	10,379.0	10,527.1	10,853.7	11,129.6	11,479.8	11,850.6	12,188.6	12,041.2
Administración pública y defensa - Public administration and defense	6,081.4	6,332.7	6,974.9	7,329.6	7,671.6	8,052.7	8,392.4	8,867.5	9,250.9	9,560.3	10,189.3	10,765.3	10,756.5
Enseñanza - Education	5,329.9	5,458.9	5,706.9	5,730.4	5,744.8	5,916.0	6,105.0	6,197.6	6,327.7	6,557.3	6,792.5	7,042.8	7,250.4
Salud - Health	2,817.5	2,980.7	3,078.4	2,972.3	2,981.4	2,999.7	3,154.2	3,571.7	3,642.2	3,859.3	4,045.1	4,184.0	4,295.4
Otros servicios - Other services	10,600.8	11,193.1	12,567.9	12,621.0	13,787.0	13,497.9	14,353.1	15,105.5	16,610.8	17,349.2	18,209.6	18,968.8	18,563.4

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2018, Banco Central de Nicaragua. Pág. 5

El Banco Central de Nicaragua presenta la tasa de crecimiento del PIB, por cada año, presentando los siguientes resultados.

Imagen No.22 Tasa de crecimiento del PIB, periodo 2007-2018

Cuadro - Table I-2

Producto interno bruto: enfoque de la producción - Gross domestic product: production approach
(tasas de crecimiento - Growth rate)

Conceptos - Concepts	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 ^{#/}	2017 ^{#/}	2018 ^{#/}
Producto interno bruto - Gross domestic product	5.1	3.4	(3.3)	4.4	6.3	6.5	4.9	4.8	4.8	4.6	4.7	(3.8)
Más - Plus: Impuestos netos a los productos - Net taxes on products	7.3	2.3	(2.5)	1.1	9.8	8.8	2.8	4.5	8.6	5.3	4.7	(8.9)
Total industrias - All industries												
Agricultura - Agriculture	12.6	(5.8)	4.1	2.6	7.7	2.4	(2.7)	(0.3)	0.2	8.4	6.3	3.3
Pecuario - Livestock	12.2	10.8	(4.4)	2.5	3.3	(7.8)	(2.3)	3.7	(1.0)	2.1	12.6	(5.4)
Silvicultura y extracción de madera - Forestry	3.1	2.2	(0.9)	0.7	5.9	1.9	0.7	0.9	0.0	(2.4)	1.3	(4.2)
Pesca y acuicultura - Fishing	13.2	16.8	14.1	5.3	(4.0)	12.1	5.1	17.6	(7.0)	(2.3)	11.1	14.7
Explotación de minas y canteras - Mining and quarrying	(3.7)	(3.4)	(3.4)	51.6	25.7	10.9	22.4	0.4	(0.3)	8.2	(9.1)	1.7
Industrias manufactureras - Manufacturing	3.7	1.4	(5.5)	8.9	9.8	10.2	6.5	7.6	2.5	3.7	5.1	1.1
Construcción - Construction	(8.4)	(15.4)	(29.1)	(17.2)	10.8	27.1	11.0	1.8	25.4	(1.4)	1.2	(15.7)
Electricidad - Electricity	(3.3)	40.5	2.2	3.9	(2.8)	21.0	23.6	12.6	1.9	0.9	(2.9)	4.3
Agua - Water supply	(1.5)	8.3	13.7	2.3	37.1	5.1	(1.1)	1.0	2.8	5.5	1.7	3.6
Comercio - Trade	4.0	6.2	(4.2)	7.8	10.1	7.1	2.9	3.8	6.2	4.8	4.1	(11.4)
Hoteles y restaurantes - Hotels and restaurants	8.1	(3.2)	(0.2)	5.6	4.9	7.4	5.9	2.6	3.9	6.3	17.8	(20.2)
Transporte y comunicaciones - Transport and communication	16.8	6.1	(0.8)	17.5	12.6	6.0	5.4	4.3	7.7	7.1	1.8	(3.5)
Intermediación financiera y servicios conexos - Financial intermediation	(5.7)	6.2	(14.2)	(7.5)	(4.1)	4.2	8.6	11.6	6.9	8.5	6.8	(5.4)
Propiedad de vivienda - Housing	1.6	1.1	1.7	(0.9)	1.4	1.4	3.1	2.5	3.1	3.2	2.9	(1.2)
Administración pública y defensa - Public administration and defense	4.1	10.1	5.1	4.7	5.0	4.2	5.7	4.3	3.3	6.6	5.7	(0.1)
Enseñanza - Education	2.4	4.5	0.4	0.3	3.0	3.2	1.5	2.1	3.6	3.6	3.7	2.9
Salud - Health	5.8	3.3	(3.4)	0.3	0.6	5.2	13.2	2.0	6.0	4.8	3.4	2.7
Otros servicios - Other services	5.6	12.3	0.4	9.2	(2.1)	6.3	5.2	10.0	4.4	5.0	4.2	(2.1)

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2018, Banco Central de Nicaragua. Pág. 6

Tabla No.24 PIB en millones de Córdoba y su tasa de crecimiento por año periodo 2006-2018

Año	PIB (Millones de córdobas)	TC PIB (%)
2006	118837,7	3,8
2007	124870,3	5,1
2008	129160,5	3,4
2009	124907,7	3,3
2010	130416,3	4,4
2011	138654,2	6,3
2012	147661,4	6,5
2013	154936,8	4,9
2014	162351,3	4,8
2015	170131,6	4,8
2016	177894,9	4,6
2017	186212,4	4,7
2018	179107	3,8

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2018, Banco Central de Nicaragua. Pág. 6

Haciendo un promedio de las tasas de crecimiento del PIB durante el periodo 2006-2018, se obtuvo una tasa igual a 4.65%.

Tabla No.25 Resumen de diferentes tasas de crecimiento sometidas a análisis

Variable a analizar	Tasa de crecimiento %
Crecimiento poblacional Matagalpa periodo 2015-2020 según INIDE	0,9
Crecimiento vehicular ECD entrada Guayaca Matagalpa según Anuario de Aforos de Tráfico, año 2017	TC periodo 2015-2017= 4,92
	TC aplicando media geométrica al TPDA histórico de ECD Guayacán-Matagalpa = 6,48
Promedio PIB según Banco Central de Nicaragua	3.8

Fuente: Elaboración propia.

De los datos anteriores se puede observar lo siguiente:

Una vez analizada todas las variables podemos constatar que las tasas de crecimiento para el volumen vehicular de la ECD, siendo las tasas de crecimiento vehicular en el periodo 2015-2017 de 4.92% y 6.48% aplicando tasa de crecimiento vehicular con media geométrica, contienen porcentajes altos, y la tasa de crecimiento poblacional de Matagalpa es de 0.9% para el periodo 2015-2020 según INIDE y la de PIB de 3.8%, por lo tanto, al realizar el análisis se propondrá una tasa de crecimiento vehicular de **2.35%**, siendo el promedio de la tasa de crecimiento poblacional y la del PIB, la cual se considera una tasa moderada acorde a la situación del lugar en estudio, siendo un barrio que limita con beneficios de café, y propiedades privadas. Por lo tanto, esta tasa de crecimiento será utilizada con fines de proyección de tráfico a futuro.

5.4. Tránsito de diseño

5.4.1. Periodo de diseño

Es el tiempo total para el cual se diseña el pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considera apropiado para que las condiciones del entorno comiencen alterar, el funcionamiento del pavimento.

La AASHTO recomienda ciertos periodos en función de la condición actual de la vía, la cual se mostrará en la imagen siguiente.

Imagen No.23 Periodo de diseño para pavimentos según AASHTO

Highway Conditions	Analysis Period (years)
High-volume urban	30-50
High-volume rural	20-50
Low-volume paved	15-25
Low-volume aggregate surface	10-20

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Design requirements. Pág. II-7

Tabla No.26 Periodo de diseño para pavimentos según AASHTO

Condicion de carretera	Periodo de diseño (años)
Alto volumen de tránsito urbano	30-50
Alto volumen de tránsito rural	20-50
Bajo volumen pavimentado	15-25
Bajo volumen de tráfico con superficie de agregado	10-20

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Design requirements. Pág. II-7

Según AASHTO, el periodo de diseño para pavimentos con bajo volumen de superficie con agregado se encuentra entre 10-20 años, proponiéndose un periodo de diseño de pavimento de 15 años.

5.4.2. Factor Direccional (FD)

Se expresa con la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, su valor es generalmente es 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones y 1 si poseen un solo sentido. La característica más general es que el tránsito se divide 50% en un sentido y 50% en el otro.

Tabla No.27 Factor de distribución por dirección

Factor de distribución por dirección (FD)	
No. De carriles en ambas direcciones	FD (%)
2	50 = 0.5
4	45 = 0.45
6 o más	40 = 0.4

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures 1993. Design requirements Pág. II-9

5.4.3. Factor Distribucion carril (FC')

Este factor se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL'S. Para un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril.

Tabla No.28 Factor de distribución por carril

Número de carriles en cada dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 18 kips en el carril de diseño (FC') (%)
1	100=1.0
2	80-100 = 0.8 - 1
3	60-80 = 0.6 - 0.8
4 o más	50-75 = 0.5 - 0.75

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Design requirements. Pág. II-9.

5.4.4. Factor de crecimiento (FC)

El factor de crecimiento depende del número de años al que se proyectará el tránsito, la tasa del incremento anual vehicular; además refleja la medida en que aumentará el flujo de vehículos en el período de diseño.

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365$$

Ecuacion No. 18

$$FC = \frac{(1 + 0.0235)^{15} - 1}{0.0235} * 365$$

$$FC = 6474.1661$$

$$FC = 6474$$

Dónde:

FC: Factor de crecimiento.

i: Tasa de crecimiento del tránsito (%). = 2.35% = 0.0235

n: Período de diseño (años). n= 15 años

365: Días del año.

5.4.5. Tránsito proyectado en el año n

Es el TPD proyectado hacia el año n. Para calcularlo es necesario conocer el tránsito inicial, la tasa de crecimiento anual y el periodo de diseño. Siendo el tránsito inicial el del año 2019, la tasa de crecimiento de 2.35% y el periodo de diseño de 15 años.

$$T_n = T_o * (1 + i)^n$$

Ecuacion No. 19

Dónde:

T_n = Tránsito proyectado al año n

T_o = Tránsito inicial en el año n

i= Tasa de crecimiento anual en %

n= Número de año en el periodo de diseño.

Tabla No.29 Proyección del tráfico al año 2034

Proyección de trafico al año 2034				
TIPO DE VEHICULO	TPDA 2019	Tasa de crecimiento	n	TPDA proyectado 2034
MOTO	271	0,0235	15	384
AUTOMOVILES	236	0,0235	15	334
JEEP	29	0,0235	15	40
CAMIONETAS	199	0,0235	15	283
MICROBUS < 15 PAS	11	0,0235	15	16
MINIBUS 15-30 PAS	20	0,0235	15	28
BUS >30 PAS	2	0,0235	15	2
C2 2-5 TON	43	0,0235	15	61
C2 > 5 TON	31	0,0235	15	44
C3	3	0,0235	15	4
TX-SX<=4	1	0,0235	15	1
TOTAL	845			1197

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo el tránsito proyectado se determinó el tránsito de diseño de la siguiente manera:

5.4.6. Tránsito de diseño

$$TD = TPDA_0 * FC * FD * FC'$$

Ecuacion No. 20

$$TD = TPDA_{2019} * FC * FD * FC'$$

Dónde:

TPDA₀: Tránsito Promedio Diario Anual del año cero.

FC: Factor de crecimiento

FD: Factor de distribución por dirección

FC': Factor de distribución por carril

En resumen, el valor del factor direccional corresponde al 50%= 0.5, ya que el número de carriles de la calle a diseñar será de 2, para el factor carril se utiliza el valor de 100% debido a que solo habrá un carril por cada dirección.

A razon de ejemplo se calculará el tránsito de diseño de moto, siendo este = TD_{moto}= 259*6474*0.5*1= 838383, y asi consecutivamente con cada tipo de vehiculo, en la siguiente tabla, **Tabla No.30** Se representara el resumen de tránsito de diseño por tipo de vehiculo.

Tabla No.30 Tránsito de diseño por tipología vehicular

Tránsito de diseño					
TIPO DE VEHICULO	TPDA 2019	FC	FD	FC'	TD
MOTO	271	6474	0,5	1	876418
AUTOMOVILES	236	6474	0,5	1	764207
JEEP	29	6474	0,5	1	92335
CAMIONETAS	199	6474	0,5	1	645490
MICROBUS < 15 PAS	11	6474	0,5	1	35741
MINIBUS 15-30 PAS	20	6474	0,5	1	63889
BUS >30 PAS	2	6474	0,5	1	5539
C2 2-5 TON	43	6474	0,5	1	138523
C2 > 5 TON	31	6474	0,5	1	101572
C3	3	6474	0,5	1	9809
TX-SX<=4	1	6474	0,5	1	1850
TOTAL UNIDADES					2,735,373

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

ESPESOR DE PAVIMENTO



6.1. Introducción

El diseño de pavimentos consiste en determinar cada uno de los espesores de las capas que conforman la superficie de rodadura. Este diseño está basado en los estudios del tránsito y las propiedades físico-mecánicas del suelo, así como otras variables descritas en este capítulo. Cada capa recibe las cargas de la capa superior, las distribuye, luego pasa estas cargas a la capa inmediatamente inferior. Por lo tanto, cuanto más abajo este una capa menor es la carga que recibe.

El método o técnica más utilizada en Centroamérica para el diseño de estructuras de pavimento con capas finales de rodadura tanto asfálticas como de concreto hidráulico, siempre se refiere a la AASHTO. El método a aplicar para determinar el espesor de pavimentos articulado es el descrito por la AASHTO 93, el cual aplica los mismos criterios establecidos para pavimentos flexibles, en este método se toman ciertas variables, como la capacidad de soporte del suelo, cantidad equivalente a 18,000 lb las cuales transitarán en el periodo de diseño, etc.

Entre los diferentes tipos de estructuras de pavimentos podemos describir las siguientes:

- **Pavimentos de concreto hidráulico o rígido:** Los pavimentos rígidos se caracterizan porque la superficie de rodadura es una losa de concreto hidráulico, la cual absorbe una mayor parte de los esfuerzos, deformándose muy poco bajo la acción de las cargas y distribuyéndose en un área muy grande. Las losas están delimitadas por juntas reforzadas por pasadores.
- **Pavimentos de asfalto o flexible:** Es aquel cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él.
- **Pavimentos de adoquines de hormigón o pavimento articulado:** Su capa de rodadura está conformada por adoquines de hormigón, colocados

sobre una capa de arena y con un sello de arena entre sus juntas. De la misma manera que los pavimentos de asfalto, pueden tener una base, o adicionalmente una sub-base, que pueden tener espesores ligeramente menores que los utilizados para los pavimentos de asfalto, si es necesario.

6.2. Diseño de pavimento articulado

El diseño al cual haremos referencia, es el de pavimento articulado o de adoquines de hormigón, como se describió anteriormente. El pavimento de adoquines de concreto está compuesto, casi siempre, por dos capas, la capa de rodadura (los adoquines) y la base. Ambas capas son importantes porque los adoquines sin base terminan por asentarse en el suelo; y la base sin los adoquines se deteriora muy rápido y no tiene la resistencia suficiente.

6.2.1. Adoquines

Los bloques o adoquines son elementos construidos con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas ellas regulares, y que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie. Además, sirve para drenar el agua que se filtra por las juntas, evitando que se dañe la base.

6.2.2. Cama de arena

Esta capa se coloca directamente sobre la base, la cual no se compacta antes de colocar los adoquines sobre ella, generalmente es de poco espesor (3-5 cm de espesor). Se usarán arenas naturales de río, arenas volcánicas o minerales, debiendo estar libres de arcilla, materia orgánica o cualquier otro material que pudiere interferir con el drenaje del agua proveniente de la superficie.

6.2.3. Base

Es la capa colocada entre la sub rasante y la capa de rodadura, su principal función es aumentar la capacidad de la estructura del pavimento, puede estar compuesta por dos o más materiales seleccionados, en la cual se podrán utilizar material granular, suelo estabilizado o concreto pobre. El espesor de la base depende del material con que se construya, del tránsito y de la calidad del suelo.

6.3. Materiales a usar según AASHTO M-147

6.3.1. Base

Para los materiales a usarse en la subbase y base del adoquín, deben cumplir con la graduación indicada en la Norma AASHTO M-147.

Según la **AASHTO M-147** El material de base granular debe consistir de piedra o grava triturada y no contendrán partículas elongadas, raíces y restos vegetales, y debe cumplir con los siguientes requisitos, **Ver imagen No.24**.

Imagen No.24 Tipos de Granulometrías a usar para las Bases granulares

Graduación AASHTO T11 y T-27	C	D	E
Tamiz	% pasando		
50,8 mm	100	-	-
38,1 mm	-	-	-
25,4 mm	80 – 100 (±6)	100	-
19,0 mm	64 – 94	86 – 100 (±6)	100
9,5 mm	40 – 69 (±5)	51 – 82 (±6)	62 – 90 (±6)
4,75 mm (No.4)	31 – 54 (±6)	36 – 64 (±6)	46 – 74 (±6)
2,00 mm (No.10)	-	-	-
0,5 mm (N°35)	-	-	-
425 µm (No.40)	-	12 – 26 (±4)	12 – 26 (±4)
75 µm (No. 200)	4.0 – 7.0 (±3)	4.0 – 7.0 (±3)	4.0 – 7.0 (±3)

Nota: Los números de cada banda corresponden a los valores máximos o mínimos permisibles. Los números entre paréntesis corresponden a las desviaciones máximas admisibles respecto al porcentaje pasando que resulte de la granulometría del material propuesto por el contratista y aprobado por la Administración. En caso de que esta desviación supere el límite inferior o superior de cada banda de la especificación, entonces la desviación permisible para cada tamaño no podrá exceder el límite máximo o mínimo especificado para cada tamiz.

Fuente: Agregados para capas de Base y Subbase, AASHTO M-147.

6.3.2. CBR con Próctor modificado AASHTO T-180

Capacidad soportante CBR = 80 % mínimo a una densidad del 97 % del Proctor AASHTO T 180 para Base, y Subbase de 30 % mínimo a una densidad del 97 % del Proctor AASHTO T 180

Este valor de CBR mínimo, es detallado para bases y subbases en carreteras.

6.4. Materiales a usar según normas NIC 2018

Según la norma **NIC 2018**, en su **division II, seccion 1000, especificacion de la calidad de los materiales**, nos detalla la granulometria a usar para las bases y subbases, **ver imagen No.25** , asi también otras especificaciones a seguir, según la demanda que tendrá la carretera o calle a construir.

Cabe destacar, que la información siguiente es detallada para calles de bajo costo, los cuales, al tomar en consideración, el porcentaje de volumen vehicular que circula por el barrio en estudio **Ver Imagen No. 17 Porcentaje de tráfico de vehiculos livianos y pesados en Barrio Monte Tabor, Pág. 63**, siendo el 86% del flujo vehicular total vehiculos livianos, 10% vehiculos pesados y 4% vehiculos pesado de pasajeros, se tomará en consideracion lo estipulado por la norma NIC 2018, para la calidad y especificacion de materiales a usarse en las bases de las calles del barrio Monte Tabor.

Imagen No.25 Granulometria a usar para Base y Subbase según NIC 2018

Cuadro 1003 6
Margenes Del Valor Meta Para Graduaciones de Subbase, Base o Capas Superficiales de Agregados

Abertura de la malla	Porcentaje por peso pasando la malla cuadrada				
	AASHTO T 27 y AASHTO T 11				
	Requerimientos de Granulometria				
	A (Sub-base)	B (Sub-base)	C (Base)	D (Base)	E (Base)
63 mm	100				
50 mm	97 – 100	100	100		
37.5 mm		97 – 100	97 – 100	100	
25 mm	65 – 79 (6)			97 – 100	100
19 mm			67 – 81 (6)		97 – 100
12.5 mm	45 – 59 (7)	60-80 (7)			
9.5 mm				56 – 70 (7)	67 – 79 (6)
4.75 mm	28 – 42 (6)	40 – 60 (8)	33 – 47 (6)	39 – 53 (6)	47 – 59 (7)
425 Lim	9 – 17 (4)		10 – 19 (4)	12 – 21 (4)	12 – 21 (4)
75 Lim	4 – 8 (3)	0 – 12 (4)	4 – 8 (3)	4 – 8 (3)	4 – 8 (3)

() Desviación (±) permisible

Las granulometrias a emplear para subbase y base serán respectivamente B y E. El empleo de otras granulometrias deberá ser debidamente justificado y requerirá la aprobación del Ingeniero Supervisor.

Fuente: NIC 2018, Especificacion de la calidad de los materiales, Pág. 30.

Así también como otras especificaciones a cumplir, como lo es, **ver imagen No.26.**

Imagen No.26 Especificaciones para Base en caminos de bajo costo según NIC 2018

(b) Base (incluyendo material estabilizados mecánicamente).

Los requisitos que debe cumplir el material, después de colocado y compactado, son los siguientes:

- | | |
|---|-------------------|
| (1) Graduación, AASHTO T-27 | Cuadro 1003-6 |
| (2) Contenido de materia orgánica, AASHTO T-267 | 0,0% máx. |
| (3) PH de los suelos. Azul de metileno, ASTM G-51 | 0,25 g/100 g máx. |
| (4) Límite Líquido, AASHTO T 89 | 25 máx. |
| (5) Índice de Plasticidad, AASHTO T 90 | 6 máx. |
| (6) Desgaste Los Angeles, AASHTO T 96 | 50% máx. |
| (7) CBR, AASHTO T-190, al 95% de Proctor Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación | 40% mín. |
| (8) Placa de carga (Módulo de Deformación)..... | 100 MPa mín. |

Fuente: NIC 2018, Especificación de la calidad de los materiales, Pág. 71

6.4.1. CBR con Próctor modificado AASHTO T-180

Siendo el valor de CBR especificado en la norma, al 95% del Próctor Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación de 40% el mínimo para Base en camino de bajo costo.

6.5. Variables a considerar en el diseño por AASHTO 93

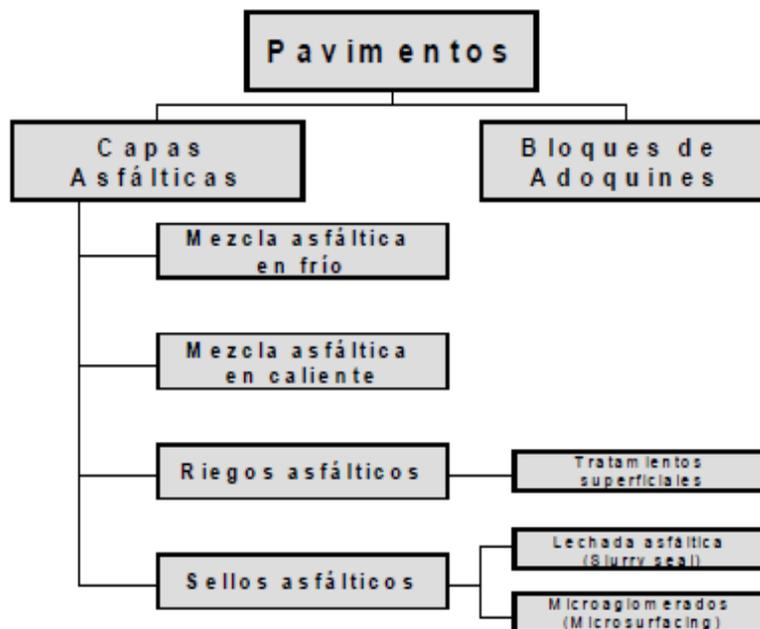
En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips. Se los denominará de aquí en adelante ESAL, que es la sigla en inglés de “Carga de Eje Equivalente Simple”, “Equivalent Single Axle Load”.

Cabe destacar que el pavimento adoquines se considera como un pavimento flexible para efectos de diseño según el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos en su sección “5.2.4”. Superficie de Rodadura en Pavimentos Flexibles. **Ver imagen No.27, Pág.83.**

Imagen No. 27 Tipos de superficie de rodadura en pavimento flexible

Las superficies de rodadura de los pavimentos flexibles se dividen, según se muestra en la figura 5-2:

Figura 5-2
Tipos de superficies de rodadura en pavimentos flexibles



Fuente: Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. Capítulo 5, Pág 12.

6.5.1. Índice de Servicialidad

Se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final la mejor forma para evaluar esto es por el índice servicio presente (PSI), en una escala de 0 a 5, entre mayor sea el número, mejor será su condición al tráfico. Para ello debe asumirse la serviciabilidad inicial, ρ_0 , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción y la serviciabilidad final o terminal, ρ_t , es función de la categoría del camino y es adoptada en base a

ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHTO Road Test:

6.5.1.1. Serviciabilidad inicial:

$\rho_0 = 4.5$ para pavimentos rígidos.

$\rho_0 = 4.2$ para pavimentos flexibles.

6.5.1.2. Serviciabilidad final:

$\rho_t = 2.5$ Lo más para caminos muy importantes.

$\rho_t = 2.0$ para caminos de menor tránsito.

Para la determinación del índice de serviciabilidad de un pavimento se toma en cuenta que la serviciabilidad final de un pavimento (P_t) depende del tránsito y del índice de servicio inicial (P_0).

Las variables a tomar para nuestro diseño son:

ρ_0 (Serviciabilidad Inicial) = 4.2 Para pavimentos flexibles.

ρ_t (Serviciabilidad Final) = 2 Para caminos de menor tránsito.

6.5.2. Pérdida de servicialidad (ΔPSI)

La pérdida de la serviciabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final. (Design of Pavement Structures AASHTO 1993. Chapter II-10)

$$\Delta PSI = \rho_0 - \rho_t$$

Ecuación No. 21

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

6.5.3. Numero 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), el Manual Centroamericano de diseño de pavimentos, establece en el capítulo 3, página 5 que se debe de asumir un valor inicial de SN. Para este diseño se seleccionó el valor **SN=5**.

6.5.4. Análisis de carga y eje equivalente para el diseño de pavimento

El tránsito proveniente del conteo vehicular debe ser dividido para el carril de diseño, siendo en una calle o carretera de dos carriles cualquiera de los carriles. El volumen de tránsito del carril de diseño, se convierte a un determinado número de ESAL, (equivalent single axle load), que es el parámetro usado en el diseño de la estructura del pavimento. El ESAL es un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos.

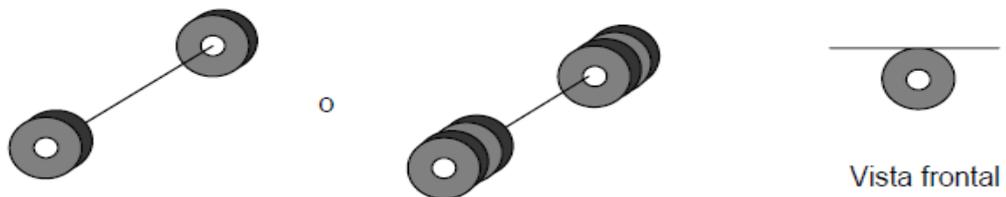
El ESAL pesa 18,000 lb ó 8.2 tn ó 80 kN, y se considera que ejerce un efecto dañino sobre el pavimento como 1.

Hay variedad de tipos de ejes, siendo estos.

Imagen No.28 Tipos de ejes

Tipos de eje

Eje sencillo: Es un eje con una o dos ruedas sencillas en sus extremos.



Eje tandem: Son dos ejes sencillos con ruedas dobles en los extremos.



Eje tridem: Son tres ejes sencillos con ruedas dobles en los extremos.



Fuente: Estudio de tránsito para diseño de pavimentos, ESAL. Capítulo 6.

Haciendo uso del factor de equivalencia de carga (LEF), acumulados durante el período de diseño, se hará uso de las cargas por ejes por cada tipo de vehículo permitidas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (**Ver Anexos, imagen No.45, Página XIV**).

Los factores de equivalencia se obtienen de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes sencillos, tándem y tridem **Ver Anexos, Imágenes No.47, 48, 49, Páginas. XV, XVI, XVII**. Los ejes equivalentes (ESAL) se obtienen conociendo el tránsito de diseño y los factores de equivalencia de carga (LEF), mediante la siguiente expresión:

$$ESAL \text{ o } W18 = TD * LEF$$

Ecuación No. 22

Para realizar el cálculo del ESAL de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularán por el camino durante el periodo de diseño, y el factor de equivalencia de carga. Para obtener dicho factor se considera una **serviciabilidad final de 2.0**, que es el valor que se recomienda para camino de menor tránsito y un número estructural de **SN=5, asumido**.

Para obtener los valores de factores de equivalencia de carga, la mayoría se tuvo que interpolar para obtenerlos, ya que los datos de pesos de cargas permisibles para vehículos livianos suministrados por el MTI, (**Ver Imagen No.29, Pág. 87**) no se encuentran en la tabla suministrada por la AASHTO.

6.5.4.1. Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos

Según el Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI, en su dirección general de vialidad, departamento de pesos y dimensiones, estipula lo siguiente.

Cargas móviles: Para efectos de diseño de estructuras de pavimento de acuerdo a resultados de estudios de tráfico, laboratorios de suelos, muestreos, conteo vehicular y cálculos relacionados, se han identificado que los daños que causa los vehículos livianos a la estructura del pavimento en carreteras nuevas, producto de su desplazamiento sobre la vía, es mínimo a razón de 1

en 50,000 respecto a vehículos pesados, por tal motivo no figura en el diagrama de cargas permisibles de nuestro país, información referida al respecto.

Para efectos de estimaciones de cargas, seguimiento estadístico, control de tráfico y diseño de vehículos se pueden considerar los siguientes pesos por ejes.

Imagen No.29 Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos

Tipo de Vehículo	Peso por eje en TON	Peso por eje en Lbs
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-LIV	4/8	8800/17600
BUS = C2	5/10	11000/22000

Fuente: MTI, Direccion general de vialidad, departamento de pesos y dimensiones.

Obteniendose a traves de interpolaciones los datos para obtener los LEF, y consecuentemente el ESAL de cada vehiculo.

A manera de ejemplo se realizó el cálculo del “LEF” para el vehículo “Camioneta”.

Pesos por Ejes del vehículo en Kips

1^{er} eje = 2.2 kips 2^{do} eje = 4.4 kips

Factores Equivalentes de carga para Pavimentos Flexibles, ejes simples,

Pt = 2.0, SN = 5.0. **(Ver Anexos, Imagen No.47, Pág. XV)**

KIPS	SN 5	KIPS	SN 5
2	0.0002	4	0.002
2.2	x	4.4	x
4	0.002	6	0.009

Siendo el valor obtenido por interpolación de 2.2 Kips, un LEF de 0.00038 para el primer eje de camioneta, y para un valor de 4.4 Kips, un LEF de 0.0034 del segundo eje.

Y realizando interpolaciones, se obtienen los LEF, de cada eje.

Tabla No.31 Interpolaciones para obtener el valor de LEF

INTERPOLACIONES	
EJE SIMPLE SN= 5 ; P_t=2.0	
Carga P/eje (KIPS)	LEF
2	0,0002
2,2	0,00038
4	0,002
4	0,002
4,4	0,0034
6	0,009
8	0,031
8,8	0,0502
10	0,079
10	0,079
11	0,1265
12	0,174
16	0,603
17,6	0,9206
18	1

INTERPOLACIONES	
EJE TANDEM SN=5; P_t=2,0	
Carga P/eje (KIPS)	LEF
36	1,38
36,4	1,45
38	1,73

INTERPOLACIONES	
EJE TRIDEM SN=5; P_t=2,0	
Carga P/eje (KIPS)	LEF
44	0,686
44,1	0,69325
46	0,831

Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo todos los valores de LEF con su correspondiente Tránsito de diseño, se puede proceder a calcular el valor de ESAL para cada tipo de vehículo.

El ESALS se puede ver a través de la **Ecuación No.22** vista en **Pág. 86**.

A continuación se muestra el resultado final en la siguiente Tabla.

Tabla No.32 Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton), con un período de diseño a 15 años, SN = 5 y $P_t = 2$

TIPO DE VEHICULO	TIPO DE EJE	PESO POR EJE (KIPS)	TD	LEF	ESAL Diseño
MOTO	-	0	876418	0	0
	-	0		0	0
AUTOMOVILES	Simple	2,2	764207	0,00038	290,40
	Simple	2,2		0,00038	290,40
JEEP	Simple	2,2	92335	0,00038	35,09
	Simple	2,2		0,00038	35,09
CAMIONETAS	Simple	2,2	645490	0,00038	245,29
	Simple	4,4		0,0034	2194,67
MICROBUS < 15 PAS	Simple	4,4	35741	0,0034	121,52
	Simple	8,8		0,0502	1794,20
MINIBUS 15-30 PAS	Simple	8,8	63889	0,0502	3207,23
	Simple	17,6		0,9206	58816,21
BUS >30 PAS	Simple	11	5539	0,1265	700,68
	Simple	22		2,35	13016,65
C2 2-5 TON	Simple	8,8	138523	0,0502	6953,8546
	Simple	17,6		0,9206	127524,2738
C2 > 5 TON	Simple	11	101572	0,1265	12848,858
	Simple	22		2,35	238694,2
C3	Simple	11	9809	0,1265	1240,8385
	Tandem	36,4		1,45	14223,05
TX-SX<=4	Simple	11	1850	0,1265	234,025
	Tridem	44,1		0,69325	1282,5125
Σ ESAL por tipo de Vehículo					483,749.0288

Fuente: Elaboración propia

ESAL o W18= 483,749.0288 Ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

6.5.5. Confiabilidad (R)

Este valor se refiere al nivel de seguridad ó veracidad de que el diseño de la estructura de pavimento, llegará en buenas condiciones al periodo de diseño estipulado. El factor de confiabilidad toma en cuenta las variaciones en las proyecciones del tráfico y en el cumplimiento del funcionamiento de la predicción, lo que proporciona un determinado nivel de aseguramiento, en la siguiente tabla se presentan valores de confiabilidad recomendados por la AASHTO:

Tabla No. 33 Niveles de Confiabilidad Sugeridos Para Caminos Según su Clasificación Funcional

Clasificación Funcional	Nivel de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Carreteras interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectora	80-95	75-95
Local	50-80	50-80

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures 1993. Design requirements Pág. II-9

Correspondiente a la clasificación funcional de la vía, la guía de la AASHTO 1993, recomienda diferentes niveles de confiabilidad, debido a la ubicación, condiciones de la vía y el tránsito que circula por esta es liviano, se tomará un valor de confiabilidad (**R**) de **75%**, que corresponde a un valor recomendado, para una clasificación como zona urbana y para tipo de camino local.

6.5.6. Desviación Estándar Normal del Error Combinado en la Predicción del Tráfico y Comportamiento Estructural (Z_R)

Este parámetro representa el área bajo la curva de distribución normal para una confiabilidad R . En la siguiente tabla se presentan valores de Z_R en función de la confiabilidad según la AASHTO 93:

Tabla No.34 Equivalencia entre R y Z_R

Confiabilidad (R) %	Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures 1993. Chapter 4 Pág. I-62.

Para el nivel de confianza asumido del 75% le corresponde un valor de desviación estándar de -0.674, esto en base a los valores obtenidos de la AASHTO.

6.5.7. Desviación estándar (S_o)

Es la variación en la predicción del comportamiento de los niveles de servicio del tránsito, teniendo en cuenta los errores en la predicción del 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 las predicciones futuras del tránsito.

Tabla No.35 Desviación Estándar para pavimentos rígidos y flexibles.

CONDICIONES DE DISEÑO	DESVIACION ESTANDAR
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.34 Pavimento Rígido
	0.44 Pavimento Flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.39 Pavimento Rígido
	0.49 Pavimento Flexible

Fuente: Diseño de Pavimento AASHTO 93. Pág. 135.

Para este estudio se seleccionó el valor correspondiente a 0.44, siendo el valor de desviación estándar para pavimento flexible, con la condición de diseño Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.

6.5.8. Coeficiente de drenaje

El drenaje de agua en los pavimentos debe ser considerado como parte importante en el diseño de carreteras. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipa con el tiempo para ocasionar daños a las estructuras del pavimento.

A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje. El método deja en libertad al ingeniero de diseño para identificar cual nivel o calidad de drenaje se logra bajo una serie específica de condiciones de drenaje.

Tabla No.36 Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles

Calidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad proximos a la saturacion			
	< 1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy Pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Fuente: Diseño de Pavimento AASHTO 93. Pág. 148.

Se tomó un valor de 1 debido a que las pruebas de CBR se hacen en condiciones saturadas, siendo el tiempo de prueba para ensayos de CBR de cuatro días de saturación, para representar las peores condiciones de saturación en la base, y subrasante.

6.5.9. Módulo de Resiliencia Efectivo de la Sub rasante (Mr)

La sub rasante es la capa de apoyo de la estructura de pavimento, la característica especial que define la propiedad de los materiales que conforman la sub rasante se le conoce como Modulo de Resiliencia, el cual se obtiene a partir de correlaciones con el valor de CBR de diseño, como se muestra a continuación:

$$CBR < 10 \quad MR (PSI) = 1500 * CBR \quad \text{Ecuación No. 23}$$

$$CBR > 10 < 20 \quad MR (PSI) = 3000 * CBR^{0.65} \quad \text{Ecuación No. 24}$$

$$CBR > 20 \quad MR (PSI) = 4326 * LnCBR + 241 \quad \text{Ecuación No. 25}$$

Para determinar el CBR de diseño de la Subrasante hay que tomar en consideración que en el estudio de suelos se obtuvieron 15 muestras, de las cuales se clasificó en un solo tipo de suelo en el laboratorio, siendo A-2-6, con un **CBR de 22%**, para estudio de análisis del ensayo.

Siendo el CBR de la Subrasante mayor a 20, se procede a calcular el MR de la **Ecuación No. 25**

$$MR = 4326 * \ln(22) + 241$$

$$MR = 13612.8496532 \text{ PSI}$$

6.5.10. Número Estructural SN

Es el número que expresa la resistencia del pavimento en términos del valor de soporte del suelo (Mr), del equivalente diario de 18 kips de carga por eje (ESAL's), y del índice de servicialidad final; los coeficientes adecuados convierten el valor SN en el espesor real de la carpeta de rodamiento y de la base.

El método de la AASHTO 93, designa la aplicación de nomogramas para la estimación de estos valores, dependiendo si se conoce el módulo de elasticidad del asfalto. Se eligió el formato de la AASHTO, debido a que la distribución de las cargas y modos de falla de los pavimentos con adoquines entrelazados de concreto (Pavimento articulado), son muy similares a los pavimentos flexibles, razón por la cual se utilizará un módulo resiliente del concreto asfáltico de 450,000 PSI. **Ver Libro: Design of Pavement Structures 1993. Chapter II Design requirements II-17. Asphalt Concrete Surface course.**

6.5.10.1. Coeficiente estructural de capa de adoquín a1

Utilizando el nomograma para obtener el coeficiente estructural de la capa a1 **Ver Anexo, Imagen No.50, Pág. XVIII**, con un módulo resiliente de 450,000 PSI, al interceptar con el nomograma dado por la AASHTO, se obtiene un valor de coeficiente estructural de capa **a1= 0.45**

6.5.10.2. Coeficiente estructural de capa de base granular a2

El coeficiente estructural para la capa base esté constituida por agregados no-tratados (tal como es el caso de las bases de piedra picada, grava triturada, grava cernida, etc.), se determina, a partir del valor de CBR obtenido del material extraído del banco de materiales Jorge Castro, con un valor de 61%, al hacer uso del nomograma **Ver anexo, Imagen No.51, Pág. XIX**. Se obtuvo el valor de a2, al interceptar el valor del CBR del banco de materiales, obteniéndose un valor de **a2= 0.127**, del mismo nomograma, podemos obtener el valor del módulo resiliente de la base, siendo el valor de **MR= 26,500 PSI**.

6.6. Cálculo de espesores

Resumen de datos obtenidos:

Ejes equivalentes ESALs: 483,749.0288 ejes equivalentes por carril de diseño.

Confiabilidad (%) R: 75

Desviación Estándar So: 0.44

Serviciabilidad Inicial Po: 4.2

Serviciabilidad final Pt: 2.0

Serviciabilidad (Δ psi): 2.2

Propiedades de los materiales

Módulo Resiliente Sub –Rasante: 13612.8496 PSI

Módulo Resiliente Base: 26,500 PSI

Coeficiente Estructural Carpeta Adoquín a1: 0.45

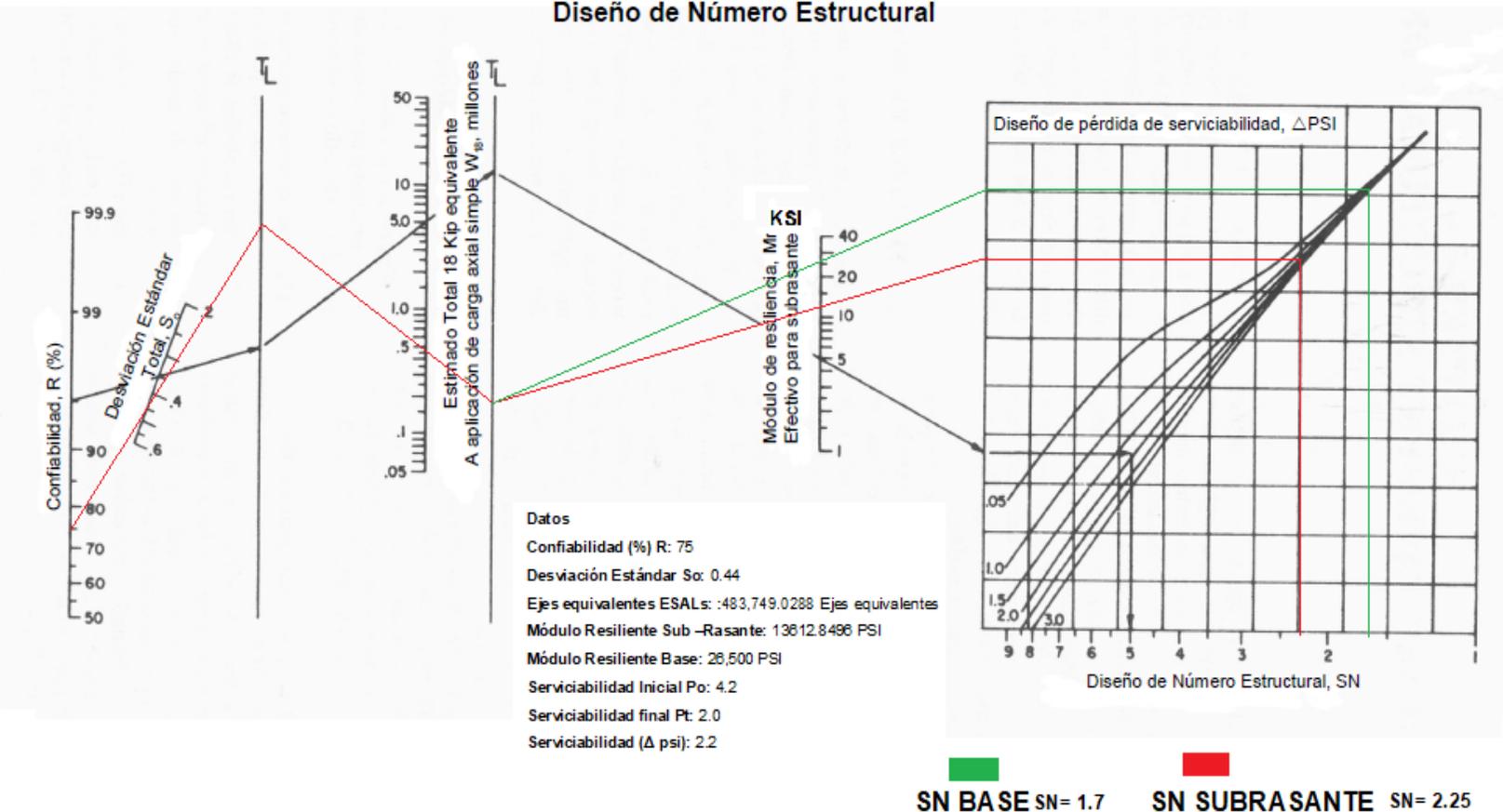
Coeficiente Estructural Base a2: 0.127

Drenaje (mi): 1.00

6.6.1. Cálculo del número estructural SN y espesores de capa D

Para obtener el SN, se hizo uso del ábaco establecido en el libro de diseño de pavimento de la AASHTO 93, el cual es una de las formas para obtener el SN, siendo el otro método, la fórmula de diseño establecida por la AASHTO.

Imagen No.30 Ábaco para diseño de número estructural



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

Fuente: Guia para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO 1993.

6.6.1.1. Procedimiento para calcular los numeros estructural SN

- 1.) Utilizando el ábaco, de la **Imagen No.30** , se comienza con el lado izquierdo del ábaco, donde dice: "Confiabilidad R (%), se sale con valor de $R = 75$.
- 2.) En la siguiente línea inclinada que dice Desviación Standard S_o . se pone el valor de $S_o = 0.44$ y uniendo este punto con el de $R = 75$ del punto anterior, se traza una línea que intercepte la siguiente línea T_L en un punto que va a servir de pivote.
- 3.) En la siguiente línea vertical dice. No. Total de ESAL's aplicados W_{18} (millones)., en esta se encontró el valor de ESAL's = $483,749.0288 = 0.48$, cercano al 0.5 en el ábaco; entonces uniendo el punto de pivote de la línea anterior con este nuevo punto, se encuentra otro punto pivote en la siguiente línea vertical T_L .
- 4.) En la siguiente línea vertical que dice Módulo Resiliente efectivo de la subrasante (KSI)., se encuentra el valor de M_r (Mpa-psi) = 13612.8496 PSI = 13.6 KSI para Subrasante. Se une el último punto pivote encontrado anteriormente y el valor de 13.6 en esta línea hasta encontrar la primera línea vertical izquierda del cuadro situado a la extrema derecha.
- 5.) De este punto de intersección, se continúa horizontalmente hasta encontrar la línea inclinada que corresponde a un valor de Δ PSI = $2,2$ que es Pérdida de serviciabilidad de diseño ó Δ PSI., de este punto se baja a la línea inferior del cuadro en donde se encuentra el Número estructural de diseño SN., que para el caso es **2.25** (para proteger la subrasante) que es el Número Estructural **requerido** para proteger toda la estructura del pavimento.
- 6.) Para el siguiente valor de Modulo resiliente de la base = 26500 PSI = 26.5 KSI el valor de SN_1 es **1.7**, para proteger la Base.
- 7.) Los valores de los coeficientes estructurales se obtuvieron de los nomogramas brindados por la guía de diseño de pavimentos de la AASHTO. **Ver anexos, Imágenes No.50 y No.51, Pág. XVIII y XIX.**
- 8.) Con el valor del módulo elástico del concreto asfáltico (Mpa = $450,000$), mismo valor de uso para diseño en pavimento articulado (adoquín), se encuentra el coeficiente estructural de capa a_1 haciendo uso del nomograma **Ver anexos, Imagen.No.50 Pág. XVIII**; para el caso, saliendo

del valor de 450,000 en la figura hacia arriba a interceptar la línea de pivote y de allí horizontalmente hacia la izquierda para encontrar el valor correspondiente de $a_1 = 0.45$.

- 9.) El coeficiente estructural para la capa base esté constituida por agregados no-tratados (tal como es el caso de las bases de piedra picada, grava triturada, grava cernida, etc.), se determina, a partir del valor de CBR obtenido del material extraído del banco de materiales Jorge Castro, con un valor de 61%, al hacer uso del nomograma **Ver anexo, Imagen No.51 Pág. XIX** se obtuvo el valor de a_2 , al interceptar el valor del CBR del banco de materiales, obteniéndose un valor de $a_2 = 0.127$, del mismo nomograma, podemos obtener el valor del módulo resiliente de la base, siendo el valor de **MR= 26,500 PSI**.
- 10.) El coeficiente de drenaje (m_i), fue estipulado en la **Tabla No.36, Pág. 92** Siendo el valor de $m_i = 1$.

6.6.1.2. Cálculo de espesores

Para el cálculo de SN; se utilizó el nomograma para resolver la ecuación AASHTO (ver Anexos capítulo V. Anexo 3, página XVII). Obteniéndose un resultado de **SN para subrasante = 2.25, (siendo este valor el SN Requerido para proteger la Subrasante)** y SN para base = 1.7.

El espesor del adoquín es estándar de 4 pulgadas. Por tanto, SN_1 ya está dado: Siendo el valor de $D_1 = 4$ pulgadas de espesor.

$SN_1 =$ Superficie de rodadura (Adoquín)

Se calcula un valor de espesor de adoquín, suponiendo un MR igual al de la base, así se calcula el SN_1 , que debe ser absorbido por el adoquín.

Se adopta un espesor D_1^* de 4 pulgadas (Espesor estándar para adoquines) y el número estructural absorbido por esta capa (Adoquín a_1) es: 0.45

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

Ecuación No. 26

$$SN_1 = 0.45 * 4$$

$$SN_1^* = 1.8$$

Siendo $SN_1^* = 1.8$ el valor del SN del adoquín.

Base

Para determinar el espesor mínimo de la base, se entra al ábaco con el MR de la subrasante **SN= 2.25** y entonces se obtiene el SN_2 , a ser absorbido por el adoquín y la base. Así:

$$SN = SN_2 - SN_1^* \quad \text{Ecuación No. 27}$$

$$SN = 2.25 - 1.8$$

$$SN = 0.45$$

$$D2 = SN/a_2 \times m \quad \text{Ecuación No. 28}$$

$$D2 = 0.45 / (0.127 \times 1)$$

$$D2^* = 3.54 \text{ pulgadas de base}$$

Verificación:

El Número estructural calculado, debe ser mayor o igual al Número estructural requerido, por lo tanto, se procede a verificar de la siguiente manera.

$$SN = a_1 \times D1 + a_2 \times D2 \times m_2 \quad \text{Ecuación No. 29}$$

$$SN = (0.45 \times 4) + (0.127 \times 3.54 \times 1.00)$$

$$SN = 1.8 + 0.44958$$

$$SN = 2.24958$$

$$SN_1^* + SN_2 \geq SN$$

$2.24958 < 2.25$ **No cumple condición, por un valor muy cercano**

Siendo el valor del SN requerido de 2.25, se puede proceder a aumentar el espesor de la base, de 3.54 pulgadas a 4 pulgadas, para proteger más la subrasante. Por lo tanto, se procede a hacer la verificación con 4 pulgadas.

$$SN = a_1 \times D1 + a_2 \times D2 \times m_2$$

$$SN = (0.45 \times 4) + (0.127 \times 4 \times 1.00)$$

$$SN = 1.8 + 0.508$$

$$SN = 2.308$$

SN1* + SN2 ≥ SN Requerido

2.308 > 2.25 **OK Cumple con la condición**

Nota: La AASHTO, ha establecido espesores mínimos para base, según rangos de ESAL, a como se puede ver en la siguiente imagen.

Imagen No.31 Espesores mínimos para Base según el ESAL

Minimum Thickness (inches)		
Traffic, ESAL's	Asphalt Concrete	Aggregate Base
Less than 50,000	1 0 (or surface treatment)	4
50,001-150,000	2 0	4
150,001-500,000	2 5	4
500,001-2,000,000	3 0	6
2,000,001-7,000,000	3 5	6
Greater than 7,000,000	4 0	6

Fuente: Design of Pavement structures AASHTO 1993. Design requirements II-35

El valor de ESAL calculado fue de 483,749.0288 ejes equivalentes por carril de diseño. Entrando en el rango de 150,001 - 500,000 con base agregado de 4 pulgadas.

Por lo tanto, el valor de base siendo analizada según el ESAL, y por Numero estructural es de 4 pulgadas (10 centímetros)

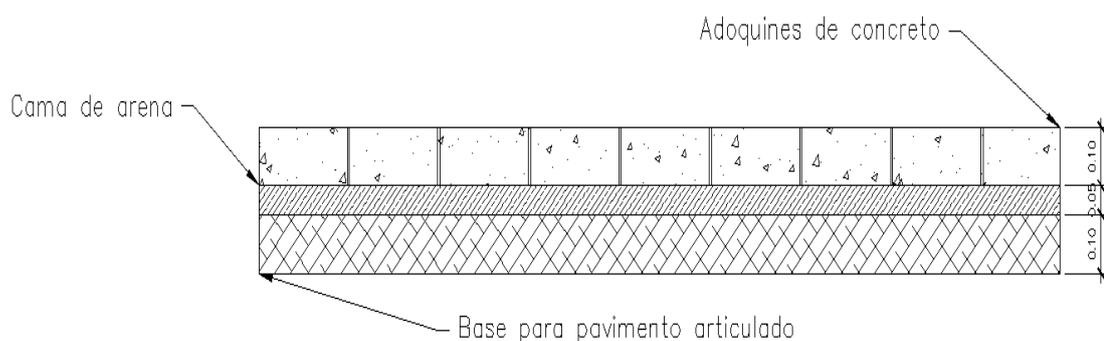
Siendo la estructura de pavimento articulado, compuesta por:

Superficie de rodadura (Adoquín) = 4 pulgadas (10 centímetros)

Cama de arena = 2 pulgadas (5 centímetros)

Base = 4 pulgadas (10 centímetros)

Imagen No.32 Estructura final de pavimento articulado



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

7.1. Conclusiones

De acuerdo a los estudios realizados en este estudio monográfico, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- Se determinó la clasificación de la vía dando como resultado una calle urbana local por medio del Libro Verde de la AASHTO 2011, Diseño Geométricos de Caminos y Calles, con una velocidad de 30 km/h. Los bombeos de las calles son variables ya que contienen cunetas existentes, esto quiere decir que la rasante y secciones típicas se ajustaron a ellas.
- Para todos los tramos en estudio, se realizó el diseño de alineamiento vertical, cumpliendo el criterio de distancia visual de parada en todos los planos de calles. Exceptuando los criterios de distancia visual de rebase. Citando la misma AASHTO 2011, nos dice que este criterio de diseño rara vez se aplica en las calles locales.
- Los suelos que más predominan en el barrio son tipo A-2-6, siendo estos, suelos granulares por su clasificación AASHTO. En general, los suelos extraídos del barrio sometidos a ensayo de CBR obtuvieron un valor de 22%, teniendo una clasificación cualitativa de regular a buena, para un uso de subrasante, y la muestra de suelo del Banco de Materiales Jorge Castro sometida a ensayo de CBR, se obtuvo un valor de 61%, teniendo una calificación buena, siendo su uso para base. La NIC-2018, en su division II, seccion 1000, especificacion de la calidad de los materiales establece que para caminos de bajo costo el valor de CBR para base debe ser como mínimo 40%.
- El estudio de tránsito refleja que para la zona en estudio, el rango de vehiculos que circula es mayoritariamente tráfico liviano siendo este un 87%, vehiculos pesado de pasajeros con 4%, y vehiculos pesados con un 9%.

- El ESALS obtenido en el carril de diseño fue de 483,749.0288 ejes equivalentes a 18 kips, en el periodo de diseño de 15 años. Los resultados obtenidos para espesor de pavimentos realizados por el método de la AASHTO 93 por medio de ábaco para obtener los números estructurales que protegerán la subrasante, se estimó una base de 4 pulgadas (10 centímetros), cumpliendo con las especificaciones de la AASHTO 93, en relación al valor ESALS y su espesor mínimo, los valores de espesor de adoquín son constantes, siendo de 10 centímetros, y una cama de arena entre adoquín y base de 5 centímetros.

7.2. Recomendaciones

- En lo que respecta al material obtenido del Banco de materiales, este debe de estar libre de cualquier materia orgánica, siendo este material ocupado para base de la estructura de pavimento.
- Para la carpeta de rodamiento se recomienda emplear adoquines de concreto de 10 cm de espesor tipo tráfico, que deberá tener una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de 250 kg/cm² (3,500 PSI).
- Se deberá llevar un estricto control de compactación de campo al momento de colocar los materiales de los bancos.
- Realizar mantenimientos periódicos de manera preventiva para así evitar altos costos de mantenimiento.

Bibliografía

- AASHTO. (2011). *Política sobre Diseño Geométrico de Caminos y Calles 6th Edition Libro verde*. AASHTO.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO, Guide for design of pavement structures*. Washington, D.C.: AASHTO.
- Coronado, J. I. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*, SIECA.
- Juárez Badillo, E. &. (2004). *Mecánica de suelos Teoría y aplicación de la mecánica de suelos*. México, D.F. . México: Limusa, S.A. .
- Leclair, R. Ing. . (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras regionales*. GUATEMALA: PROALCA, II, SIECA.
- SIECA (2014). *Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito*. GUATEMALA.
- MTI. (2018). *Normas NIC 2018, Division II, Especificación de calidad de los materiales*. Managua.
- Universidad Nacional de Ingeniería. (2019). *Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelo*. Managua.

ANEXOS

Imagen No.33 Leyenda de calles del Barrio Monte Tabor



Fuente: Elaboración propia

Fotografía No.1 Asesoramiento con el Ing. Carlos González para la realización del Levantamiento Topográfico.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía No.2 Teodolito utilizado en el levantamiento.



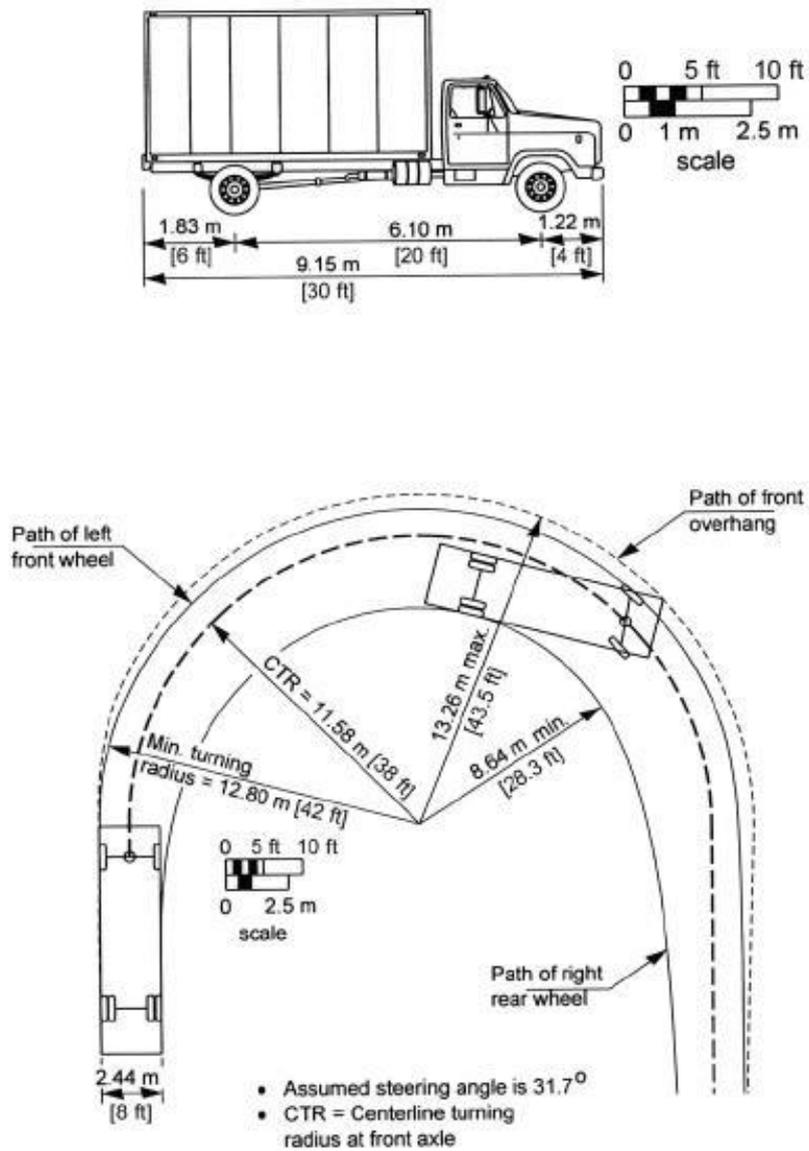
Fuente: Elaboración propia

Fotografía No.3 Nivel marca WILD Heerbrugg N10-60331 utilizado en el levantamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen No.34 Características Estructurales Funcionales-Operativas del Vehículo de Diseño C2.



Fuente: AASHTO A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011.

Imagen No.35 Leyenda de Elevaciones.

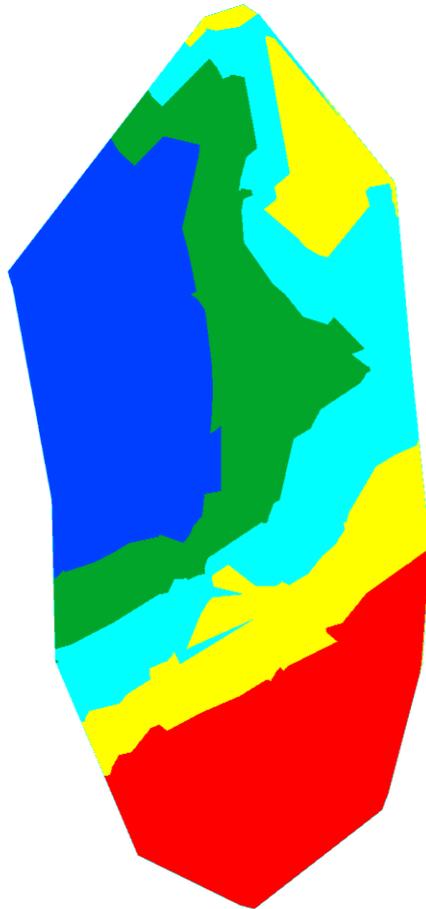
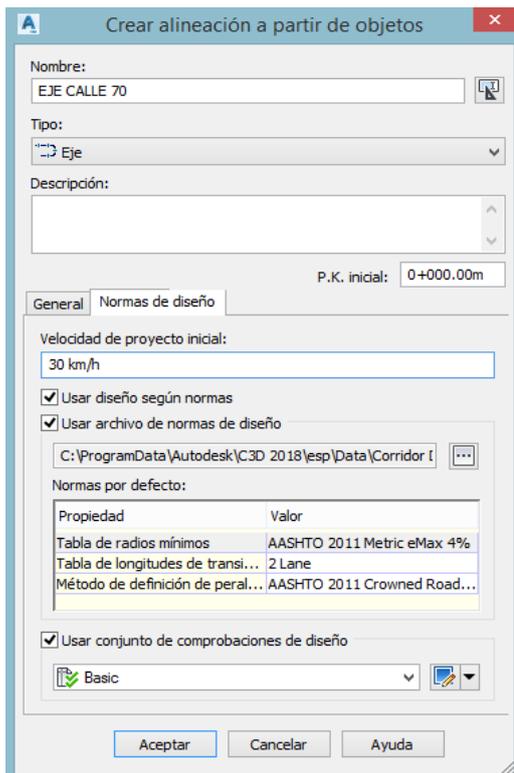


TABLA DE ELEVACIONES				
NÚMERO	COTA MÍNIMA	COTA MÁXIMA	ÁREA	COLOR
1	95.82	98.86	10065.08	■
2	98.86	99.93	7875.83	■
3	99.93	101.00	8567.37	■
4	101.00	101.97	6912.94	■
5	101.97	105.55	8784.03	■

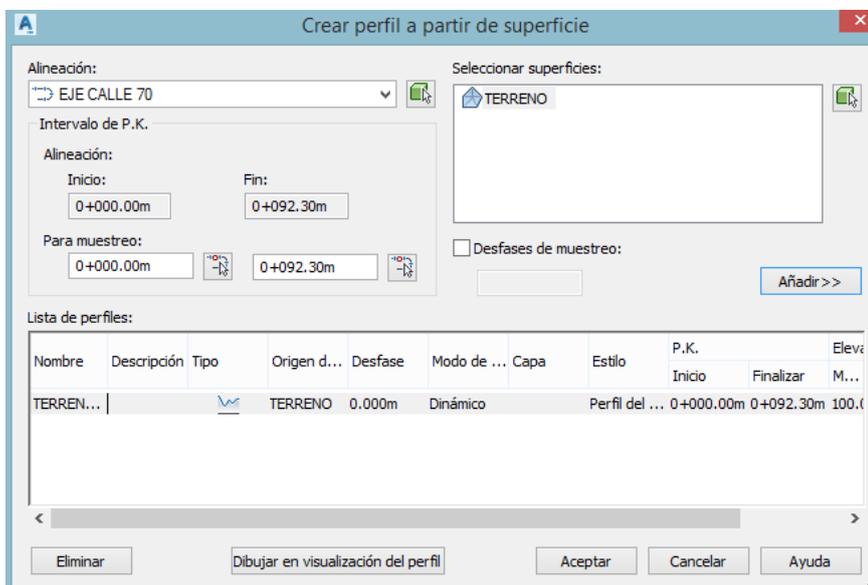
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

Imagen No.36 Creación de alineamientos de eje de calles



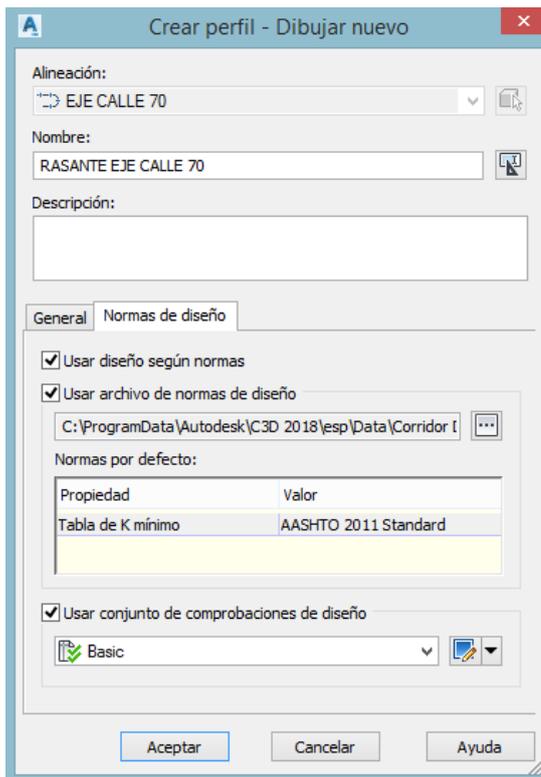
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

Imagen No.37 Creación de perfil longitudinal



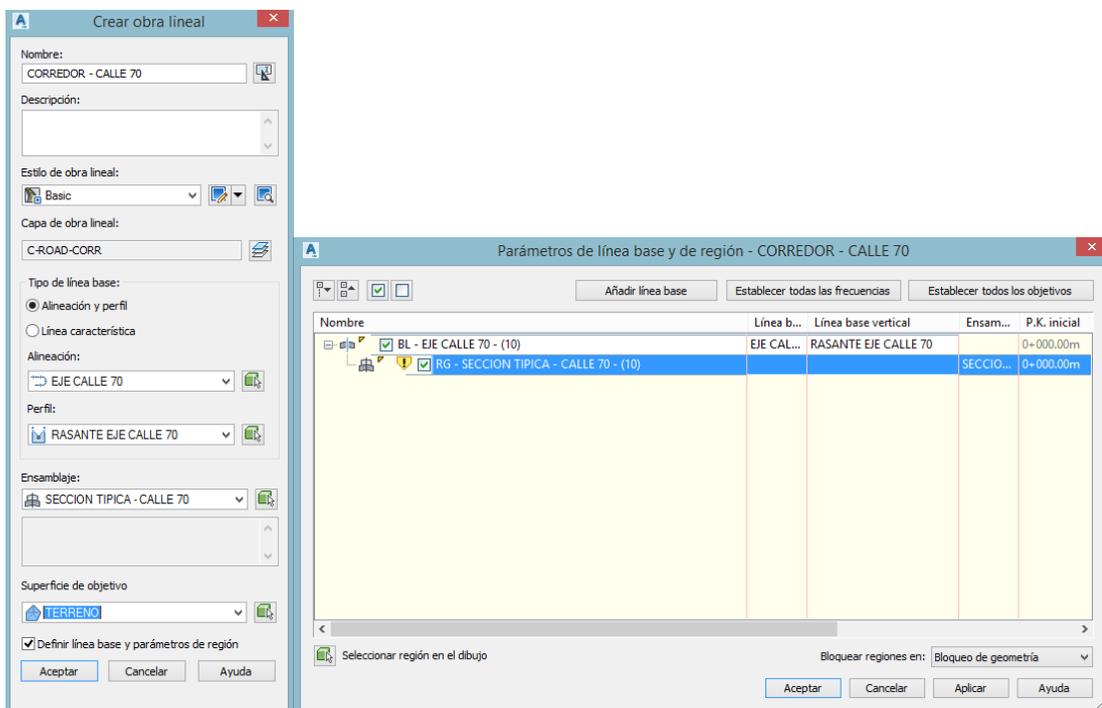
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

Imagen No.38 Creación de rasante en el perfil longitudinal



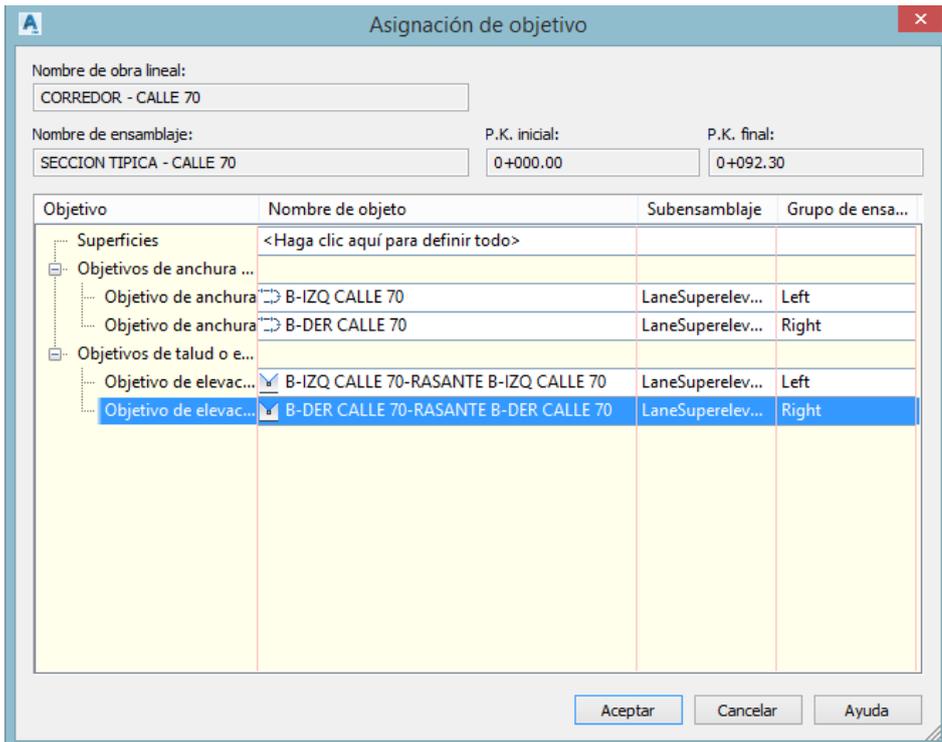
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

Imágenes No.39 Creación de Obra Lineal.



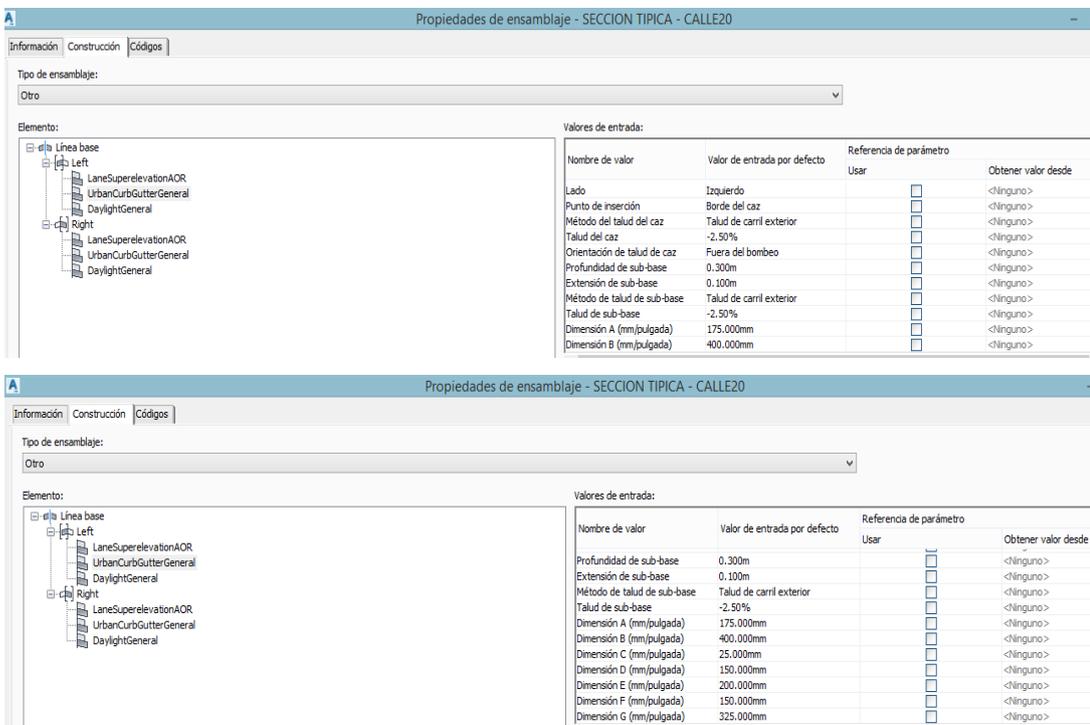
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

Imagen No. 40 Asignación de Target



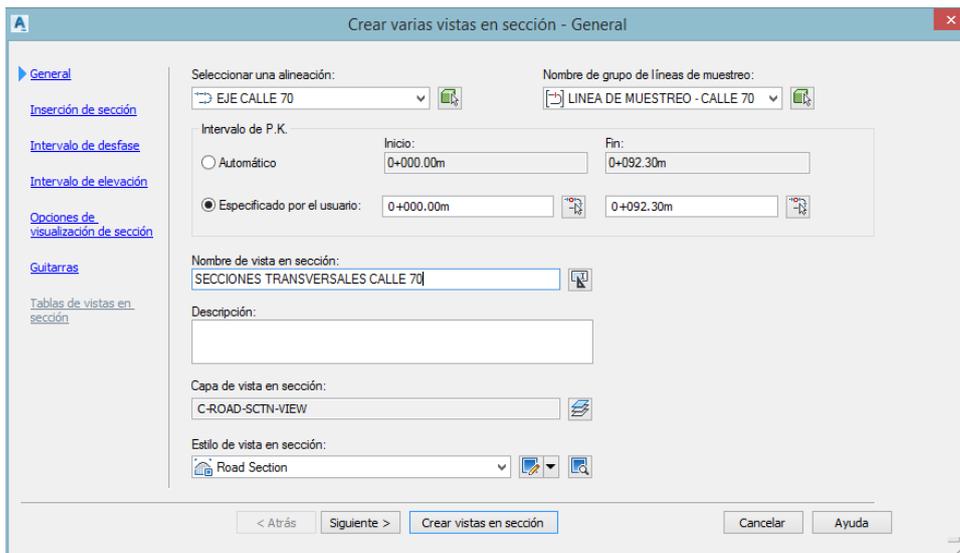
Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

Imágenes No.41 Propiedades del Diseño de Cuneta, Calle 20.



Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

Imagen No.42 Creación de secciones transversales



Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D

Fotografía No.4 Representación de calle con cunetas existentes.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen No.43 Sondeos Barrio Monte Tabor



Fuente: Elaboración propia

Fotografía No.5 Muestras obtenidas de los sondeos realizados en el barrio Monte Tabor.



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía No. 6 Ensaye de Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

Fotografía No.7 Ensayo de CBR.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen No.44 Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico de la oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y Puentes.

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

Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y Puentes

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico año 2017. Pág. 33

Imagen No.45 Pesos máximos permisibles por tipo de vehículo

PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS								
TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
C2		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

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.
a : Eje sencillo llanta sencilla.
b : Eje sencillo llanta doble.

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, DGP-DAV.

Imagen No.46 Diagrama de cargas permisibles

Tipo de Vehículo	Peso por eje en TON	Peso por eje en Lbs
AUTOMOVIL	1/1	2200/2200
JEEP	1/1	2200/2200
CAMIONETA	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-LIV	4/8	8800/17600
BUS = C2	5/10	11000/22000

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI

Imagen No.47 Tabla de Factores Equivalente de Carga Eje Simple

TABLAS DE FACTORES EQUIVALENTE DE CARGA³

Tabla 3-1

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t = 2,0$

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.

³ AASHTO Guía para el diseño de estructuras de pavimento, 1,993, tablas D-1 a D-18

Fuente: AASHTO, Guía para el diseño de estructuras de pavimento 1993.

Imagen No.48 Tabla de Factores Equivalente de Carga Eje Tándem

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt = 2,0

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.068	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.158	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: AASHTO, Guía para el diseño de estructuras de pavimento 1993.

Imagen No.49 Tabla de Factores Equivalente de Carga Eje Trídem

Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem, Pt = 2,0

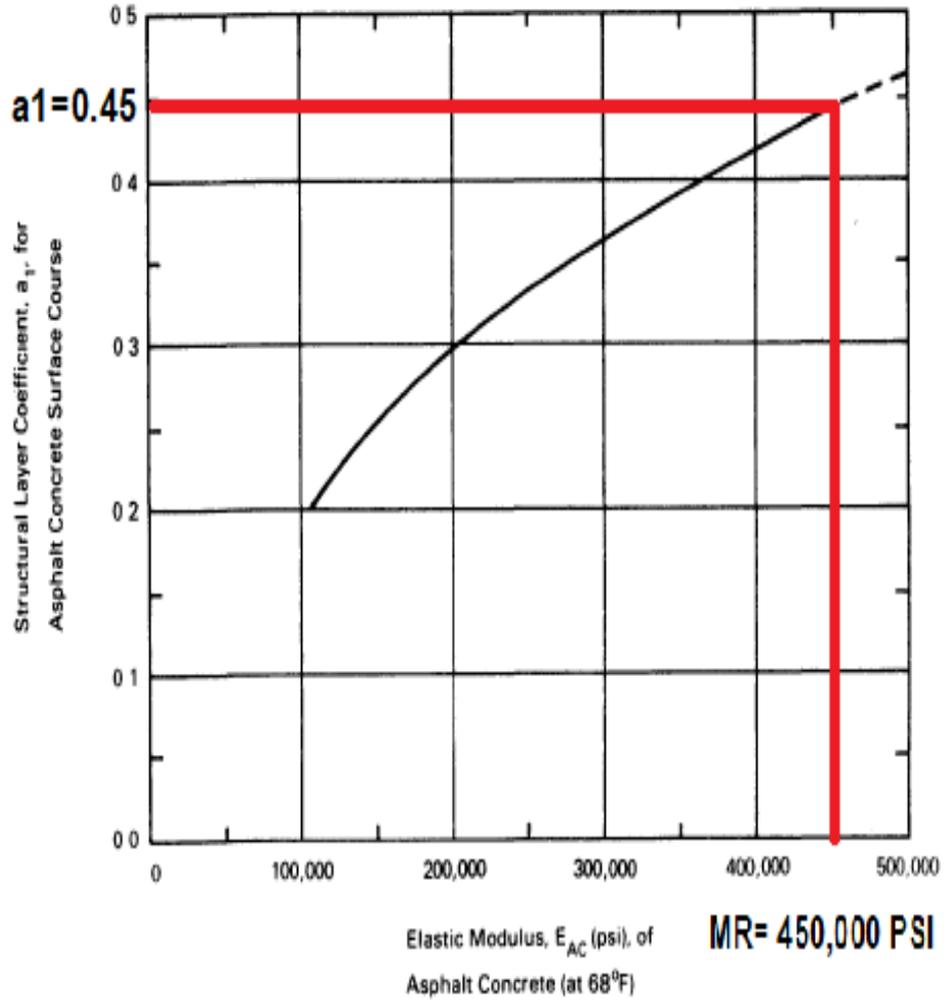
Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.976	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Fuente: AASHTO, Guía para el diseño de estructuras de pavimento 1993.

Imagen No.50 Nomograma de coeficiente estructural a1 para adoquín

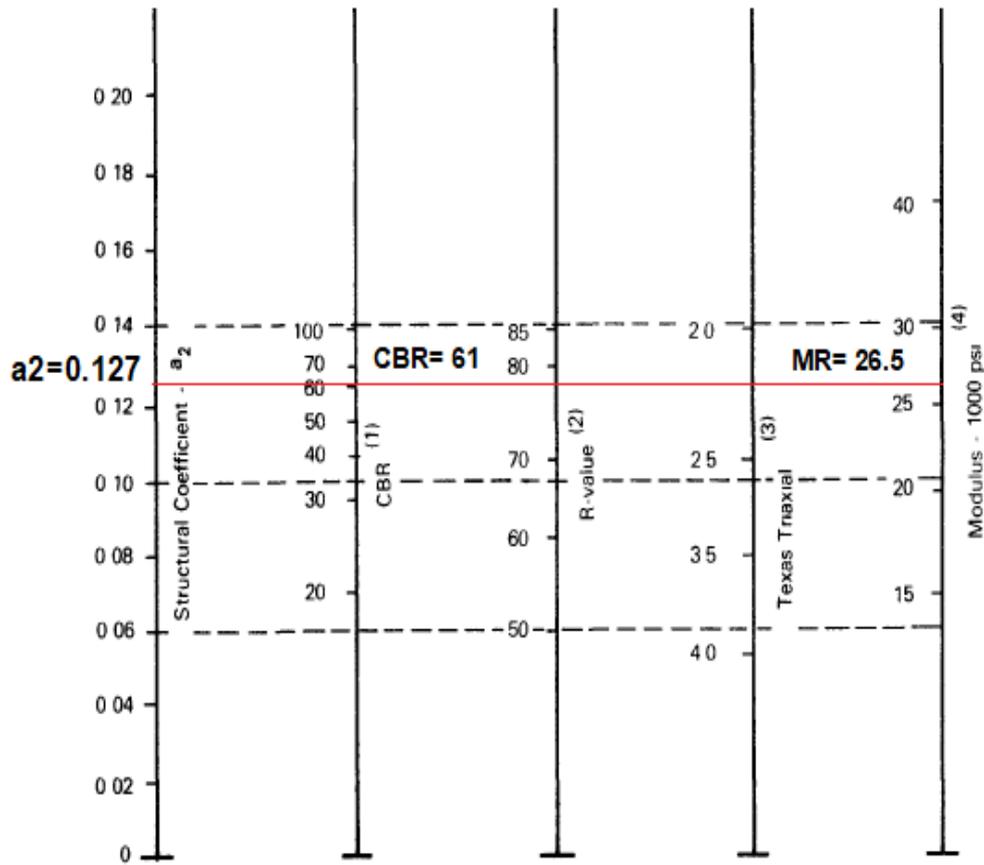
II-18

Design of Pavement Structures



Fuente: Design of Pavement Structures 1993. Chapter II Design requirements II-18

Imagen No.51 Nomograma de coeficiente estructural a_2 para Base



- (1) Scale derived by averaging correlations obtained from Illinois
- (2) Scale derived by averaging correlations obtained from California, New Mexico and Wyoming
- (3) Scale derived by averaging correlations obtained from Texas
- (4) Scale derived on NCHRP project (3)

Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters (3)

Fuente: Design of Pavement Structures 1993. Chapter II Design requirements II-19

PLANOS

PLANTA-PERFIL

SECCIONES TRANSVERSALES