



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**PROPUESTA DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURAL DE  
PAVIMENTO ARTICULADO, DE 5 KM DE LA COMUNIDAD EL NARANJO-  
GUASUYUCA, MUNICIPIO DE ESTELI**

**Para optar al título de ingeniero civil**

**Elaborado Por:**

Br. Kenneth Nordiel Pérez Matamoros

Br. Bryan Rafael Palma

Br. Miguel Iván Gutiérrez Rugama

**Tutor:**

Ing. Gioconda Isabel Juárez Romero

Managua, Abril 2021

## **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, Roger Pérez González, Gladys Matamoros Sevilla, 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 hermano, Roger Pérez Matamoros, 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 abuelos, que, con sus buenos deseos, y consejos han hecho de mí, un mejor ser, a lo largo de mi vida.

A mis amigos y compañeros, 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. Kenneth Pérez Matamoros

## DEDICATORIA

Primeramente, a Dios todo poderoso que ha sido el que ha dado la fuerza para seguir adelante a pesar de las adversidades, dándome salud y bienestar, me dio la oportunidad de conocer personas maravillosas que me han brindado su apoyo en momentos difíciles, él que me ha guiado durante mi vida y en especial en mi carrera universitaria.

A mi madre Katia Del Carmen Palma, quien es madre y padre, ha estado conmigo siempre, una mujer que inspira a ser mejor cada día, ella es el motor que me ha impulsado a seguir adelante, dándome su amor incondicional, su apoyo cuando más falta me ha hecho a pesar de todas las limitaciones que hemos pasado. Ella me ha aconsejado siempre a ser una persona con valores y principios para así lograr todas las metas que me he planteado a lo largo de mi vida, sin ella no hubiese llegado hasta donde estoy.

A mi hermana Francela Nahomi Palma, a pesar de ser mi hermana menor siempre me ha apoyado, dándome su compañía y momentos llenos de alegría a lo largo de mi vida, de los cuales siempre llevo en mi corazón y me inspiran a seguir adelante.

A mis abuelas, Lidia Palma y Rosa Pérez, dos mujeres trabajadoras que me han enseñado a no darme por vencido y siempre dar mi mejor esfuerzo en todo lo que haga, han sido como mis segundas madres siempre dándome su amor y cariño, y sus consejos que siempre son muy valiosos para mí.

A mi tía Francisca que siendo maestra siempre contribuyó en mi educación y apoyo durante toda mi vida.

A todos mis amigos y compañeros de clases, por todos los momentos increíbles que vivimos, buenos y malos, ellos contribuyeron a que ésta haya sido una de las etapas más inolvidables de mi vida.

Br. Bryan Rafael Palma

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada especialmente a Dios, por prestarme la vida, cuidarme en todo este trayecto y por darme sabiduría.

A mis padres por ser las personas que me han acompañado durante todo mi proyecto estudiantil y de vida y son los que me han ayudado en los momentos más difíciles.

A mi hermana que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo.

A mis compañeros de tesis Kenneth Nordiel Pérez Matamoros y Bryan Rafael Palma: Amigos incondicionales y a todas aquellas personas que directa e indirectamente aportaron sus conocimientos para la elaboración de esta tesis.

Br. Miguel Iván Gutiérrez Rugama

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, a Dios por darme la fuerza y la salud para culminar mis estudios, una meta que nos establecemos desde que estamos bien pequeños.

A mis padres y hermanos por siempre apoyarme en todo momento a pesar de los momentos difíciles, dificultades y por sus ánimos para poder culminar exitosamente la carrera.

A cada una de las personas que participaron y nos ayudaron, brindándonos sus consejos y conocimientos, como el Ing. Francisco Aguirre, siendo nuestro mentor en el levantamiento topográfico y a todas las personas que con sus conocimientos nos fueron de mucha ayuda a lo largo del desarrollo de nuestro trabajo monográfico.

A nuestra tutora Ing. Gioconda Isabel Juárez, quien nos guio de manera clara y nos apoyó en todo el trayecto de nuestro trabajo monográfico.

Y a todos esos amigos, profesores y compañeros que nos brindaron su ayuda, fuerza y ánimo para lograr terminar nuestros estudios de la mejor manera.

Br. Kenneth Pérez Matamoros

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, a Dios por darme la oportunidad y la fuerza para culminar mis estudios, una meta que nos establecimos desde que tenemos uso de razón.

A mi familia que siempre me apoyaron incondicionalmente para lograr esta meta de culminar mis estudios de manera exitosa.

A cada una de las personas que participaron y nos ayudaron, brindándonos sus consejos y conocimientos, como el Ing. Francisco Aguirre, siendo nuestro mentor en el levantamiento topográfico y a todas las personas que con sus conocimientos nos fueron de mucha ayuda a lo largo del desarrollo de nuestro trabajo monográfico.

A nuestra tutora Ing. Gioconda Isabel Juárez, quien nos guio de manera clara y nos apoyó en todo el trayecto de nuestro trabajo monográfico.

Y a todos esos amigos y compañeros que nos brindaron su ayuda, fuerza y ánimo para lograr terminar nuestros estudios de la mejor manera.

Br. Bryan Rafael Palma.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por llevarme hasta esta etapa de mi vida, por darme sabiduría y entendimiento, a mis compañeros de tesis que sin la ayuda de ellos esto no hubiera sido posible, A mi madre: Ivania Lisseth Rugama Urbina y a mi padre: Miguel Ángel Gutiérrez, ellos han sido el motivo para seguir adelante y vencer los obstáculos que se interpusieron en mi camino.

Br. Miguel Iván Gutiérrez Rugama

## **RESUMEN EJECUTIVO**

### **CAPITULO I GENERALIDADES**

Se muestra la información relevante que se tendrá en cuenta para la realización del diseño geométrico y estructural de pavimento articulado de 5km de la comunidad El Naranjo-Guasuyuca, municipio de Estelí. Se destacan aspectos generales de los poblados que se verán directamente influenciados por este proyecto.

### **CAPITULO II ESTUDIO DE TRÁNSITO**

Se analiza el tránsito diurno del tramo para luego determinar el tránsito promedio diario anual que circula en el tramo y obtener los ejes equivalentes (ESAL's) a los que será sometida la estructura de pavimento durante el periodo de análisis.

### **CAPITULO III ESTUDIO DE SUELO**

Se presenta un análisis exhaustivo de los resultados de las muestras obtenidas en campo. Se estudian los datos de CBR, granulometría y límites de atterberg a partir de ensayos que se realizaron a lo largo de la línea del camino y en los diferentes bancos encontrados, para identificar los tipos de suelos existentes determinando la factibilidad de su uso y su correcta utilización al momento de la ejecución de la obra.

### **CAPITULO IV ESTUDIO TOPOGRÁFICO**

Se realizó un estudio topográfico sobre el tramo en estudio para representar y determinar el relieve del terreno natural, posteriormente realizar el diseño geométrico. Se aplicó el método de levantamiento topográfico de perfil longitudinal y secciones transversales.

## **CAPITULO V DISEÑO GEOMÉTRICO**

Se diseña geométricamente 5Km del tramo “Comunidad El Naranjo-Comunidad Guasuyuca”, Estelí; el diseño consta de un alineamiento horizontal y vertical, basándose en (Manual Centramericano De Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras., 2011), con el programa AutoCAD Civil 3D, el cual incluyó la definición de cada uno de los principales criterios de diseño.

## **CAPITULO VI DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO**

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

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Conclusión: En este documento se representarán los resultados obtenidos de manera cualitativa y cuantitativa.

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

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

## INDICE

### CAPITULO I-GENERALIDADES

1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes .....	2
1.3. Justificación .....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4

### CAPITULO II-ESTUDIO DE TRANSITO

2.1. Definiciones básicas .....	5
2.1.1 Estudio de Tránsito .....	5
2.1.2 Composición vehicular .....	5
2.1.3 Proyección vehicular .....	8
2.1.4 Volumen de tráfico.....	8
2.1.5 Aforo vehicular .....	10
2.1.6. Análisis de cargas equivalentes .....	10
2.1.7. Tipos de estaciones de conteo vehicular.....	10
2.2. Trabajo de campo y representación de resultados .....	11
2.2.1 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	13
2.2.2. Estación de corta duración asociada al camino en estudio .....	13
2.2.3. Estación mayor cobertura.....	13
2.2.4. Expansión a 24 horas.....	15
2.2.5. Expansión a Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA <sub>2020</sub> ).....	16
2.3. Proyección del tráfico para el año 2035.....	19
2.3.1 Crecimiento poblacional .....	19

2.3.2. Crecimiento vehicular .....	21
2.3.3. Producto Interno Bruto (PIB) .....	24
2.4. Tránsito de diseño .....	27
2.4.1. Periodo de diseño.....	27
2.4.2. Factor Direccional.....	28
2.4.3. Factor de Distribución por carril.....	28
2.4.4. Factor de Crecimiento (FC) .....	29
2.4.5. Transito proyecto en el año n .....	29
2.4.6. Tránsito de diseño .....	30
2.4.7. Factor ESAL's .....	31

### **CAPITULO III-ESTUDIO DE SUELO**

3.1. Definiciones .....	34
3.1.1. Estudio de suelo .....	34
3.1.2. Sondeos Manuales sobre la línea .....	35
3.1.3 Estudio geológico de superficie .....	36
3.1.4 Clasificación de suelos AASHTO .....	37
3.2. Actividades de laboratorio.....	39
3.2.1. Ensayo de granulometría .....	40
3.2.2. Límites de Atterberg y clasificación de suelo.....	44
3.2.3. Ensayo de Proctor Estándar.....	46
3.3.4. Ensayo de valor Relativo Soporte o Relación de soporte de California. .....	51
3.3.5. Determinación del CBR de diseño.....	53

### **CAPITULO IV-LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO**

4.1. Definiciones .....	57
-------------------------	----

4.2.1 Levantamiento topográfico.....	57
4.2.2. Levantamiento de línea central.....	57
4.2.3. Levantamiento de derecho de vía y otros detalles.....	57
4.2.4. Levantamiento topográfico en el tramo El Naranjo-Guasuyuca.....	58

## **CAPITULO V-DISEÑO ESTRUCTURAL**

5.1. Definiciones.....	62
5.2. Diseño de pavimento articulado.....	63
5.2.1. Adoquines.....	63
5.2.2. Cama de arena.....	63
5.2.3. Base.....	63
5.3. Materiales a usar según normas NIC 2018.....	64
5.4. Variables a considerar en el diseño por AASHTO 93.....	65
5.4.1. Índice de serviciabilidad.....	66
5.4.2. Pérdida de serviciabilidad ( $\Delta$ PSI).....	67
5.4.3. Número Estructural Asumido (SN).....	67
5.4.5. Confiabilidad.....	70
5.4.6. Desviación Estándar Normal del Error Combinado en la Predicción del Tráfico y Comportamiento Estructural (ZR).....	71
5.4.7. Desviación estándar ( $S_o$ ).....	71
5.4.8. Coeficiente de drenaje.....	72
5.4.9. Módulo de Resiliencia Efectivo de la Sub rasante (Mr).....	73
5.4.10. Coeficiente estructural.....	74
5.5. Cálculo de espesores.....	75
5.5.1. Resumen de datos obtenidos.....	75
5.5.2. Cálculo del Número estructural SN y espesores de capa D.....	76

## CAPITULO VI-DISEÑO GEOMETRICO DE LA VIA

6.1 Introducción .....	82
6.2 Topografía del sitio en estudio .....	82
6.3 Levantamiento topográfico .....	83
6.3.1 Método utilizado. ....	83
6.4 Velocidad de diseño.....	83
6.4.1 Tipo de área donde ejecutara el proyecto .....	84
6.4.2 Condiciones del terreno.....	84
6.4.3 Volúmenes de tránsito.....	85
6.5 Distancia de visibilidad de parada.....	86
6.6 Curvas de nivel.....	88
6.7 Alineamiento horizontal .....	88
6.7.1. Peralte máximo (emax). ....	89
6.7.2. Factor de fricción lateral (f).....	90
6.7.3. Radio mínimo. ....	91
6.7.4 Longitud de transición. ....	91
6.7.5 Transición de peralte. ....	92
6.7.6. Sobreancho en curvas.....	93
6.8. Alineamiento vertical.....	100
6.8.1 Curvas verticales .....	100
6.8.2. Pendiente Longitudinal mínima. ....	104
6.8.3. Pendiente Longitudinal maxima. ....	104
6.9 Sección transversal.....	105
6.19.1 Plataforma o corona .....	105
6.9.2 Bombeo Normal. ....	106

6.9.3 Hombros o espaldones.....	107
6.9.4 Número de carriles. ....	108
6.9.5 Ancho de carril. ....	108
6.10 Derecho de vía.....	109
6.11 Elaboración del diseño de la vía con el software Civil 3D.....	110
6.11.1 Cálculos para curvas horizontales.....	110
6.11.2 Cálculo para curvas verticales.....	112
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>114</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>115</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>I-XIX</b>

## INDICE DE TABLA

Tabla 1.Resultados de aforo vehicular de 12 horas en la comunidad El Naranjo en ambos sentidos. ....	12
Tabla 2: Dependencia de estaciones .....	14
Tabla 3. Conteo Vehicular expandido a 24 horas.....	16
Tabla 4: Porcentaje vehicular según su TPDA que circula en la Comunidad El Naranjo.....	17
Tabla 5. Tasa de crecimiento poblacional en Estelí (2005-2020).....	20
Tabla 6. Datos históricos TPDA Empalme San Nicolás-Estelí .....	22
Tabla 7. Tasa de crecimiento para los diferentes periodos de la ECD Empalme San Nicolás-Estelí .....	23
Tabla 8. PIB en millones de Córdoba y su tasa de crecimiento por año periodo 2006-2018 .....	26
Tabla 9. Resumen de diferentes tasas de crecimiento sometidas a análisis.....	26
Tabla 10.Periodo de diseño para pavimentos según AASHTO .....	27
Tabla 11. Factor de distribución por dirección.....	28

Tabla 12. Factor de distribución por carril .....	28
Tabla 13. Proyección del tráfico al año 2035.....	30
Tabla 14. Tránsito de diseño por tipología vehicular .....	31
Tabla 15. Interpolaciones realizadas para los tipos de vehiculo.....	32
Tabla 16.Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton), con un periodo de diseño a 15 años, SN=5 y Pt=2.....	33
Tabla 17. Factores de camión .....	35
Tabla 18. Ensayos realizados en laboratorio.....	40
Tabla 19. Características del banco de préstamo “La Thompson” para la Capa base.....	41
Tabla 20: Requerimientos mínimos para la capa base.....	41
Tabla 21. Resultados de los ensayos de granulometría de los sondeos de la línea. .....	42
Tabla 22. Límites de Atterberg y Clasificación del suelo .....	44
Tabla 23. Especificaciones para el ensayo Proctor Estándar (basada en la norma ASTM 698-91) .....	46
Tabla 24. Resultados del primer ensayo realizado.....	47
Tabla 25. Resultados del segundo ensayo realizado .....	48
Tabla 26. Resultados del tercer ensayo realizado.....	49
Tabla 27. Resultados del cuarto ensayo realizado .....	50
Tabla 28. Resultados de CBR .....	52
Tabla 29. Criterio del Instituto de asfalto para determinar CBR de diseño .....	54
Tabla 30. Valores a utilizar para el cálculo de CBR de diseño .....	55
Tabla 31. Clasificación del CBR de diseño.....	56
Tabla 32. Registro de los datos de campo .....	59
Tabla 33. Ubicación de los bancos de medidas (BM).....	59
Tabla 34. Pendientes naturales del terreno.....	60
Tabla 35. Tipo de terreno del tramo en estudio.....	61
Tabla 36. Niveles de Confiabilidad Sugeridos Para Caminos Según su clasificación funcional.....	70
Tabla 37. Equivalencia entre R y ZR .....	71

Tabla 38. Desviación Estándar para pavimentos rígidos y flexibles .....	72
Tabla 39. Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles .....	73
Tabla 40 :Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.	85
Tabla 41: Clasificación de las carreteras.....	85
Tabla 42: Distancias de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical. .....	87
Tabla 43: Tasas máximas de sobreelevación o peralte según tipo de área. ....	89
Tabla 44: Factor de fricción máxima.....	90
Tabla 45: Sobreelevaciones de curvas horizontales.....	99
Tabla 46: Control de diseño para curva vertical en cresta para Distancia de Visibilidad de parada. ....	102
Tabla 47: Control de diseño para Curva Vertical Cóncava o en columpio.....	104
Tabla 48: Pendientes máximas para Carreteras Rurales (Locales). ....	105
Tabla 49: bombeo normal de la cazada .....	107
Tabla 50: Anchos mínimos de hombros y aceras.....	108
Tabla 51: Datos de la curva circular No 23.....	110
Tabla 52: Valores de diseño para sobreelevación en curvas de carreteras (Dos carriles, una o dos vías) .....	XVIII
Tabla 53: Valores de diseño para sobreelevación en curvas de carreteras (Dos carriles, una o dos vías) .....	XIX

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Estación de corta duración N°15 EMP. ....	13
Ilustración 2. Factores de ajuste para obtener TPDA asociada a la estación de mayor cobertura No. 1205 Empalme Chichigalpa-Rotonda Chinandega. ....	15
Ilustración 3. Porcentaje de tráfico de vehículos livianos y pesados en Comunidad El Naranjo.....	18
Ilustración 4. Porcentaje de tráfico por vehículos en la Comunidad El Naranjo. ....	18
Ilustración 5. Proyección de población en el Municipio de Estelí según INIDE ..	20
Ilustración 6. Datos históricos de TPDA EST Empalme San Nicolás-Estelí .....	22
Ilustración 7. Producto interno bruto en millones de córdobas, periodo 2006-2018 .....	25
Ilustración 8. Tasa de crecimiento del PIB, periodo 2007-2018 .....	25
Ilustración 9. Tabla de clasificaciones de suelo, según AASHTO M-145 .....	37
Ilustración 10. Tipo de suelo por estrato.....	45
Ilustración 11. Densidad seca máxima Vs % de humedad .....	47
Ilustración 12. Densidad seca máxima Vs % de humedad .....	48
Ilustración 13. Densidad seca máxima Vs % de humedad .....	49
Ilustración 14. Densidad seca máxima Vs % de humedad .....	50
Ilustración 15. Selección del CBR de diseño .....	56
Ilustración 16. Granulometría a usar para Base y sub-base según NIC 2018....	64
Ilustración 17. Tipos de superficie de rodadura en pavimentos.....	65
Ilustración 18. Tipos de ejes .....	68
Ilustración 19. Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos.....	69
Ilustración 20. Ábaco para el diseño del número estructural .....	77
Ilustración 21 .....	80
Ilustración 22. Estructura final del pavimento .....	81
Ilustración 23: componente del Sobreebanco en curvas de carreteras. ....	95
Ilustración 24: Tipos de curvas verticales .....	100
Ilustración 25: Sección transversal típica en tangentes en carreteras en 2 direcciones .....	106
Ilustración 26: Sección transversal propuesta .....	109

Ilustración 27: Derecho de vía de una carretera colectora rural. ....	109
Ilustración 30. Mapa de macro localización del departamento de Estelí .....	I
Ilustración 31. Mapa de micro localización del tramo comunidad El Naranja – Guasuyuca. ....	II
Ilustración 32. Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico de la oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y Puentes .....	III
Ilustración 33. Características Estructurales Funcionales-Operativas del Vehículo de Diseño C2.....	X
Ilustración 34. Pesos máximos permisibles por tipo de vehículo.....	XI
Ilustración 35. Diagrama de cargas permisibles .....	XII
Ilustración 36. Tabla de Factores Equivalente de Carga Eje Simple .....	XII
Ilustración 37. Tabla de Factores Equivalente de Carga Eje Tándem.....	XIII
Ilustración 38. Tabla de Factores Equivalente de Carga Eje Trídem.....	XIV
Ilustración 39. Nomograma de coeficiente estructural a1 para adoquín.....	XV
Ilustración 40. Nomograma de coeficiente estructural a2 para capa base .....	XVI
Ilustración 41. Leyendas de tramo Comunidad El Naranja-Guasuyuca. ....	XVII

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

## **1.1. Introducción**

En Nicaragua las carreteras son parte fundamental del transporte, que conectan y permiten la circulación de los usuarios en general, así como los bienes materiales y alimentos. De esta manera la red vial contribuye al progreso económico, comunicativo y la movilidad de un lugar a otro.

El diseño geométrico es una de las partes más importante de un proyecto de carreteras y a partir de diferentes factores; internos y externos, se efectúa de forma que satisfaga de la mejor manera aspectos como la movilidad, economía, y la seguridad de quienes circulan por dicha obra y un buen funcionamiento en general.

Este trabajo monográfico presenta una propuesta de diseño geométrico del tramo de carretera “Comunidad el Naranjo- Guasuyuca municipio de Estelí” que tiene una longitud de 5 km; (ver macro localización y micro localización en anexos ilustración 30 y 31, Pág. I y II).

Se analizará los datos obtenidos a través del estudio de suelo a lo largo de la vía con el objetivo de conocer sus propiedades físico- mecánicas de los materiales que lo componen para poder determinar las unidades típicas del CBR. Además, se hará un estudio en la vía de tráfico actual para así determinar la repetición de los ejes equivalentes de cargas para el diseño apropiado de la estructura de pavimento articulado, este se realizará mediante el método de la AASHTO-93 donde se determinarán los espesores de la sub base y base también la carpeta de rodamiento.

## **1.2. Antecedentes**

Pavimentar con adoquines (elementos de piedra, mármol, cantera, concreto) se hace desde épocas muy remotas. En la isla de Creta desde hace 5,000 años ya se utilizaban losas de piedra instaladas en caminos públicos. Un sistema similar adoptó el Imperio Romano, bien recordado por sus múltiples vialidades.

En América precolombina son comunes los caminos empedrados con piedras de los ríos de la región. Se fabricaron adoquines de barro cocido y madera, durante los siglos XVIII y XIX en América. El desarrollo del concreto como materia prima, trajo consigo la aparición de elementos prefabricados, como los adoquines de concreto.

Los datos globales de la red vial de Nicaragua reflejan un total de 24,515Kms de carreteras de los cuales 4300Kms (17.54%) son pavimentados (Adoquín, asfalto y concreto hidráulico), y 20,215Kms (82.46%) corresponden a no pavimentados. Con respecto al año 2016, la red pavimentada aumento en un 4,38% (181Kms). Los departamentos donde se reflejan los cambios cuantitativos son Estelí, Rivas, Madriz, Nueva Segovia y RACCS (Red Vial de Nicaragua-2017, 2018). La población servida será 7,000 habitantes.

El tramo de 5km de la comunidad El Naranjo-Guasuyuca es el que comunica estas dos comunidades del municipio de Estelí, también representa la principal vía de acceso a la reserva Tomabú. En el caso actual el tramo solo cuenta con revestimiento de material selecto, el cual fue aplicado hace 4 años, siendo dicho tramo un camino rural.

### **1.3. Justificación**

Guasuyuca es conocido principalmente por ser un lugar con muchas áreas verdes como la reserva Tomabú también por ser productor de algunos granos básicos y hortalizas. El cerro Tomabú es unas de las principales áreas verdes del municipio de Estelí por eso surge la necesidad que esta zona tenga buen acceso vial para tener un buen funcionamiento y así el turismo de esta zona tenga más comodidad y rapidez al visitar esta comunidad.

El tramo el Naranjo Estelí – Guasuyuca (5 km) actualmente no presta las condiciones necesarias para facilitar al acceso a la vía y comunicarte fácilmente con las comunidades vecinas a la zona.

Con esta obra se mejorarán las condiciones de vida de los pobladores de esta zona, como mejor acceso al comercio, a los centros de salud cercanos, para evitar enfermedades producidas por el polvo entre otras.

El diseño geométrico y estructural de esta obra beneficiaria a 7,000 habitantes, y comunidades entre las cuales tenemos Santa Cruz, La Trinidad, El Naranjo Y Guasuyuca de igual manera se favorecen las empresas que operan en la zona tales como: INAA, MINSA, Claro, ENATREL entre otras.

Además, que es una vía alterna para sacar al mercado la producción de las comarcas ante mencionadas, y también se beneficia al transporte público, así como las haciendas ganaderas. La carretera se extiende desde el sector del Naranjo hasta Guasuyuca y tiene una longitud de 5 km, con 6 m de ancho.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

- ✓ Proponer el diseño geométrico y estructural de pavimento articulado de 5 Km de la comunidad el Naranjo-Guasuyuca, municipio de Estelí.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- ✓ Realizar un aforo vehicular en el sitio, contando con la información básica para el diseño y determinación del ESA'L o ejes equivalentes.
- ✓ Determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo y del banco de material más cercano, para obtener el CBR del diseño de la subrasante y base, mediante un estudio de suelo.
- ✓ Ejecutar un estudio topográfico para determinar el relieve del sitio donde se ejecutará dicha obra.
- ✓ Diseñar estructuralmente 5 km de pavimento articulado que soportará las cargas de diseño aplicando la Norma AASHTO-93.
- ✓ Diseñar geométricamente 5 km de pavimento articulado, usando el “Manual centroamericano de normas de diseño geométrico de las carreteras regionales” (SIECA, 3ra Edición, 2011) y “A pólíce on Geometric Desing of Highways and Streets” (AASHTO 2004), aplicando el software AutoCAD Civil 3D 2018.

# CAPITULO II

# ESTUDIO DE TRÁNSITO



## **2.1. Definiciones básicas**

### **2.1.1 Estudio de Tránsito**

De acuerdo con el (Manual De Revisión De Diseño de pavimentos, 2008) el estudio de Tránsito es un proceso que permite conocer la cantidad de vehículos, así como los tipos de vehículos (pesados, livianos entre otros) que circulan por dicha zona. Para el dimensionamiento de un pavimento es necesario determinar los efectos que las cargas de los vehículos causarán sobre el pavimento, por lo cual se debe conocer el número y tipo de vehículos que circularán por una vía, así como la intensidad de la carga y la configuración del eje que la aplica.

### **2.1.2 Composición vehicular**

Dependiendo del tipo de servicio y la localización de una carretera, es indispensable tomar en cuenta que los vehículos pesados, como camiones, autobuses y vehículos recreativos tipo Vans, pueden llegar a alcanzar una incidencia significativa en la composición del flujo vehicular, influenciando según su relevancia porcentual, en forma más o menos determinante, el diseño geométrico de la carretera y el espesor del pavimento. El efecto total sobre la operación de Tránsito de un camión es equivalente a varios vehículos de pasajeros. El número de vehículos de pasajeros equivalentes depende de la pendiente y en carreteras de dos carriles, de la distancia de visibilidad de adelantamiento disponible. Así, cuanto mayor sea la proporción de camiones en una corriente de Tránsito, mayores serán la carga de Tránsito y la capacidad requerida. Se han seleccionado cuatro clases generales de vehículos; a saber:

- Vehículo liviano: incluye los automóviles, automóviles compactos, jeeps, camionetas agrícolas, vehículos deportivos, Vans, minivans y pick-ups. Un vehículo liviano puede considerarse cuando el principal generador de tráfico en el parqueo de un área comercial

- Buses: incluye los buses extraurbanos, buses urbanos, buses escolares y buses articulados. Un bus puede utilizarse en el diseño de intersecciones de carreteras colectoras con calles urbanas que han sido diseñadas como rutas de buses y que la usen relativamente pocos camiones grandes.
- Camión: incluye los camiones de unidad única (2 ó 3 ejes), cabezal con semirremolque o un cabezal con semirremolque más remolque completo. Un camión puede usarse para diseño de intersecciones de carreteras colectoras con calles residenciales y carreteras en áreas turísticas.
- Recreacionales: incluye casas rodantes, carros con camper, carros con remolques con botes y casas rodantes remolcadas por carros, estos deben ser el mínimo vehículo de diseño a considerar en las rampas de salida de autopistas en las intersecciones con carreteras arteriales y para otras intersecciones en carreteras colectoras y calles que conducen a industrias, con altos volúmenes de tráfico y/o que proveen acceso local para camiones grandes. (Manual De Revisión De Diseño de pavimentos, 2008, pág. 35).

En la clase camión, las características de operación varían considerablemente y particularmente en el tamaño y en la relación peso/potencia. Aunque esta variación puede ser significativa entre dos camiones, el efecto de todos los camiones en una corriente de Tránsito puede evaluarse y es similar en la mayoría de las carreteras bajo condiciones comparables. En consecuencia, para el diseño geométrico de una carretera, es esencial tener datos de Tránsito respecto de los vehículos de la clase camión. (Manual De Revisión De Diseño de pavimentos, 2008, pág. 31).

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.

- Motocicleta
- Automóviles
- Jeep

- Camioneta
- Microbus
- Minibus
- Bus
- Liviano de carga
- Camion rigido sencillo, 2 ejes
- Camion rigido 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)

**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 o más ruedas que incluyen los microbuses pequeños (hasta de 15 pasajeros y microbuses medianos de 25 pasajeros y buses medianos y grandes.

**Vehículos pesados de carga:** Son vehículos destinados al transporte pesados de carga 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 (T3S3) Y (T3S3) y otros tipos de vehículos para la clasificación de vehículos

especiales, tales como agrícolas y de construcción. **(Ver en Anexo, Imagen No.3, Pág. II).** (Anuario de Aforos de Tráfico, 2018).

### **2.1.3 Proyección vehicular**

Cuando se hacen estudios para el futuro es preciso elaborar las respectivas proyecciones teniendo en cuenta los valores investigados en el estudio de factibilidad.

Para las proyecciones del tráfico futuro, en el mejoramiento de una carretera o construcción de una nueva carretera, no sólo se toman en cuenta las tasas de crecimiento esperado para el tráfico normal, sino que también debe tenerse en consideración los incrementos de vehículos que se espera utilicen la carretera. El aumento en estos nuevos vehículos se representa como el tráfico generado, tráfico de desarrollo, tráfico desviado y tráfico total.

### **2.1.4 Volumen de tráfico**

Los volúmenes de tráfico se consideran dinámicos, al estar compuestos por características que varían en dependencia del tiempo en que se realizan los aforos vehiculares.

Las características que componen el volumen de tráfico, según Cal y Mayor, son espaciales y temporales. Las espaciales son aquellas determinadas por los usuarios eligiendo orígenes y destinos específicos, en dependencia de satisfacciones y oportunidades que brinda el medio circundante. Las temporales resultan de las necesidades y estilos de vida de las personas, quienes realizan viajes en determinados periodos de tiempo, ya sea en ciertas épocas del año, semanas u horas específicas del día.

El volumen de tráfico se define como el número de vehículos que pasa por un punto dado o sección transversal durante un determinado periodo de tiempo.

#### **2.1.4.1 Tránsito promedio diario (TPD)**

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 por el número de días del periodo. Se expresa como:

$$TPD: \frac{\textit{Acumulado de conteo vehicular por tipo de vehiculo}}{\textit{Cantidad de dias del aforo}} \quad \textit{Ecuación No. 1}$$

#### 2.1.4.2 Tránsito diario promedio semanal (TDPS)

Es el volumen total de flujo de Tránsito de vehículos de una carretera durante una semana dividido entre 7, el de 4 semanas en el mes o la media de todos los promedios de cada día de la semana, es decir la suma de los promedios de todos los días lunes de un mes.

$$TPDS = \frac{TS}{7} \quad \textit{Ecuación No. 2}$$

Donde, **TS**: Tránsito Semanal

#### 2.1.4.3 Tránsito promedio diario mensual (TPDM)

Es la medida mensual del flujo de tránsito calculado a partir del promedio de los volúmenes diarios de todos los días que componen el mes de conteo. Esto quiere decir: existirá un TPDM por cada mes del año.

**TM**: Tránsito Mensual

$$TPDM = \frac{TM}{30} \quad \textit{Ecuación No. 3}$$

#### 2.1.4.4 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Es el total del volumen del flujo de Tránsito de vehículos de una autopista o carretera en un año, dividido entre 365 días con el propósito de representar el flujo de Tránsito en un día típico del año. Existen dos procedimientos básicos para el cálculo de TDPA:

- Promedio simple de todos los días.
- Promedio de promedios (método AASHTO 93).

$$TPDA = \frac{TA}{365} \quad \textit{Ecuación No. 4}$$

**TA**: Tránsito Anual

### **2.1.5 Aforo vehicular**

Para el diseño de una carretera o camino, o cualquiera de sus partes se debe conocer información real de los factores relativos al Tránsito sobre la zona donde se pretende realizar dicho proyecto, para ello se realiza un aforo vehicular por medio del cual se conoce la cantidad de vehículos, así como los tipos de vehículos (vehículos livianos y vehículos pesados); así como la velocidad ideal con la cual se debe transitar por el camino (Manual Centramericano De Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras., 2011).

Generalmente los datos de Tránsito para un camino o sección de camino están disponibles o pueden obtenerse mediante conteos ya sean manuales o electrónicos. Los datos que se obtienen en este proceso incluyen los volúmenes de Tránsito por día del año y hora del día (específicamente Tránsito Promedio Diario Anual), así como también la distribución de los vehículos por tipos y por pesos, todos estos datos deben ser proyectados a futuro.

### **2.1.6. 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.

### **2.1.7. Tipos de estaciones de conteo vehicular**

En esta metodología se identifican tres tipos de estaciones, las Estaciones de Mayor Cobertura (EMC) que se encuentra ubicadas sobre la red troncal de carreteras, las Estaciones de Corta Duración (ECD) ubicadas ya sea en caminos asfaltados o adoquinados con un flujo menor que la red troncal y las Estaciones de Conteo Sumarias (ECS) ubicadas en caminos revestidos con un flujo moderado.

### **Estación 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 transcurso del año.

## **2.2. Trabajo de campo y representación de resultados**

El conteo vehicular del tramo de la comunidad El Naranjo-Guasuyuca, fue realizado, haciendo uso de los conocimientos adquiridos durante los 5 años de estudio. Este trabajo de campo fue ejecutado una semana (lunes a domingo); comprendiendo entre el día lunes 16 de marzo al 22 de marzo del año 2020, abarcando 12 horas del día, de 6:00am a 6:00pm durante la semana de conteo. Se hizo en una semana para obtener datos más amplios sobre la cantidad y tipos de vehículos que circulan por dicho tramo.

El conocimiento de los conteos vehiculares es de vital importancia para determinar los volúmenes del tráfico sobre puntos de interés en un sistema vial. Los conteos

vehiculares del tramo en estudio fueron realizados de forma manual y se estableció un punto de conteo a lo largo del recorrido, tomándose en cuenta caseríos, poblados, entradas y salidas los puntos establecidos para los conteos se muestran en la **Tabla No. 1**. Se representa el punto establecido en la estación 0+000. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del aforo vehicular.

**Tabla 1. Resultados de aforo vehicular de 12 horas en la comunidad El Naranjo en ambos sentidos.**

Tramo: El Naranjo- Guasuyuca											
Ubicación: 0+000		Sentido: El Naranjo – Guasuyuca									
AFORO VEHICULAR DE 12 HRS DEL LUNES 16 DE MARZO-DOMINGO 22 DE MARZO 2020											
	VEHICULOS DE PASAJEROS						VEHICULOS PESADOS			EQUIPO PESADO	
DIA	BICICLETAS	MOTOS	AUTOMOVILES	JEEP	CAMIONETAS	MICROBUS < 15 PAS	BUS >30 PAS	C2 LIV 2-5 TON	C3	TX-SX<=4	TOTAL <sub>1</sub> VEH 12 horas por día
LUNES	32	226	45	17	93	2	4	10	5	0	434
MARTES	45	323	39	42	167	0	4	6	6	0	632
MIERCOLES	36	313	38	35	122	0	4	12	4	4	568
JUEVES	29	322	30	34	137	0	4	10	5	0	571
VIERNES	25	290	32	25	126	0	4	6	6	4	518
SABADO	20	210	20	17	93	0	2	8	4	1	375
DOMINGO	12	140	15	9	82	0	0	2	1	0	261
<b>TOTAL POR VEHICULO A LA SEMANA EN 12 HORAS</b>	199	1824	219	179	820	2	22	54	31	9	3359
<b>TPDi semana a 12 hrs</b>	28	261	31	26	117	0.29	3	8	4	1	480
<b>% TPDi semana 12 hrs</b>	6%	54%	7%	5%	24%	0%	1%	2%	1%	0%	100%
<b>Total</b>	3243						107			9	3359
	5.92%	54.30%	6.52%	5.33%	24.41%	0.06%	0.65%	1.61%	0.92%	0.27%	100.00%
	96.55%						3.45%			100.00%	
	<b>% Vehículos livianos</b>						<b>% Vehículos pesados</b>				

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Para determinar el Tráfico Promedio Diario Anual o de año base (2018) se utiliza la información que se publica el (Anuario de Aforos de Tráfico), siendo el del año 2018 el utilizado para la realización de este documento. En donde el MTI utiliza una metodología de asociación de estaciones de conteos, las cuales son de cobertura nacional en diversos puntos de la red vial de Nicaragua.

### 2.2.2. Estación de corta duración asociada al camino en estudio

Para este estudio se determinar la ECD está asociada al tramo para proceder a cuantificar al TPDA. En nuestro caso, la estación que corresponde ser la estación de corta duración es la número 15, Empalme San Nicolas-Estelí debido a su ubicación geográfica, la composición vehicular y por sus características topográficas sobre el carácter de producción agrícola e industrias agropecuarias.

### Ilustración 1. Estación de corta duración N°15 Emp. San Nicolas-Estelí.

15	NIC-1	142	ECD	Emp. San Nicolas - Estelí	Estelí	2017	599	923	469	1777	111	75	209	340	368	91	12	374		8		9	5,365	
						2015	630	674	292	1276	124	28	217	395	273	48	7	356	1		2	14	4,337	
						2012	573	597	345	1427	70	12	229	391	224	34		273			2	19	4,196	
						2010	365	515	296	1282	32	5	203	325	237	36		325			1	11	3,633	
						2008	382	536	412	1291	42	15	219	338	242	28	1	371			1	6	3,884	
						2005	134	464	339	1092	33	6	252	265	218	37	1	336				5	3,182	
						2003	50	297	204	637	15	0	147	156	151	33	1	199				4	1,893	
						2001	84	284	271	955	32	9	183	204	186	14		104	0			3	2,329	
						2000	85	243	243	861	15	5	177	180	203	46	1	182				11	2,252	
EMC: 1205																								
Tasa Crecimiento:						5.16%	2018	630	971	493	1869	117	79	220	358	387	96	13	393		8		9	5,642

Fuente: (Anuario de Aforos de Tráfico, 2018, pág. 106)

### 2.2.3. Estación mayor cobertura.

Según el Anuario del Tráfico, año 2018, publicado por la oficina de Diagnóstico y Evaluación de pavimentos y Puentes de la dirección General de Planificación del MTI, habiendo seleccionado la ECD No 15, Estación 142, tramo Empalme San Nicolás-Estelí, código NIC-1, la cual tiene dependencia de la EMC número 1205, “Empalme Chichigalpa-Rotonda Chinandega”, dicha estación nos brinda los factores correspondientes para poder obtener el TPDA. **Ver Tabla 2, Pág. 14.**

**Tabla 2: Dependencia de estaciones**

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
<b>1205</b> <b>Emp. Chichigalpa -</b> <b>Rotonda</b> <b>Chinandega</b>	NIC-1	116A	ECD	La Garita - Emp. Los Pollos
	NIC-1	116B	ECD	Emp. Los Pollos - Punta de Plancha
	NIC-1	100	ECD	Punta de Plancha - Emp. San Benito
	NIC-1	106	ECD	Las Calabazas - La Uva - Sébaco
	NIC-1	109	ECD	La Trinidad - Emp. San Nicolás
	NIC-1	142	ECD	Emp. San Nicolás - Estelí
	NIC-2	206	ECD	Nandaime - Rivas
	NIC-11B	1801	ECD	Emp. Catarina - Emp. El Guanacaste
	NIC-12A	1202	ECD	Emp. Izapa - León
	NIC-12	1211	ECD	Telica - Emp. Quezalguaque
NIC-12A	1204	ECD	Emp. Quezalguaque - Emp. Chichigalpa	

Fuente: (Anuario de Aforos de Tráfico, 2018, pág. 59)

Se inicio el aforo el 16 de marzo del año 2020, día lunes hasta el día domingo, comenzado de 6:00am a 6: pm, debido a esto los factores de ajuste obtenidos de la EMC fueron los del primer cuatrimestre, siendo el periodo de enero-abril del año 2018. Estos datos se obtuvieron del (Anuario de Aforos de Tráfico, 2018). **Ver ilustración 2, Pág. 15.**

**Ilustración 2. Factores de ajuste para obtener TPDA asociada a la estación de mayor cobertura No. 1205 Empalme Chichigalpa-Rotonda Chinandega.**



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



**ESTACION DE MAYOR COBERTURA 1205**  
**EMPALME CHICHIGALPA - ROTONDA CHINANDEGA**  
**FACTORES - 2018**

*Factores del primer cuatrimestre del año Enero - Abril*

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx>5	Cx-Rx<4	Cx-Rx>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.48	1.49	1.43	1.43	1.37	1.80	1.42	1.38	1.47	1.47	1.00	1.59	1.00	1.00	1.50	1.00	1.64
Factor Semana	0.98	1.00	0.98	0.95	0.97	0.84	0.95	0.89	0.87	0.88	1.00	0.87	1.00	1.00	0.97	1.29	0.98
Factor Fin de Semana	1.06	0.99	1.06	1.16	1.08	1.97	1.16	1.48	1.59	1.49	1.00	1.59	1.00	1.00	1.10	0.64	1.06
Factor Expansión a TPDA	1.02	0.91	0.90	0.93	0.89	0.75	0.85	0.91	0.88	0.94	1.00	0.81	1.00	1.00	1.31	0.70	0.79

**Fuente:** Anuario de aforos, (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2018, pág. 106)

**2.2.4. Expansión a 24 horas.**

Los volúmenes de tráfico diario de 12 horas fueron expandidos a tráfico de 24 horas, haciendo uso del Factor día por tipo de vehículo de la estación **No 1205**, asociada, Estación de Mayor Cobertura **1205 Empalme Chichigalpa-Rotonda Chinandega**, correspondiente al aforo del año 2018.

$$\text{Tránsito expandido 24 horas} = \text{Factor Día} * \text{Tránsito 12 hrs}$$

**Ecuación No. 5**

**Ejemplo de cálculo.**

Transito 12 horas<sub>(moto)</sub>=1824

Factor día= 1.48

$$\text{Tránsito}_{(exp 24 hr)} = 1.48 * 1824 = 2700$$

**Tabla 3. Conteo Vehicular expandido a 24 horas y expandido a TPDA.**

	VEHICULO DE PASAJEROS						VEHICULOS DE CARGA			EQUIPO PESADO	TOTAL
	BICICLETAS	MOTOS	AUTOMOVILES	JEEP	CAMIONETAS	MICROBUS < 15 PAS	BUS >30 PAS	C2 LIV 2-5 TON	C3	TX-SX<=4	
<b>TOTAL, POR VEHICULO A LA SEMANA EN 12 HORAS</b>	199	1824	219	179	820	2	22	54	31	9	3359
<b>FACTOR DIA</b>	1	1.48	1.49	1.43	1.43	1.37	1.42	1.38	1.47	1	
<b>TOTAL, POR VEHICULO A LA SEMANA EN 24 HORAS</b>	199	2700	326	256	1173	3	31	75	46	9	4816
<b>TPDS</b>	28	386	47	37	168	0.39	4	11	7	1	688
<b>FACTOR EXPANSION</b>	1	1.02	0.91	0.9	0.93	0.89	0.85	0.91	0.94	1	
<b>TPDA (vpd)</b>	28	394	42	33	156	0	4	10	6	1	674
<b>% TPDA</b>	4.22%	58.35%	6.29%	4.88%	23.11%	0.05%	0.56%	1.44%	0.91%	0.19%	100%
	96.90%						3.10%			100%	
	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULO PESADO				

Fuente: Elaboración propia.

Habiendo obtenido el tránsito semanal a 24 horas de cada vehículo, cada uno de estos datos se dividen entre 7 (siendo el número de días que contiene 1 semana), para así determinar el TPDS.

### 2.2.5. Expansión a Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA<sub>2020</sub>)

Una vez obtenido el TPDS, este lo multiplicamos por el factor expansión (ver **Tabla N° 3**) a TPDA y se obtiene el Tráfico Promedio Diario Anual correspondiente al año 2020.

$$TPDA = TPDS * Factor de Expansión$$

**Ecuación No. 6**

### Ejemplo de cálculo:

TPDS (Moto): 386

Factor de expansión: 1.02

$$TPDA = 386 * 1.02 = 394$$

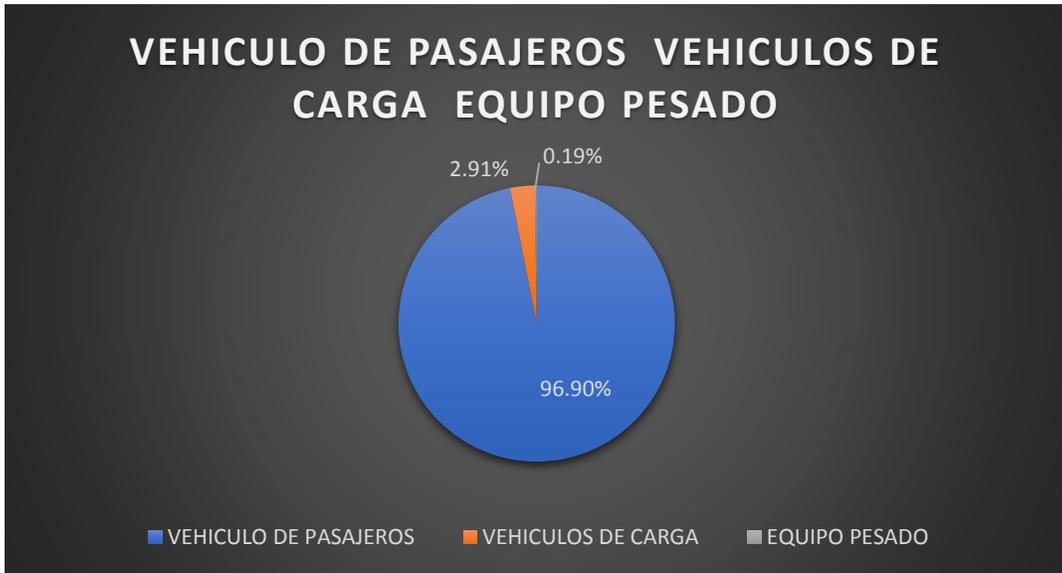
Una vez obtenido el TPDA, se logró conocer los porcentajes de vehículos tanto livianos como pesados que circulan en la comunidad El Naranjo-Guasuyuca, clasificándose en vehículos de pasajeros: Motos, automóviles, Jeep, camionetas, teniendo como resultado en porcentajes de: **96.90%**. Para vehículos de carga siendo estos: Microbuses menores a 15 pasajeros, Microbuses de 15-30 pasajeros y buses mayores a 30 pasajeros, teniendo como resultado en porcentajes de: **2.91%**. Para equipos pesados siendo estos: C2 2-5 Ton, C2 mayor a 5 Ton, C3 y TX-SX menos o igual a 4, teniendo como resultado el porcentaje de: **0.19%**, para un total del 100%. **Ver ilustración No 3, pág. 18.**

**Tabla 4: Porcentaje vehicular según su TPDA que circula en la Comunidad El Naranjo-Guasuyuca.**

	VEHICULO DE PASAJEROS						VEHICULOS DE CARGA			EQUIPO PESADO	TOTAL
	BICICLETAS	MOTOS	AUTOMOVILES	JEEP	CAMIONETAS	MICROBUS < 15 PAS	BUS >30 PAS	C2 LIV 2-5 TON	C3	TX-SX<=4	
<b>TPDA (vpd)</b>	28	393	42	33	156	0	4	10	6	1	674
<b>% TPDA</b>	4.22%	58.35%	6.29%	4.88%	23.11%	0.05%	0.56%	1.44%	0.91%	0.19%	100%
	96.90%						3.10%				100%
	VEHICULOS LIVIANOS						VEHICULO PESADO				

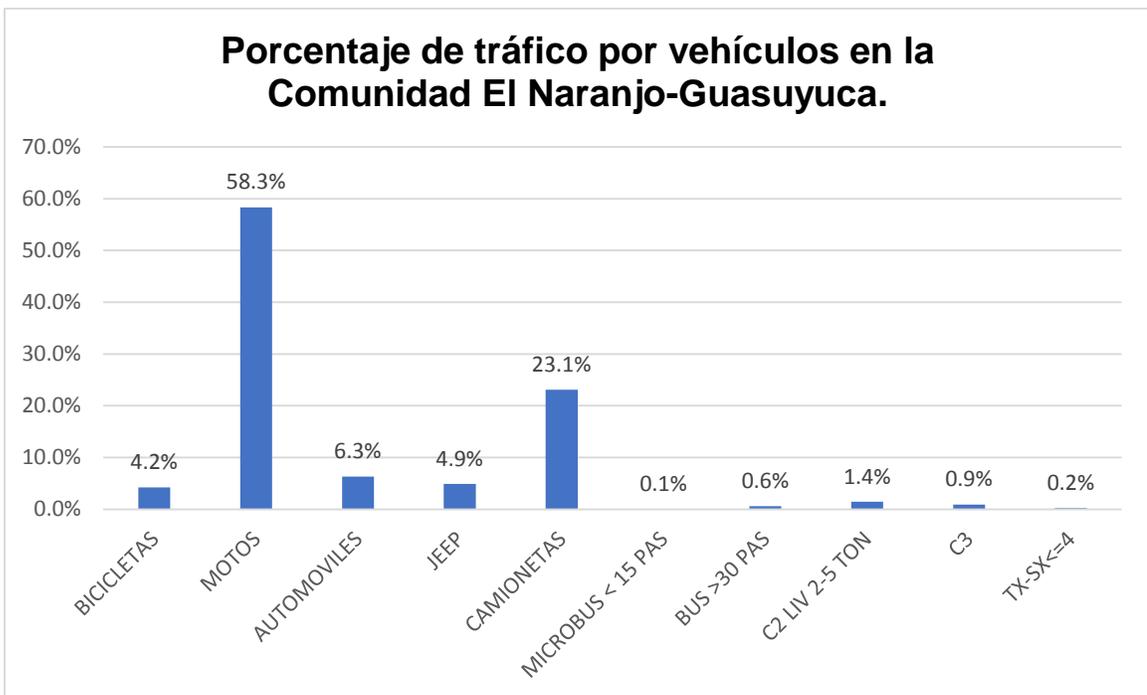
Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 3. Porcentaje de tráfico de vehículos livianos y pesados en Comunidad El Naranjo.**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Ilustración 4. Porcentaje de tráfico por vehículos en la Comunidad El Naranjo-Guasuyuca.**



**Fuente:** Elaboración propia.

### **2.3. Proyección del tráfico para el año 2035.**

Para realizar una proyección del tráfico que circulara por la vía para el año 2035, hay que tomar en cuenta ciertas variables, como es la tasa de crecimiento poblacional de la zona, en Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y el producto interno bruto. Estos valores se relacionan para así determinar una sola tasa de crecimiento que se ajuste de manera congruente al área en estudio.

#### **2.3.1 Crecimiento poblacional**

Se conoce como el cambio en la población en un cierto plazo, y poder ser cuantificado como el cambio de individuos en una población usando “tiempo por unidad” para su medición.

Según las estadísticas poblacionales cuantificadas por él (Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), 2008), con el objetivo de valorar la tendencia y coherencia de los datos municipales, a lo largo del periodo 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. (Anuario Estadístico-Estelí en cifras, 2008, pág. 63)

## Ilustración 5. Proyección de población en el Municipio de Estelí según INIDE

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
<b>ESTELÍ</b>			
2005	118 761	56 622	62 139
2006	119 402	56 892	62 510
2007	120 036	57 154	62 882
2008	120 654	57 407	63 247
2009	121 264	57 656	63 608
2010	121 840	57 888	63 952
2011	122 389	58 113	64 276
2012	122 924	58 331	64 593
2013	123 422	58 537	64 885
2014	123 886	58 730	65 156
2015	124 317	58 907	65 410
2016	124 801	59 132	65 669
2017	125 245	59 346	65 899
2018	125 651	59 560	66 101
2019	126 006	59 727	66 279
2020	126 457	59 891	66 566
<b>Tasa de Crecimiento</b>			
2005 - 2010	0.5	0.4	0.6
2010 - 2015	0.3	0.3	0.3
2015 - 2020	0.3	0.3	0.4

**Fuente:** (Anuario Estadístico-Estelí en cifras, 2008, pág. 64) Capítulo V, Proyección de población municipal 2005-2020.

**Tabla 5. Tasa de crecimiento poblacional en Estelí (2005-2020)**

PERIODO	TASA DE CRECIMIENTO (TC)
2005-2010	0.5
2010-2015	0.3
2015-2020	0.3

**Fuente:** (Anuario Estadístico-Estelí en cifras, 2008, pág. 64) Capítulo V, Proyección de población municipal 2005-2020.

Según él (Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), 2008); el periodo comprendido entre 2015 y 2020, la tasa de crecimiento poblacional correspondiente para el municipio de Estelí es igual a 0.3%.

### **2.3.2. Crecimiento vehicular**

#### **2.3.2.1. 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: (Anuario de Aforos de Tráfico, 2018, pág. 17).

$$TC = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right] - 1 \quad \text{Ecuación No. 7}$$

Dónde:

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDA<sub>i</sub>: Tráfico promedio diario actual.

TPDA<sub>0</sub>: Tráfico promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

Para lograr conocer el comportamiento vehicular, tomamos en cuenta la estación de corta duración "ECD", Código NIC-1, Empalme San Nicolás-Estelí, número 142, correspondiente a la zona debido a su ubicación geográfica, esta se diferencia por sus características topográficas e influencia de la producción agrícola e industrias agropecuarias. La estación que se usó se encuentra en el intervalo V2, equivalente a un TPDA de 300 a 5000.

## Ilustración 6. Datos históricos de TPDA EST Empalme San Nicolás-Estelí

Datos históricos de TPDA EST Empalme San Nicolás-Estelí.

15	NIC-1	142	ECD	Emp. San Nicolas - Esteli	Esteli	2017	599	923	469	1777	111	75	209	340	368	91	12	374		8		9	5,365	
						2015	630	674	292	1276	124	28	217	395	273	48	7	356	1		2	14	4,337	
						2012	573	597	345	1427	70	12	229	391	224	34			273			2	19	4,196
						2010	365	515	296	1282	32	5	203	325	237	36			325			1	11	3,633
						2008	382	536	412	1291	42	15	219	338	242	28	1	371			1		6	3,884
						2005	134	464	339	1092	33	6	252	265	218	37	1	336					5	3,182
						2003	50	297	204	637	15	0	147	156	151	33	1	199					4	1,893
						2001	84	284	271	955	32	9	183	204	186	14		104	0				3	2,329
						2000	85	243	243	861	15	5	177	180	203	46	1	182					11	2,252
EMC: 1205																								
Tasa Crecimiento:						5.16%	2018	630	971	493	1869	117	79	220	358	387	96	13	393		8		9	5,642

Fuente: (Anuario de Aforos de Tráfico, 2018, pág. 106).

Tabla 6. Datos históricos TPDA Empalme San Nicolás-Estelí

ECD NIC-1 ECD EMPALME SAN NICOLAS-ESTELÍ No. 142										
AÑO	2000	2001	2003	2005	2008	2010	2012	2015	2017	2018
TPDA	2252	2329	1893	3182	3884	3633	4196	4337	5365	5642

Fuente: (Anuario de Aforos de Tráfico, 2018)

Usando la **ecuación No. 7** para aplicar la tasa de crecimiento vehicular en el periodo de 2012-2018, logramos determinar que:

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

$$TC = \left[ \left[ \left( \frac{5642}{4196} \right)^{\frac{1}{6}} \right] - 1 \right] * 100$$

$$TC = 5.16\%$$

Como conclusión tenemos que para el periodo 2012-2018 la tasa de crecimiento vehicular es de 5.16%.

### 2.3.2.2. Tasa de crecimiento vehicular aplicando la media geométrica

Se logró calcular la tasa de crecimiento a través de la media geométrica con la cual se pueden considerar todos los TPDA históricos de la estación **ECD NIC-1, Empalme San Nicolás-Estelí, No. 142**, esto lo realizamos con el fin de ponderar

o hacer valer más el resultado final. Una de las ventajas de media geométrica es menos sensible al cálculo con valores extremos.

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

$$TC_n = \left[ \left( \frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{1/n} \right] \quad \text{Ecuación No. 8}$$

Dónde:

TC<sub>n</sub>: Tasa de crecimiento que se tenga en el periodo de análisis.

TPDA<sub>n</sub>: Tráfico promedio diario del año en análisis.

TPDA<sub>o</sub>: Tráfico promedio diario del año anterior.

n: La diferencia de años.

Se procederá a calcular el TC<sub>n</sub> Para el periodo 2000-2001

$$TC_n = \left[ \left( \frac{2329}{2252} \right)^{1/1} \right] = 1.03$$

Obtuvimos como resultado un TC<sub>n</sub> = 1.03%, y así sucesivamente fue para cada periodo, dando como resultado los siguientes valores.

**Tabla 7. Tasa de crecimiento para los diferentes periodos de la ECD Empalme San Nicolás-Estelí**

Periodo	TC <sub>n</sub>
2000-2001	1.03
2001-2003	0.9
2003-2005	1.30
2005-2008	1.07
2008-2010	0.97
2010-2012	1.07
2012-2015	1.01
2015-2017	1.11
2017-2018	1.05

Fuente: Elaboración propia.

Habiendo obtenido todas las tasas de crecimiento para cada periodo, procedemos a aplicar la media geométrica, utilizando la siguiente ecuación según la metodología que aplica el Anuario de Tráfico del MTI 2018.

$$Tf = [(TC1 * TC2 * TC3 * ... * TCn)]^{1/n} - 1 \quad \text{Ecuación No. 9}$$

Donde:

Tf= Tasa de crecimiento final

TCn= Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica

n= Cantidad de tasas de crecimiento

$$\begin{aligned} Tf &= (1.03 * 0.9 * 1.30 * 1.07 * 0.97 * 1.07 * 1.01 * 1.11 * 1.05)^{1/9} - 1 * 100 \\ &= 5.18 \% \end{aligned}$$

Obteniéndose como resultado una tasa final aplicándose la media geométrica de= 5.18 %, entre el periodo 2000-2018.

### **2.3.3. 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. (Anuario de Estadísticas Macroeconómicas, 2018).

## Ilustración 7. Producto interno bruto en millones de córdobas, periodo 2006-2018

Conceptos - Concepts	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 <sup>1/</sup>	2017 <sup>1/</sup>	2018 <sup>1/</sup>
<b>Producto interno bruto - Gross domestic product</b>	<b>118,837.7</b>	<b>124,870.3</b>	<b>129,160.5</b>	<b>124,907.7</b>	<b>130,416.3</b>	<b>138,654.2</b>	<b>147,661.4</b>	<b>154,936.8</b>	<b>162,351.3</b>	<b>170,131.6</b>	<b>177,894.9</b>	<b>186,212.4</b>	<b>179,107.0</b>
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
<b>Total Industrias - All Industries</b>													
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	16,988.3	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	6,922.3	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, pág. 5),

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

## Ilustración 8. Tasa de crecimiento del PIB, periodo 2007-2018

Conceptos - Concepts	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 <sup>1/</sup>	2017 <sup>1/</sup>	2018 <sup>1/</sup>
<b>Producto interno bruto - Gross domestic product</b>	<b>5.1</b>	<b>3.4</b>	<b>(3.3)</b>	<b>4.4</b>	<b>6.3</b>	<b>6.5</b>	<b>4.9</b>	<b>4.8</b>	<b>4.8</b>	<b>4.6</b>	<b>4.7</b>	<b>(3.8)</b>
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)
<b>Total Industrias - All Industries</b>												
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, pág. 6).

**Tabla 8. 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, pág. 6).

Haciendo un promedio de las tasas de crecimiento del PIB durante el periodo 2006-2018, se obtuvo una tasa igual a 3.56%.

**Tabla 9. Resumen de diferentes tasas de crecimiento sometidas a análisis**

Variable a analizar	Tasa de crecimiento %
Crecimiento poblacional Estelí periodo 2015-2020 según INIDE	0.3
Crecimiento vehicular ECD EMPALME SAN NICOLAS-ESTELÍ según Anuario de Aforos de Trafico 2018	TC periodo 2012-2018= 5.16
	TC aplicando media geométrica de TPDA histórico de ECD = 1.06
PIB según Banco Central de Nicaragua	3.56

**Fuente:** Elaboración propia.

Realizando un promedio de todas las tasas de crecimiento en estudio, el resultado será la tasa propuesta para el crecimiento vehicular

$$\tau = \frac{0.3 + 5.16 + 1.06 + 3.56}{4} = 2.52\%$$

Habiendo analizado todas las variables podemos constatar que la tasa de crecimiento para el volumen vehicular de la ECD, siendo las tasas de crecimiento vehicular en el periodo 2012-2018 es de 5.16% y 1.06% aplicando la tasa de crecimiento vehicular con media geométrica, se puede decir que son porcentajes altos, la tasa de crecimiento en Estelí es de 0.3% para el periodo 2015-2020 según (Anuario Estadístico-Estelí en cifras, 2008) y la de PIB de 3.56%, por lo tanto, al realizar el análisis se propondrá una tasa de crecimiento vehicular de 2.52%, siendo el promedio de las tasas de crecimiento sometidas a estudio.

## 2.4. Tránsito de diseño

### 2.4.1. Periodo de diseño

El periodo de diseño es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de las proyecciones del tránsito y tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente o se alteren de una manera diferente a la que fueron consideradas inicialmente, estas condiciones. (Manual De Revisión De Diseño de pavimentos, 2008, pág. 40).

La AASHTO 93 recomienda ciertos periodos en función de la condición actual de la vía, la cual se mostrará en la siguiente tabla.

**Tabla 10. Periodo de diseño para pavimentos según AASHTO**

Condición 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 (AASHTO 93), págs. 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.

#### 2.4.2. Factor Direccional

Este valor se toma aplicando el criterio que aparece en la Tabla No. 11. En el caso de este trabajo siendo un tramo de 2 direcciones, la distribución del flujo es 50% en cada dirección, por lo que el valor es 0.5.

**Tabla 11. 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 (AASHTO 93), págs. II-9)

#### 2.4.3. Factor de Distribución por carril

Debemos considerar una referencia o un estudio específico para el proyecto y deberá usar los valores obtenidos en el mismo. 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 las dos puede ser el carril de diseño, ya que el Tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril.

**Tabla 12. 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
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 (AASHTO 93), págs. II-9).

#### 2.4.4. 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.

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365 \quad \text{Ecuación No. 10}$$

$$FC = \left[ \frac{(1 + 0.0252)^{15} - 1}{0.0252} * 365 \right] = 6555$$

Dónde:

FC: Factor de crecimiento.

i: Tasa de crecimiento del Tránsito (%). = 2.52% =0.0252

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

365: Días del año.

#### 2.4.5. Transito proyectado en el año n

Es el TPD proyectado hacia el año n. Para el cálculo es necesario conocer el Tránsito inicial, la tasa de crecimiento anual y el periodo de diseño, siendo el transito inicial el del año 2020, la tasa de crecimiento de 2.52% y el periodo de diseño de 15 años.

$$T_n = T_o * (1 + i)^n \quad \text{Ecuación No. 11}$$

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 13. Proyección del tráfico al año 2035**

Proyección de tráfico al año 2035				
TIPO DE VEHICULO	TPDA 2020	Tasa de crecimiento	n	TPDA proyectado 2035
BICICLETAS	28	2.52%	15	38
MOTO	393	2.52%	15	571
AUTOMOVILES	42	2.52%	15	57
JEEP	33	2.52%	15	48
CAMIONETAS	156	2.52%	15	212
BUS >30 PAS	4	2.52%	15	6
C2 2-5 TON	10	2.52%	15	14
C3	6	2.52%	15	9
TX-SX<=4	1	2.52%	15	2
<b>TOTAL</b>	<b>674</b>			<b>919</b>

Fuente: Elaboración propia.

Habiendo obtenido el Tránsito proyectado; se determinó el Tránsito de diseño de la siguiente manera:

#### 2.4.6. Tránsito de diseño

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

**Ecuación No. 11**

$$TD = TPDA_{2020} * FC * FD * FC'$$

Dónde:

TPDA<sub>0</sub>: 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.

**Tabla 14. Tránsito de diseño por tipología vehicular**

Tránsito de diseño					
TIPO DE VEHICULO	TPDA 2020	FC	FD	FC'	TD
BICICLETAS	28	6555	0.5	1	93175
MOTO	393	6555	0.5	1	1289233
AUTOMOVILES	42	6555	0.5	1	139033
JEEP	33	6555	0.5	1	107864
CAMIONETAS	156	6555	0.5	1	510596
MICROBUS < 15 PAS	0	6555	0.5	1	833
BUS >30 PAS	4	6555	0.5	1	12433
C2 2-5 TON	10	6555	0.5	1	31751
C3	6	6555	0.5	1	20056
TX-SX<=4	1	6555	0.5	1	4214
<b>TOTAL UNIDADES</b>					<b>2209,187.87</b>

Fuente: Elaboración propia.

#### 2.4.7. Factor ESAL's

Para calcular el factor ESAL's, utilizamos las tablas brindadas en la norma AASHTO 93, en donde se muestran la carga en kilo libras y kilo Newton para ejes sencillos y dobles respectivamente, en función al número estructural a utilizar y el índice de serviciabilidad final, si en un caso los pesos a utilizar según el tipo de vehículo no se encuentran en las tablas de referencia, habrá que interpolar.

##### 2.4.7.1. Ejes equivalentes (ESAL's de diseño)

El ESAL's de diseño, se define como la transformación de los ejes mixtos de tráfico que circulan en una vía a una cantidad equivalente de ejes cuyo peso es de 18 kilo libras en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento.

El ESAL's de diseño se obtiene mediante la Ecuación:

$$ESAL_{Diseño} = T_D * F_{ESAL} \quad \text{Ecuación No. 12}$$

Donde:

$ESAL's_{Diseño}$ : Cantidad de ejes equivalentes de 18 kilo libras.

$T_D$ : Tránsito de diseño.

$F_{ESAL's}$ : Factor ESAL's, según AASHTO 93.

Para lograr obtener los datos de LEF debemos realizar interpolaciones, para que luego podamos calcular el ESAL's de cada vehículo.

Mostraremos un ejemplo que se realizó un ejemplo para un vehículo "MC-15".

Factores equivalentes de carga para pavimentos Flexibles, ejes simples, Pt=2.0, SN=5.0.

Kips	SN5	Kips	SN5
4	0.002	8	0.031
4.4	X	8.8	X
6	0.009	10	0.079

**Fuente:** Elaboración propia.

Logrando obtener un LEF de 0.0034 para la interpolación de 2.2 Kips el cual es el primer eje del MC-15, y un LFE de 0.0502 para un valor de 8.8 Kips, del segundo eje. Realizando interpolaciones, se obtiene los LEF de cada eje.

**Tabla 15. Interpolaciones realizadas para los tipos de vehiculo**

INTERPOLACIONES	
EJE SIMPLE SN=5; Pt=2.0	
CARGAS 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

**Fuente:** Elaboración propia.

INTERPOLACIONES		INTERPOLACIONES	
EJE TANDEM SN=5; Pt=2.0		EJE TRIDEM SN=5; Pt=2.0	
CARGAS P/eje (KIPS)	LEF	CARGAS P/eje (KIPS)	LEF
36	1.38	44	0.686
36.4	1.45	44.1	0.69325
38	1.73	46	0.831

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 16. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips (8.2 Ton), con un periodo de diseño a 15 años, SN=5 y Pt=2**

TIPO DE VEHICULO	TIPO DE EJE	PESO POR EJE (KIPS)	TD	LEF	ESAL Diseño
automoviles	Simple	2.2	139033	0.0004	52.83
	Simple	2.2		0.0004	52.83
Jeep	Simple	2.2	107864	0.0004	40.99
	Simple	2.2		0.0004	40.99
Camionetas	Simple	2.2	510596	0.0004	194.03
	Simple	4.4		0.0034	1736.03
microbus<15pas	Simple	4.4	833	0.0034	2.83
	Simple	8.8		0.0502	41.84
bus >30 pas	Simple	11	12433	0.1265	1572.77
	Simple	22		2.35	29217.46
c2 2-5 ton	Simple	8.8	31751	0.0502	1593.91
	Simple	17.6		0.9206	29230.07
c3	Simple	11	20056	0.1265	2537.13
	Simple	36.4		1.45	29081.68
TX-SX<=4	Simple	11	4214	0.1265	533.06
	Simple	44.1		0.6933	2921.31
Σ ESAL por tipo de Vehículo					<b>98,849.75</b>

Fuente: Elaboración propia.

**ESAL o W18= 98,849.75** repeticiones equivalentes a 18 Kips o 18,000 lbs para el carril de diseño, en un periodo de 15 años.

# CAPITULO III

## ESTUDIO DE SUELO



### **3.1. Definiciones**

#### **3.1.1. Estudio de suelo**

El estudio de suelo es un proceso muy relevante que se ejecuta antes de iniciar la obra, por medio del cual conocemos las propiedades físico-mecánicas del suelo, y de esa forma es donde nos damos cuenta que el suelo es apto o no para la construcción. Para fines de diseño es conveniente que un Estudio de suelo abarque los siguientes temas: Exploración, Caracterización Propiedades y capacidad de soporte. (Manual De Revisión De Diseño de pavimentos, 2008, pág. 34).

La exploración del suelo según (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2008) tiene por finalidad definir el tipo y capacidad de soporte de los suelos de fundación. También como la hemos denominado la calidad de la subrasante se debe efectuar:

- Calicatas como mínimo cada 250m.
- La profundidad mínima recomendada de 1.50 de acuerdo al (Manual De Revisión De Diseño de pavimentos).

La caracterización de los suelos, visualmente se clasifica a los suelos en grupos básicos como: grava, arena, limos y arcillas. Generalmente el método empleado es la observación directa a propiedades de campo, tales como: textura, forma de los granos, granulometría, plasticidad.

Las propiedades Físico-Mecánicas se determinan según el (Manual De Revisión De Diseño de pavimentos, 2008, pág. 35) con los siguientes ensayos:

- ✓ Análisis granulométrico ASTM D-422.
- ✓ Constantes Física ASTM D-4318.
- ✓ Clasificación de los suelos SUCS y AASHTO.
- ✓ Capacidad de soporte (CBR).

- ✓ El perfil estratigráfico. El perfil estratigráfico es confeccionado con los datos que se obtienen de los análisis granulométricos.
- ✓ Capacidad de soporte del suelo, son valores que se obtienen a través de los siguientes indicadores:
  - ✓ Ensayo de california Bearing Ratio (CBR).

Tabla 17. Factores de camión	
Tipo de vehículo	ESAL'S por vehículo
Camiones, C2	1.76
Buses	1.92
Tractor Tráiler	3.48

Fuente: (Manual De Revisión De Diseño de pavimentos, 2008, pág. 84).

### 3.1.2. Sondeos Manuales sobre la línea

Con el propósito de conocer el tipo de suelo que conforma la estructura del camino en la actualidad y determinar sus propiedades físico-mecánicas básicas, para ello se realizaron sondeos de izquierda derecha de la línea central. Las dimensiones de los sondeos fueron de 0.50m de diámetro aproximadamente con una profundidad de 1.50 m, se realizaron cada 500m, ejecutándose 11 sondeos a lo largo de los 5 KM que mide el tramo en estudio. **(Ver anexo, fotografía 1, pág. IV).**

De las excavaciones de estos sondeos, se fueron tomando muestras continuas en cada uno, dando un total de 32 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°. Muestra N. °, 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 la resistencia o valor relativo soporte (CBR). Este valor es de fundamental importancia para el diseño de la nueva estructura del pavimento del camino.

### **3.1.3 Estudio geológico de superficie**

El estudio geológico de superficie debe comprender:

- La descripción visual de los diferentes tipos de afloramientos de rocas, el grado de meteorización, las fallas y otros defectos que puedan detectarse en dichas rocas.
- La descripción visual de los diferentes tipos de suelos.
- La ubicación de fuentes de materiales a ser investigadas a fin de determinar su calidad para su posible uso en la construcción de la vía.
- El estudio debe abarcar una zona suficientemente amplia a ambos lados del eje de la vía propuesta que permita la identificación de las unidades geomorfológicas de dicha zona tales como cauces, áreas de inundación, desprendimientos, laderas de reptación. Y señalar los puntos vulnerables donde se necesite efectuar una investigación más detallada. (Manual De Revisión De Diseño de pavimentos, 2008, pág. 5).

### 3.1.4 Clasificación de suelos AASHTO

La clasificación de suelos es un indicador universalmente aceptado de las propiedades físicas de los suelos. La clasificación que mejor se adapta para reflejar las propiedades de un suelo como subrasante es la de la AASHTO. Sus variables de entrada son la granulometría y plasticidad.

En general un suelo, de acuerdo a su granulometría, se divide en:

- Grava: tamaño < 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2 mm).
- Arena gruesa: tamaño < 2 mm, tamiz No. 10 hasta tamiz No. 40 (0.425 mm).
- Arena fina: tamaño < 0.425 mm tamiz No. 40 hasta tamiz No. 200 (0.075 mm).
- Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm (pasa tamiz 200).

Según AASHTO, un suelo fino es aquel que tiene más del 35 % que pasa el tamiz No. 200 y se denominan comúnmente: A-4; A-5; A-6 o A-7. (American Association of State Highway and Transportation (AASHTO-93), 2004).

#### Ilustración 9. Tabla de clasificaciones de suelo, 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 <sup>A</sup>	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. <sup>B</sup>
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			

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

<sup>B</sup> 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.º 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.

### **3.2. Actividades de laboratorio**

Se realizaron los sondeos manuales a lo largo del tramo en estudio, a una profundidad de 1.50m, luego las muestras fueron trasladadas al laboratorio para ejecutar los ensayos correspondientes para conocer y determinar las propiedades

físico-mecánicas, lograr clasificar estas mismas y conocer su capacidad de soporte. Los ensayos de laboratorio correspondientes al estudio de suelos para carreteras o caminos se realizan conforme a las Normas AASHTO o ASTM y serán mostrados en. **(Ver anexos, pág. VI, VII y VIII).**

**Tabla 18. Ensayos realizados en laboratorio**

Tipo de Ensayo	Designación	Designación
	ASTM	AASHTO
<b>Análisis Granulométrico de los suelos</b>	D 2216	T 265
<b>Limite Líquido de los suelos</b>	D 422	T 88
<b>Limite Plástico de los Suelos</b>	D 424	T 90
<b>Índice de Plasticidad de los suelos</b>	D 424	T 90
<b>Clasificación de los Suelos</b>	D 3282 D 2487-11	M 145
<b>Ensayo de Proctor Estándar</b>	D 698	T 99
<b>Ensayo de CBR</b>	<b>D 1883</b>	<b>T 193</b>

**Fuente:** (Manual Para la Revisión de Estudios Geotécnicos , 2008, pág. 8).

### 3.2.1. Ensayo de granulometría

#### Banco de material

Una de las actividades que se realizó durante nuestra etapa de investigación de campo consistió en la identificación de fuentes de materiales que podrían ser usados en la etapa de construcción del pavimento. Para este proyecto se identificó el banco de material de “**La Thompson**”, el cual se localiza a 2 kilómetros al norte de la ciudad de Estelí, el volumen aproximado de este banco es de 27,000 m<sup>3</sup>.

El material de este banco corresponde principalmente a arena con limo y grava tipo A-1-a (0) color café claro. No posee limite líquido ni índice de plasticidad, y sus partículas pasan 70% el tamiz 11/2”, 23% el tamiz N°4, y 9% el tamiz N°200. El PVS máx. Es de 1,990 kg/m<sup>3</sup> su Humedad Optima de 13.8%, su PVSS es de 1,378 kg/m<sup>3</sup>, el PVSC de 1,488 kg/m<sup>3</sup>, su Factor de Abundamiento de 1.32. El resultado de ensayo de CBR en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado, es de 64, 83.4 y 96%, respectivamente. Este material tiene 48% de desgaste Los Ángeles y 12% de intemperismo acelerado.

Los materiales obtenidos del banco de préstamo identificado, de acuerdo con las exploraciones realizadas y a los ensayos de laboratorio efectuados por el laboratorio EDICO, presentan de manera resumida las siguientes características físicas mecánicas. **(Ver tabla 19).**

**Tabla 19. Características del banco de préstamo “La Thompson” para la Capa base**

Banco	% QUE PASA POR TAMIZ									L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIF. AASHTO	CBR al 95%
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200				
1	100	99	91	84	70	48	14	7	2	..	NP	A-1-a(0)	83.4

**Fuente:** Alcaldía Municipal de Estelí-EDICO.

Las propiedades del banco de préstamo seleccionado se compararon con los requerimientos mínimos de la NIC-2000, los cuales se deben cumplir para que este banco se utilice como base.

**Tabla 20: Requerimientos mínimos para la capa base.**

Prueba	Requerimientos mínimos NIC-2000	Banco “La Tompson”	Valoración
<b>Graduación</b>	Cuadro 1003.10	Cumple	Cumple
<b>Desgaste de Los Ángeles</b>	Máx. 50%	48%	Cumple
<b>Intemperismo Acelerado</b>	Máx. 12%	12%	Cumple
<b>Índice de plasticidad</b>	Máx. 10%	No posee	Cumple
<b>CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación</b>	Min. 80%	83.4%	Cumple

Fuente: Especificaciones Nic-2000. Sección: 1003.10 (b), pág. 53

**Tabla 21. Resultados de los ensayos de granulometría de los sondeos de la línea.**

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (m)	% QUE PASA POR EL TAMIZ												L.L	L.P	I.P	Clasificación	
			3"	2.5"	2"	1.5"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#10	#40	#200				USCS	AASHTO
1	1	0.00-0.30	100	100	100	96	88	82	70	62	44	40	36	31	50	32	18	GC-GM	A-2-7(1)
	2	0.30-0.90	100	100	100	95	90	85	73	64	47	36	28	22	33	23	10	GC	A-2-4(0)
	3	0.90-1.10	100	100	100	91	80	75	65	60	50	47	44	37	63	30	33	GC	A-7-5(6)
	4	1.10-1.50	100	100	100	96	88	82	70	62	44	40	36	31	50	32	18	GM	A-2-7(1)
		>1.50																	
2	1	0.00-0.20	100	100	100	100	93	79	60	49	37	31	19	13	22	17	5	GC-GM	A-1-a
	2	0.20-0.60	100	100	100	97	92	82	67	58	45	40	26	15	30	21	9	GC	A-2-4(0)
	3	0.60-1.20	100	100	100	94	86	85	81	79	72	69	61	48	58	35	23	GM	A-7-5(8)
	4	1.20-1.50	100	100	100	100	100	100	99	98	89	89	88	84	76	40	36	MH	A-7-5(37)
		>1.50																	
3	1	0.00-0.50	100	100	100	100	100	96	86	74	56	47	32	20	24	20	4	GC-GM	A-1-b
	2	0.50-0.80	100	100	100	100	97	88	78	73	60	57	51	47	52	36	16	GM	A-7-5(5)
	3	0.80-1.50	100	100	100	88	81	74	67	62	50	45	38	31	52	32	20	GM	A-2-7(2)
		>1.50																	
4	1	0.00-0.55	100	100	100	100	86	89	77	72	53	44	34	21	27	21	6	GC-GM	A-1-b
	2	0.55-0.85	100	100	100	96	86	84	77	74	61	54	42	31	34	26	8	GM	A-2-4(0)
	3	0.85-1.26	100	100	100	100	91	81	71	65	48	39	32	24	61	39	22	GM	A-2-7(1)
	4	1.26-1.50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	72	52	79	51	28	MH	A-7-5(13)
		>1.50																	
5	1	0.00-0.40	100	100	100	100	100	96	86	74	56	47	32	20	24	20	4	GC-GM	A-1-b
	2	0.40-1.10	100	100	100	97	92	87	80	73	54	47	37	25	42	30	12	GM	A-2-7(0)
	3	1.10-1.50	100	100	100	96	94	92	89	86	63	62	56	43	53	34	19	GM	A-7-5(5)
		>1.50																	
6	1	0.00-0.35	100	100	100	100	86	74	52	42	24	17	8	4	NP	NP	NP	GP	A-1-a
	2	0.35-0.90	100	100	100	100	96	93	84	78	61	61	59	57	29	23	6	ML	A-4(2)

	3	0.90-1.50	100	100	100	100	93	86	76	69	57	47	36	30	51	30	21	GM	A-2-7(2)
		>1.50																	
7	1	0.00-0.70	100	100	100	100	100	96	86	74	56	47	32	20	24	20	4	GC-GM	A-1-b
	2	0.70-1.50	100	100	100	97	96	95	90	86	62	59	47	30	55	35	20	GM	A-2-7(2)
		>1.50																	
8	1	0.00-0.60	100	100	100	100	100	96	86	74	56	47	32	20	24	20	4	GC-GM	A-1-b
	2	0.60-1.50	100	100	100	100	93	89	85	79	62	52	38	25	55	34	21	GM	A-2-7(1)
		>1.50																	
9	1	0.00-0.45	100	100	100	100	100	96	86	74	56	47	32	20	24	20	4	GC-GM	A-1-b
	2	0.45-1.00	100	100	100	100	93	86	76	71	55	48	37	21	31	26	5	GM	A-1-b
	3	1.00-1.50	100	100	100	98	91	87	77	70	53	51	42	33	51	33	18	GM	A-2-7(1)
		>1.50																	
10	1	0.00-0.80	100	100	100	100	100	96	86	74	56	47	32	20	24	20	4	GC-GM	A-1-b
	2	0.80-1.50	100	100	100	96	93	91	84	82	73	71	59	35	52	33	19	SM	A-2-7(2)
		>1.50																	
11	1	0.00-0.95	100	100	100	100	100	96	86	74	56	47	32	20	24	20	4	GC-GM	A-1-b
	2	0.95-1.50	100	100	100	98	91	87	77	70	53	51	42	33	51	33	18	GM	A-2-7(1)

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2. Límites de Atterberg y clasificación de suelo

Tabla 22. Límites de Atterberg y Clasificación del suelo

Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (m)	L.L	L.P	I.P
1	1	0.00-0.30	50	32	18
	2	0.30-0.90	33	23	10
	3	0.90-1.10	63	30	33
	4	1.10-1.50	50	32	18
		>1.50			
2	1	0.00-0.20	22	17	5
	2	0.20-0.60	30	21	9
	3	0.60-1.20	58	35	23
	4	1.20-1.50	76	40	36
		>1.50			
3	1	0.00-0.50	24	20	4
	2	0.50-0.80	52	36	16
	3	0.80-1.50	52	32	20
		>1.50			
4	1	0.00-0.55	27	21	6
	2	0.55-0.85	34	26	8
	3	0.85-1.26	61	39	22
	4	1.26-1.50	79	51	28
		>1.50			
5	1	0.00-0.40	24	20	4
	2	0.40-1.10	42	30	12
	3	1.10-1.50	53	34	19
		>1.50			
6	1	0.00-0.35	NP	NP	NP
	2	0.35-0.90	29	23	6
	3	0.90-1.50	51	30	21
		>1.50			
7	1	0.00-0.70	24	20	4
	2	0.70-1.50	55	35	20
		>1.50			
8	1	0.00-0.60	24	20	4
	2	0.60-1.50	55	34	21
		>1.50			
9	1	0.00-0.45	24	20	4
	2	0.45-1.00	31	26	5
	3	1.00-1.50	51	33	18
		>1.50			
10	1	0.00-0.80	24	20	4
	2	0.80-1.50	52	33	19
		>1.50			
11	1	0.00-0.95	24	20	4
	2	0.95-1.50	51	33	18

Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 10. Columna estratigráfica.**

TRAMO COMUNIDAD EL NARANJO-GUASUYUCA, 5KM											
ESTACION DE SONDEO	0+000	0+500	1+000	1+500	2+000	2+500	3+000	3+500	4+000	4+500	5+000
PROFUNDIDAD	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
0.1m	A-2-7(1)	A-1-a	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-a	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b
0.2m											
0.3m											
0.4m	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-7-5(5)	A-1-b	Profundidad de corte		A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b
0.5m											
0.6m											
0.7m		A-7-5(8)	A-2-7(2)	A-2-4(0)	A-2-7(0)	A-4(2)	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b	A-1-b
0.8m											
0.9m											
1.00m	A-7-5(6)	A-7-5(37)	A-2-7(2)	A-2-7(1)	A-7-5(5)	A-2-7(2)	A-2-7(2)	A-2-7(1)	A-2-7(1)	A-2-7(2)	A-2-7(1)
1.10m											
1.20m											
1.30m	A-2-7(1)			A-7-5(13)							
1.40m											
1.50m											

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.3. Ensayo de Proctor Estándar

La relación entre la humedad y densidad para un suelo compactado resulta de gran importancia 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, en otras palabras, la humedad en 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 aplicada al suelo, y en caso de incrementarse ésta, la humedad óptima será menor y la densidad seca mayor.

Se realizó este ensayo a 4 de las muestras obtenidas en los sondeos manuales, usando método C establecido en la norma ASTM 698-91.

**Tabla 23. Especificaciones para el ensayo Proctor Estándar (basada en la norma ASTM 698-91)**

CONCEPTO	METODO			
	A	B	C	D
Diámetro del molde (cm)	10.16	15.24	10.16	15.24
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	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 <sup>3</sup> )	6.06	6.03	6.06	6.03

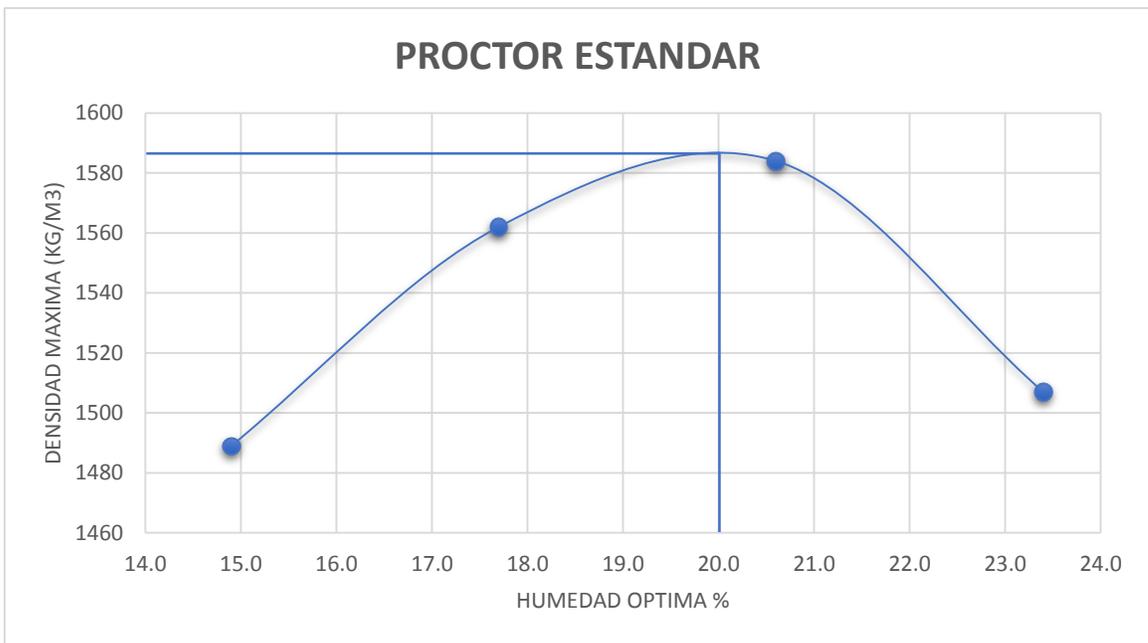
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 24. Resultados del primer ensayo realizado**

Sondeo Manual	SM, EST. 0+000, B/D			
Muestra	#3			
Profundidad (m)	0.90-1.10			
Ensayo No. 1	PROCTOR: Estándar			
Determinación	1	2	3	4
Agua agregada	15%	17%	20%	23%
Peso Molde + material húmedo	136326.0	13901	14060	13950.00
Peso del molde gr	9900.0	9900.0	9900.0	9900.0
Peso del material húmedo gr	3726.0	4001.0	4160	4050
Volumen del molde (cm3)	2177.52	2177.52	2177.52	2177.52
Densidad húmeda kg/m3	1711.0	1837	1910	1860
Tara N°	T-10	D-33	DE-17	A-59
Tara + material húmedo gr.	343.2	250.0	408.8	453.4
Tara + material seco gr.	304.6	219.5	346.6	376.1
Peso del agua gr.	38.6	30.5	62.2	77.3
Peso del Tara gr.	45.6	46.8	44.8	46
Peso del suelo seco gr.	259.0	172.7	301.8	330.1
Contenido de agua %	14.9	17.7	20.6	23.4
Densidad seca kg/m3	1489	1562	1584	1507

Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 11. Densidad seca máxima Vs % de humedad**



Fuente: Elaboración propia.

W óptimo: 20%.

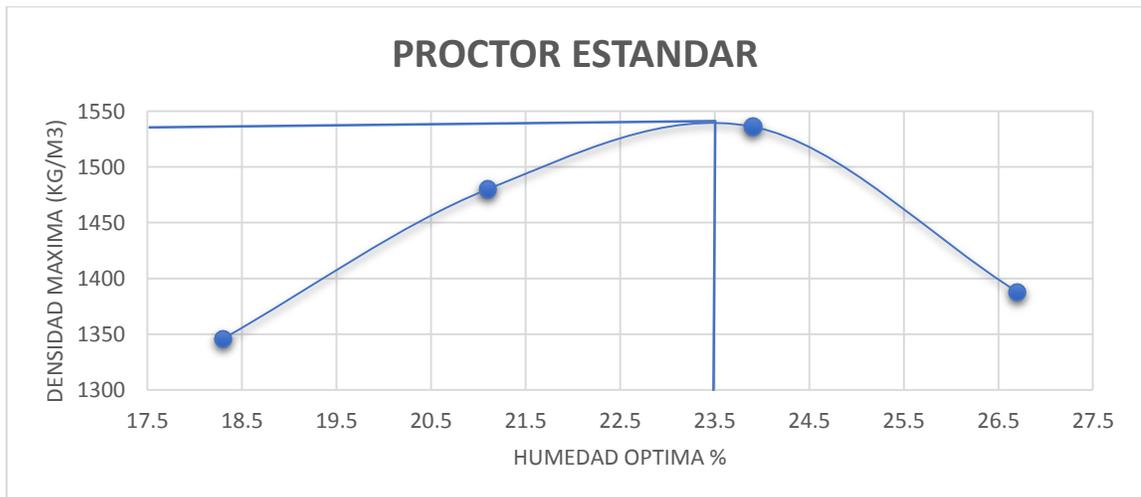
Densidad máxima: 1586 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 25. Resultados del segundo ensayo realizado**

Sondeo Manual	SM-5, EST. 2+000, B/D			
Muestra	#3			
Profundidad (m)	0.90-1.10			
Ensayo No. 2	PROCTOR: Estándar			
Determinación	1	2	3	4
Agua agregada	18%	21%	23%	26%
Peso Molde + material húmedo	6827.0	7011.0	7113	6980.00
Peso del molde gr	5360.0	5360.0	5360.0	5360.0
Peso del material húmedo gr	1467.0	1651.0	1753	1620
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	921.00	921.00	921.00	921.00
Densidad húmeda kg/m <sup>3</sup>	1593.0	1793	1903	1759
Tara N°	P-6	L-24	P-4	P-4
Tara + material húmedo gr.	281.4	320.8	360.6	404.4
Tara + material seco gr.	245.3	273.2	300.3	329.5
Peso del agua gr.	36.1	47.6	60.3	74.9
Peso del Tara gr.	48.4	47.6	48.2	49.1
Peso del suelo seco gr.	196.9	225.6	252.1	280.4
Contenido de agua %	18.3	21.1	23.9	26.7
Densidad seca kg/m <sup>3</sup>	1346	1480	1536	1388

Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 12. Densidad seca máxima Vs % de humedad**



Fuente: Elaboración propia.

W óptimo: 23.5%.

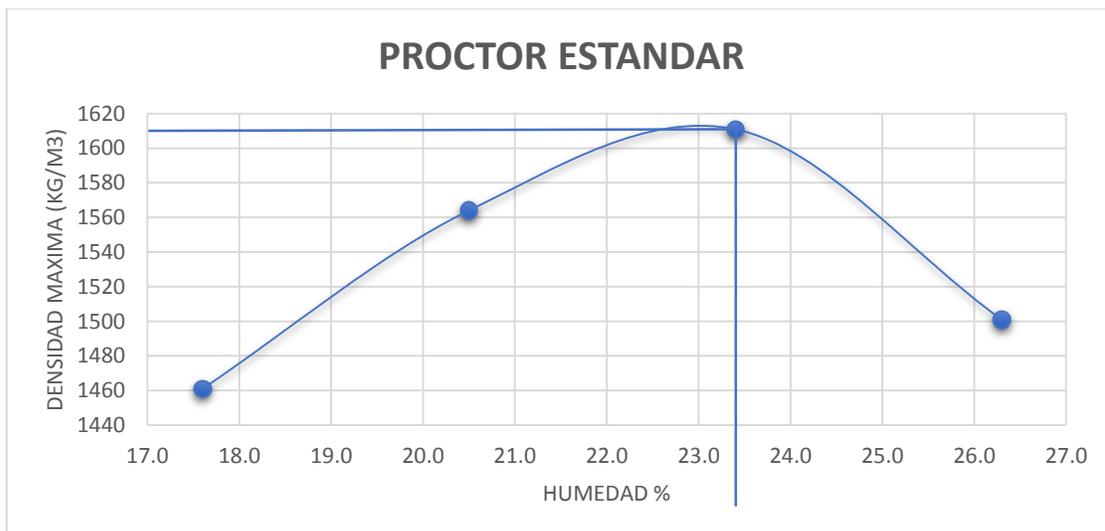
Densidad máxima: 1537 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 26. Resultados del tercer ensayo realizado**

Sondeo Manual	SM-7, EST. 3+000, B/D			
Muestra	#2			
Profundidad (m)	0.70-1.50			
Ensayo No. 3	PROCTOR: Estándar			
Determinación	1	2	3	4
Agua agregada	17%	20%	23%	26%
Peso Molde + material húmedo	6943.0	7096.0	7191	7106.00
Peso del molde gr	5360.0	5360.0	5360.0	5360.0
Peso del material húmedo gr	1583.0	1736.0	1831	1746
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	921.00	921.00	921.00	921.00
Densidad húmeda kg/m <sup>3</sup>	1719.0	1885	1988	1896
Tara N°	N-10	K-5	E-6	P-4
Tara + material húmedo gr.	302.1	351.6	391.7	429.6
Tara + material seco gr.	264.0	301.6	328.4	351.4
Peso del agua gr.	38.1	50.0	63.3	78.2
Peso del Tara gr.	48.0	58.0	58	54.2
Peso del suelo seco gr.	216.0	243.6	270.4	297.2
Contenido de agua %	17.6	20.5	23.4	26.3
Densidad seca kg/m <sup>3</sup>	1461	1564	1611	1501

Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 13. Densidad seca máxima Vs % de humedad**



Fuente: Elaboración propia.

W óptimo: 23.2%.

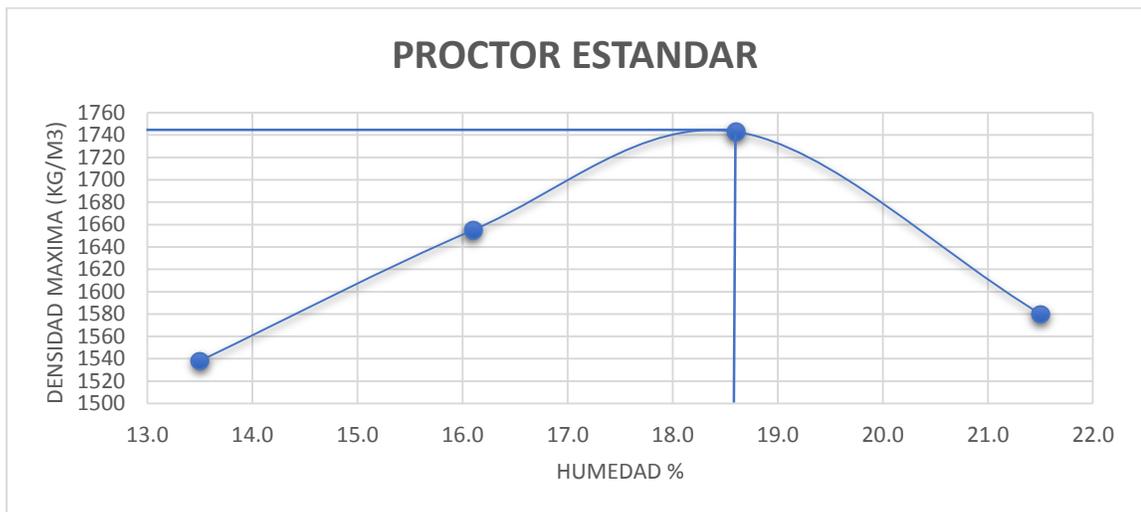
Densidad máxima: 1,611 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 27. Resultados del cuarto ensayo realizado**

Sondeo Manual	SM-9, EST. 4+000, B/D			
Muestra	#3			
Profundidad (m)	01.10-1.50			
Ensayo No. 4	PROCTOR: Estándar			
Determinación	1	2	3	4
Agua agregada	13%	16%	18%	21%
Peso Molde + material húmedo	13700.0	14083.0	14400	14080.00
Peso del molde gr	9900.0	9900.0	9900.0	9900.0
Peso del material húmedo gr	3800.0	4183.0	4500	4180
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	2177.52	2177.52	2177.52	2177.52
Densidad húmeda kg/m <sup>3</sup>	1745.0	1921	2067	1920
Tara N°	N-10	ST-10	L-2	T-10
Tara + material húmedo gr.	323.0	268.1	289	208.7
Tara + material seco gr.	289.8	241.8	255.6	182
Peso del agua gr.	33.2	26.3	33.4	26.7
Peso del Tara gr.	43.0	78.0	76	58
Peso del suelo seco gr.	246.8	163.8	179.6	124
Contenido de agua %	13.5	16.1	18.6	21.5
Densidad seca kg/m <sup>3</sup>	1538	1655	1743	1580

Fuente: Elaboración propia.

**Ilustración 14. Densidad seca máxima Vs % de humedad**



Fuente: Elaboración propia.

W óptimo: 18.8%.

Densidad máxima: 1,743 kg/m<sup>3</sup>.

### **3.3.4. Ensayo de valor Relativo Soporte o Relación de soporte de California. California Bearing Ration (CBR)**

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 unitarias 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 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:

#### **Cálculo del CBR**

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100 \qquad \text{Ecuación No. 13}$$

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.

#### **3.3.4.1. 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), o 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 10, 25 y 56 golpes.

**Tabla 28. Resultados de CBR**

<b>PAVIMENTO ARTICULADO EN LA COMUNIDAD EL NARANJO-GUASUYUCA</b>					
<b>MUESTRA: SM-1, EST: 0+000, B/D</b>					
<b>NUMERO DE MUESTRA: 4</b>			<b>PROFUNDIDAD: 1.10-1.50 m</b>		
<b>ENSAYOS</b>	<b>DENSIDAD (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>% de DENSIDAD MAXIMA</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>CBR (95%)</b>	
				<b>0.10 In.</b>	<b>0.20 In.</b>
1	1592	100.4	26.4	14	14
2	1520	95.8	26.8	8	9
3	1438	90.7	26.9	5	5
<b>PAVIMENTO ARTICULADO EN LA COMUNIDAD EL NARANJO-GUASUYUCA</b>					
<b>MUESTRA: SM-5, EST: 2+000, B/I</b>					
<b>NUMERO DE MUESTRA: 3</b>			<b>PROFUNDIDAD: 1.10-1.50 m</b>		
<b>ENSAYOS</b>	<b>DENSIDAD (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>% de DENSIDAD MAXIMA</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>CBR (95%)</b>	
				<b>0.10 In.</b>	<b>0.20 In.</b>
1	1592	100.4	26.4	14	15
2	1520	95.8	26.8	10	10
3	1438	90.7	26.9	6	5
<b>PAVIMENTO ARTICULADO EN LA COMUNIDAD EL NARANJO-GUASUYUCA</b>					
<b>MUESTRA: SM-7, EST: 3+000, B/D</b>					
<b>NUMERO DE MUESTRA: 2</b>			<b>PROFUNDIDAD: 0.70-1.50 m</b>		
<b>ENSAYOS</b>	<b>DENSIDAD (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>% de DENSIDAD MAXIMA</b>	<b>HUMEDAD (%)</b>	<b>CBR (95%)</b>	
				<b>0.10 In.</b>	<b>0.20 In.</b>
1	1592	100.4	26.4	15	17
2	1520	95.8	26.8	11	12
3	1438	90.7	26.9	4	4

PAVIMENTO ARTICULADO EN LA COMUNIDAD EL NARANJO-GUASUYUCA					
MUESTRA: SM-7, EST: 4+000, B/I					
NUMERO DE MUESTRA: 3			PROFUNDIDAD: 1.00-1.50 m		
ENSAYOS	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	% de DENSIDAD MAXIMA	HUMEDAD (%)	CBR (95%)	
				0.10 In.	0.20 In.
1	1592	100.4	26.4	18	18
2	1520	95.8	26.8	11	10
3	1438	90.7	26.9	7	6

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.5. Determinación del CBR de diseño

El ensayo CBR (California Bearing Ratio): Ensayo de Relación de Soporte de California, mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y sirve para poder evaluar la calidad del terreno para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad, y esta normado por la ASTM-D1883 y por la AASHTO T-193. Para la aplicación de este ensayo las muestras se sometieron a saturación por un periodo de 96 horas de anticipación.

La metodología para la determinación del CBR de diseño consiste en:

- 1) Identificar los valores utilizar en el diseño del CBR, los cuales son todos, los valores que se encuentran debajo de la línea de la sub-rasante.
- 2) Ordenar los valores de menor a mayor, se determina la frecuencia de cada uno de ellos y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.
- 3) Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR con el percentil que corresponda, dependiendo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

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

La capa de rodamiento existente es variable, pero en promedio tiene un espesor de 30 centímetros, es por eso que para el cálculo del CBR de la sub rasante en este diseño se tomaron los valores de CBR más próximos, por debajo de 60 centímetros, ya que estos son los que recibirán las cargas del tránsito de diseño.

Aplicando el criterio expuesto por el Instituto del Asfalto para la determinación del valor del CBR de Diseño, el cual recomienda tomar un valor adecuado ya sea de 60%, 75% o el 87.5%, de los valores individuales obtenidos sean iguales o mayores que el de acuerdo con el tránsito que se espera que circule por el pavimento. El valor de CBR tomado corresponde a 0.2 pulgadas de penetración.

Teniendo en cuenta que el ESAL's es de 98,849.75 por tanto para nuestro diseño utilizaremos un percentil de 75.00%. **(Ver tabla 29).**

**Tabla 29. Criterio del Instituto de asfalto para determinar CBR de diseño**

Cargas Equivalentes totales (ESAL's)	Percentil de Diseño (%)
< de 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000	75
>de 1,000,000 ESAL's	87.5

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Para este diseño se eligió el percentil de Diseño 75% ya que el capítulo tránsito se obtuvo un valor de **98,849.75** repeticiones equivalentes a 18,000 Libras. En la **Tabla 30, página 55**, se muestran los valores para el cálculo del CBR de la sub-rasante.

**Tabla 30. Valores a utilizar para el cálculo de CBR de diseño**

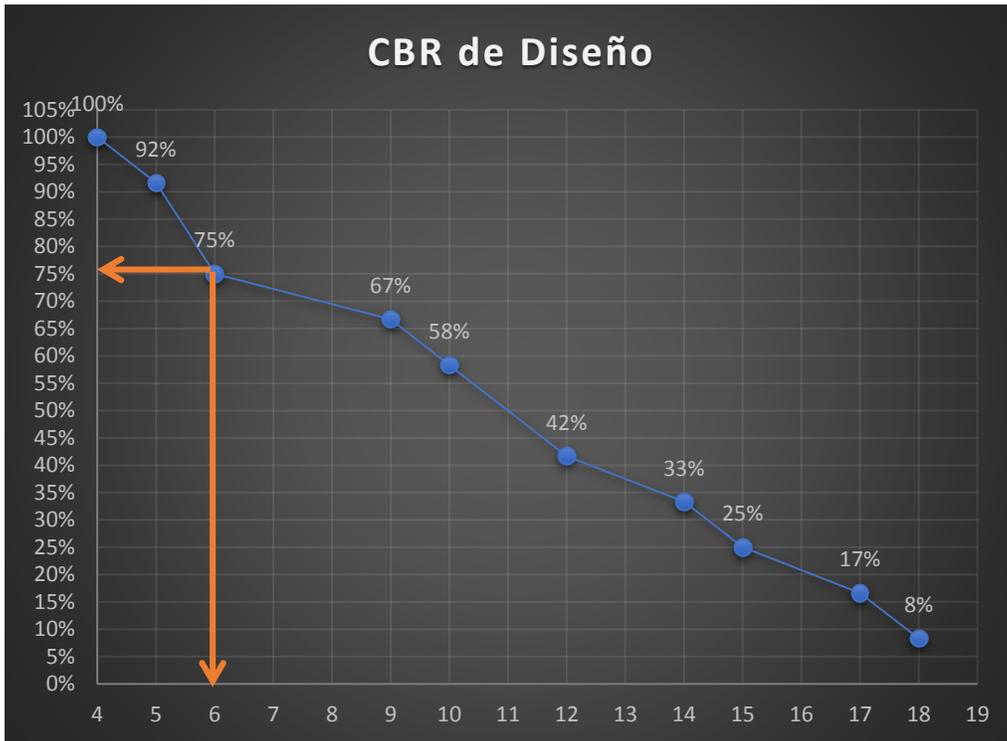
CBR	FRECUENCIA	CANTIDADES DE VALORES IGUALES O MAYORES	% DE VALORES IGUALES O MAYORES
4	1	12	100%
5	2	11	92%
6	1	9	75%
9	1	8	67%
10	2	7	58%
12	1	5	42%
14	1	4	33%
15	1	3	25%
17	1	2	17%
18	1	1	8%

Fuente: Elaboración propia.

El valor de CBR de la sub-rasante es el más importante de definir, dado que a través de este se obtendrá el valor del Módulo de Resiliencia (MR) a ser utilizado en el diseño. Con los valores CBR y porcentaje de valores se dibuja un gráfico donde se determina el CBR de diseño para la sub rasante. Se utilizaron los valores de 0.2in en dicho procedimiento.

De acuerdo con el ESAL's, determinado en el estudio de transito de este proyecto, el cual es de **98,849.75**, se tomó un valor percentil para el diseño de sub-rasante según lo muestran en la **ilustración 15**, que es de **75.00%** de los valores mayores o iguales, el cual se interceptó con la curva de los valores de CBR.

### Ilustración 15. Selección del CBR de diseño



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 31. Clasificación del CBR de diseño.**

CBR	Clasificación
0-5	Sub rasante mala
5-10	Sub rasante regular
10-20	Sub rasante buena
20-30	Sub rasante muy buena
30-50	Sub-base buena
50-80	Base buena
80-100	Base muy buena

**Fuente:** Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Crespo Villalaz 5ta Edición, pág. 113.

El resultado del CBR de diseño para la sub-rasante fue de 6%, el cual de acuerdo con la clasificación de CBR de la tabla 31, clasifica la sub rasante existente como regular, ya que se establece en el rango de (5-10).

# CAPITULO IV

## LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO



#### **4.1. Definiciones**

La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objetivo la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales (planimetría y altimetría). De “Topos” que significa lugar, y de “Grafos”, descripción. Esta representación tiene lugar sobre superficie plana limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de geodesia para áreas mayores. De manera muy simple, podemos decir que para un topógrafo la tierra es plana, mientras que para un geodesta no lo es. (Manual Para La Elaboración de Términos de Referencia Para Diseño de Carreteras, 2008).

##### **4.2.1 Levantamiento topográfico**

Control vertical o establecimiento de BMs. Los bancos de Nivel serán los mismos puntos de la línea base. Para realizar esta actividad deberá utilizarse equipo óptico –mecánico de precisión. Para el establecimiento de las elevaciones a los puntos de la línea base, se usará el método diferencial y doble recorrido. El origen de las elevaciones será un Banco de Nivel perteneciente a la Red Geodésica Nacional. La tolerancia de cierre será igual o menor mm,  $12\sqrt{k}$  expresado en kilómetros o fracción. (Manual Para La Elaboración de Términos de Referencia Para Diseño de Carreteras, 2008, pág. 23).

##### **4.2.2. Levantamiento de línea central**

El Consultor levantará la línea central existente, saliendo de los dos puntos de control iniciales, continuando con los intermedios y terminando en los dos puntos de control establecidos al final. Se deberá efectuar el cálculo de la precisión antes de ejecutar cualquier ajuste de cierre. Todos los levantamientos posteriores en el proyecto estarán referidos a este sistema de coordenadas. (Manual Para La Elaboración de Términos de Referencia Para Diseño de Carreteras, 2008, pág. 24).

##### **4.2.3. Levantamiento de derecho de vía y otros detalles**

Este trabajo consistió en el levantamiento de todas las estructuras existentes, caminos de accesos, postes de energía y de teléfono, tuberías de agua potable y

alcantarillas sanitarias, etc., el consultor deberá identificar todas aquellas edificaciones de función social tales como escuelas, que permitirá la elaboración de planos que justifiquen y muestren, iglesias, ermitas, centros de salud que se ubiquen a los lados del camino para plasmarlas en los planos con sus respectivos nombres. De igual manera, identificará las fronteras de las comarcas, caseríos o poblaciones por donde atraviesa el camino las que deberán ser ubicadas en los planos con sus respectivos nombres.

#### **4.2.4. Levantamiento topográfico en el tramo El Naranja-Guasuyuca**

Este estudio topográfico se realizó con una estación total modelo Leica T5 plus precisión de 5 segundos, prismas, bastones GPS Garmin, 3 radios de comunicación y una laptop. **(Ver anexo, fotografía 7, Pág. VIII).**

Se aplicó el método de perfil longitudinal y secciones transversales a cada 20 mts y se hicieron a menos de 20 mts cuando el terreno es sinuoso y ondulado, según lo establecen los levantamientos topográficos.

Se comenzó estacionándose en el primer punto, que en nuestro caso es el BM1, posteriormente nos alineamos con el norte magnético y con el GPS se determinaron las coordenadas del punto donde nos estacionamos. Comenzamos la toma de puntos de forma radial recogiendo con ellos, la mayor cantidad de información posible del lugar, como por ejemplo la localización de postes de tendido eléctrico, límites de propiedad, vados, y alcantarillas que se encontraban en el lugar; colocando el prisma a cada 20 metros y haciendo las respectivas lecturas, y al mismo tiempo determinábamos los PI para realizar el siguiente estacionamiento; en ocasiones había que tomar más información debido a irregularidades en el terreno (TN), , intersecciones y vados. Se establecieron 8 BM (Banco Maestro o de Referencia) aproximadamente a 500 metros de separación ubicados en bandas derecha e izquierda, alternados como objetivo para un futuro replanteo en el proceso de construcción.

Se realizó este procedimiento en todo el tramo hasta lograr los 5 KM la cual es la distancia a trabajar. **(Ver en Anexos Fotografía No. 8 Pág. IX).**

**Tabla 32. Registro de los datos de campo**

PUNTO	X	Y	Z	DESCRIPCION
1	573896	1440610	1059	BM1
2	573953.677	1440589.86	1060.9969	BM2
3	573878.887	1440595.24	1059.3316	CARRETERA
4	573890.098	1440576.2	1059.0542	CARRETERA
5	573867.2	1440618.32	1059.5323	CARRETERA
6	573874.54	1440620.6	1059.2235	CARRETERA
7	573885.971	1440597.86	1058.9791	CARRETERA
8	573896.303	1440580.66	1058.7027	CARRETERA
9	573903.849	1440585.71	1058.7979	TN
10	573909.703	1440589.87	1058.9114	L.P PROY
11	573905.455	1440596.86	1058.9921	ELP
12	573905.916	1440598.92	1058.9481	EL.P
13	573911.836	1440602.57	1059.0844	ELP
14	573915.585	1440602.2	1059.2755	ELP
15	573893.763	1440618.75	1059.0721	LP PROY
16	573896.577	1440613.06	1059.1965	ELP
17	573897.803	1440611.39	1058.959	BC
18	573897.807	1440606.41	1059.0492	LCC
19	573901.086	1440600.01	1058.9051	BC
20	573892.624	1440603.11	1058.94	LCC

Fuente: Elaboración propia.

Ubicamos los Banco de medida (BM) en puntos que consideramos más convenientes.

**Tabla 33. Ubicación de los Bancos Maestro (BM)**

PUNTO	X	Y	Z	DESCRIPCION	ESTACION
1	573896	1440610	1059	BM1	0+000
2	573953.677	1440589.86	1060.9969	BM2	0+060
132	574292.6896	1440665.67	1071.6383	PI Y BM3	0+440
144	574331.7105	1440703.27	1077.1898	PI Y BM4	3+340
1132	576319.3626	1441470.87	1203.3137	PI Y BM5	3+380
1149	576332.0452	1441440.03	1204.7181	BM6	3+470
1198	576396.658	1441374.59	1209.1645	BM7	4+490
1550	577204.7351	1441033.54	1246.1207	PI Y BM8	4+800

Fuente: Elaboración propia.

Para asumir el tipo de relieve del lugar donde se ejecutará la obra, tomamos las pendientes naturales del terreno, como se muestra en la tabla siguiente:

**Tabla 34. Pendientes naturales del terreno**

No	ESTACIÓN DE PUNTO MÁS BAJO	ESTACIÓN DE PUNTO MÁS ALTO	PENDIENTE NATURAL (%)
1	0+042.030	0+184.577	7.29%
2	0+271.035	0+412.255	2.80%
3	0+412.255	0+510.571	11.38%
4	0+510.571	0+602.200	4.49%
5	0+602.200	0+809.604	11.49%
6	0+809.604	1+053.505	8.27%
7	1+387.243	1+488.99	11.44%
8	1+488.99	1+512.348	3.36%
9	1+512.348	1+686.892	13.62%
10	1+686.892	1+722.711	4.16%
11	1+807.9475	1+841.2083	14.39%
12	1+890.1000	1+915.6234	6.13%
13	1+968.1225	2+055.0477	2.64%
14	2+096.3347	2+231.8549	-4.05%
15	2+300.8424	2+324.6270	-1.64%
16	2+360.2290	2+365.7268	-6.17%
17	2+576.7358	2+623.1113	8.06%
18	2+633.1943	2+652.6820	4.50%
19	2+678.8274	2+681.5782	8.62%
20	2+795.5800	2+801.1678	-3.43%
21	2+831.1678	2+870.3692	7.35%
22	2+966.4766	2+970.8910	4.20%
23	3+107.4852	3+222.2880	7.59%
24	3+268.2590	3+286.6462	12.76%
25	3+457.7855	3+471.7086	11.03%
26	3+584.5054	3+588.9559	12.66%
27	3+707.2199	3+770.4546	-11.55%
28	3+915.8441	3+943.3587	11.76%
29	4+002.4415	4+034.1484	-3.01%
30	4+084.7649	4+105.8535	9.60%

31	4+196.3405	4+262.5794	19.65%
32	4+313.3117	4+333.3556	6.97%
33	4+397.0346	4+448.1991	-8.86%
34	4+468.1051	4+527.4537	-6.65%
35	4+567.4537	4+578.8248	11.75%
36	4+687.1774	4+703.7966	13.81%
37	4+798.4626	4+892.1907	-9.86
38	4+956.8077	5+000.00	-2.58%

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó que el terreno es ondulado en ciertos tramos y montañoso ya que presenta secciones bastante accidentado en el cual se obtuvieron rangos que van desde los -3% hasta 19.65% de pendiente.

Según el (Manual Centramericano De Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras., 2011) un terreno se clasifica como montañoso cuando su pendiente más alta es mayor que 19.65%, como se muestra a continuación.

**Tabla 35. Tipo de terreno del tramo en estudio.**

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

Fuente: (Manual Centramericano De Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras., 2011, pág. 116).

# CAPITULO V

## DISEÑO ESTUCTURAL



## 5.1. Definiciones

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 implementada recibe 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 menos es la que esta recibirá.

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

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.

## **5.2. 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.

### **5.2.1. 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.

### **5.2.2. 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 pudiese interferir con el drenaje del agua proveniente de la superficie.

### **5.2.3. 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.

### 5.3. Materiales a usar según normas NIC 2018

Según la norma **NIC 2018**, en su división II, sección 100, especificación de la **calidad de los materiales**, nos detalla la granulometría a usar las bases y sub-bases, ver ilustración No.18 así también otras especificaciones a seguir, según la demanda que tendrá la carretera o calle a construir.

La siguiente información está detallada para calles de bajo costo, los cuales, al tomar en consideración, el porcentaje de volumen vehicular que circula por el tramo en estudio **Ver ilustración No. 3, Porcentaje de tráfico de vehículos livianos y pesados en el tramo “Comunidad El Naranja-Comunidad Guasuyuca”, Pág. 18**, siendo 96.90% del flujo vehicular total vehículos de pasajeros, 2.91% vehículos de carga y 0.19% equipo pesado, tomándose en cuenta lo estipulado por la norma NIC 2018, para la calidad y especificación de los materiales a usarse en las bases de dicho tramo.

#### Ilustración 16. Granulometría a usar para Base y sub-base según NIC 2018

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

Abertura de la malla	Porcentaje por peso pasando la malla cuadrada				
	AASHTO T 27 y AASHTO T 11				
	Requerimientos de Granulometría				
	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 granulometrías a emplear para subbase y base serán respectivamente B y E. El empleo de otras granulometría deberá ser debidamente justificado y requerirá la aprobación del Ingeniero Supervisor.

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

#### 5.4. Variables a considerar en el diseño por AASHTO 93

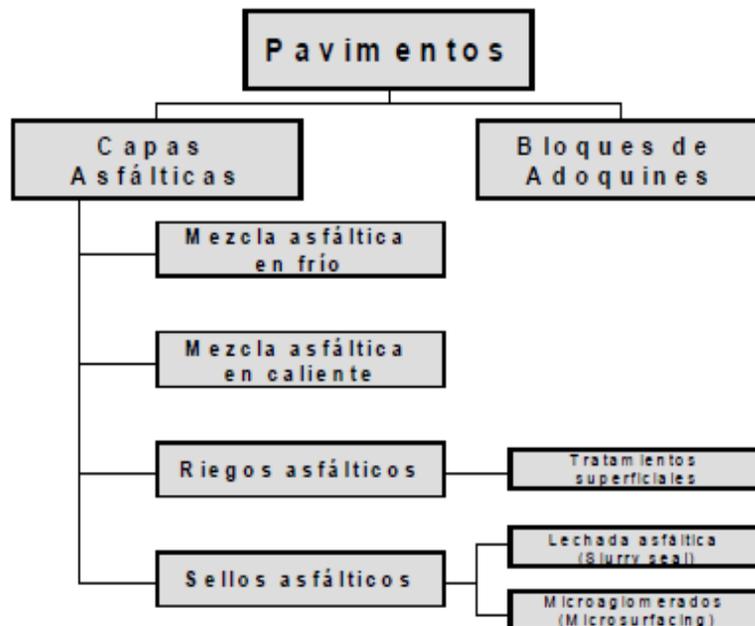
En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips. Se 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 ilustración 17).

#### Ilustración 17. Tipos de superficie de rodadura en pavimentos

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, 2002).

### 5.4.1. Índice de serviciabilidad

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,  $p_0$ , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción y la serviciabilidad final o terminal,  $p_t$ , 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:

#### 5.4.1.1. Serviciabilidad inicial:

$p_0 = 4.5$  para pavimentos rígidos.

$p_0 = 4.2$  para pavimentos flexibles.

#### 5.4.1.2. Serviciabilidad final:

$p_t = 2.5$  Lo más para caminos muy importantes.

$p_t = 2.0$  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 ( $P_0$ ).

**Variables a tomar para nuestro diseño son:**

$p_0$  (Serviciabilidad Inicial) = 4.2 Para pavimentos flexibles.

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

#### 5.4.2. Pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )

La pérdida de la serviciabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final. (Guide for design of pavement structures 1993 (AASHTO 93), 2004), Chapter II-10.

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

**Ecuación No. 14**

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

#### 5.4.3. Número Estructural Asumido (SN)

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18 (cantidad de repeticiones esperadas de un eje de carga equivalente de 18 mil libras), 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**.

#### 5.4.4. 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.

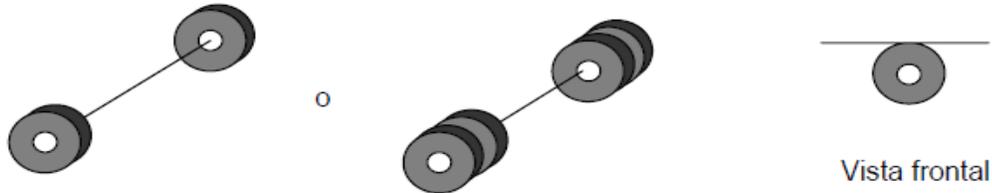
El ESAL pesa 18,000 lb ó 8.2 tn ó 80 kN, y se considera que ejerce un efecto dañino sobre el pavimento como 1.

Hay variedad de tipos de ejes, siendo estos.

## Ilustración 18. 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: (Manual De Revisión De Diseño de pavimentos, 2008), 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, ilustración No 35. Pág. XII**). Los factores de equivalencia se obtienen de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes sencillos, tándem y tridem **Ver Anexos, Ilustraciones No.36, 37, 38, Páginas. XII, XII, XIX**. 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. 15*

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 ilustración No 19)** no se encuentran en la tabla suministrada por la AASHTO.

#### 5.4.4.1. Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos

Según (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 aforos vehiculares, laboratorios de suelos, muestreos y cálculos relacionados, se han identificado que los que causa los vehículos livianos a la estructura del pavimento en carreteras nuevas, producto de su desplazamiento sobre la vía, es relativamente 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 puede considerar los siguientes pesos por ejes.

**Ilustración 19. 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, dirección general de vialidad, departamento de pesos y dimensiones.

Los valores de LEF y del ESAL's de diseño ya fueron calculados en el "CAPITULO II-ESTUDIO DE TRANSITO", se muestran en las tablas 17 y 18 respectivamente. El valor de ESAL's es de **98,849.75**.

#### 5.4.5. Confiabilidad

Este es un valor en el que se hace referencia al nivel de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de pavimento, llegara en buenas condiciones cuando cumpla el periodo de diseño que fue estipulado. La clasificación funcional del tramo en estudio se analizó en la pág. 89, Tabla No 41, donde se obtuvo que una colectora rural menor local

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 36. Niveles de Confiabilidad Sugeridos Para Caminos Según su clasificación funcional**

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

**Fuente:** (Guide for desing of pavement structures 1993 (AASHTO 93), 2004) Pág. II-9.

En dependencia de la clasificación funcional de la vía, la AASHTO 1993 recomienda diferentes niveles de confiabilidad, debido a la ubicación, condiciones de la vía y la mayoría del tránsito que circula por esta vía es liviano, tomaremos un valor de confiabilidad "R" de **80%**, que corresponde a un valor recomendado, para una clasificación de colectora menor rural.

#### 5.4.6. 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 presenta valores  $Z_R$  en función de la confiabilidad según la AASHTO 93:

**Tabla 37. 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 desing of pavement structures 1993 (AASTHO 93)), Chapter 4 Pág. I-62.

Para el nivel de confiabilidad asumido del 80% le corresponde un valor de desviación estándar de -0.841, esto en base a los valores obtenidos de la AASHTO.

#### 5.4.7. 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 38. 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
	<u>0.44 Pavimento Flexible</u>
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.

#### **5.4.8. Coeficiente de drenaje**

Durante el diseño de carreteras es de vital importancia tomar en cuenta el drenaje de agua ya que el exceso de agua, combinándose con el aumento de los 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 39. 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	<b>1.00</b>
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.

El coeficiente de drenaje fue seleccionado en calidad de bueno igual a 1 debido a que las pruebas de CBR se hacen en condiciones saturadas, siendo el tiempo de prueba para ensayos de 4 días de saturación, para representar las peores condiciones de saturación en la base y subrasante.

#### **5.4.9. Módulo de Resiliencia Efectivo de la Sub rasante (Mr)**

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

$$CBR < 10 \quad MR (PSI) = 1500 * CBR \quad \text{Ecuación No. 16}$$

$$CBR > 10 < 20 \quad MR (PSI) = 3000 * CBR^{0.65} \quad \text{Ecuación No. 17}$$

$$CBR > 20 \quad MR (PSI) = 4326 * LnCBR + 241 \quad \text{Ecuación No. 18}$$

En nuestro proyecto obtuvimos un **CBR de diseño de 6%**, clasificada como Grava limosa con arena, color gris. Siendo el CBR de la subrasante un valor menor que 10, procedemos a calcular el MR con la **Ecuación No.16**.

$$MR = 1500 * 6\%$$

$$MR = 9000 \text{ PSI}$$

#### **5.4.10. Coeficiente estructural.**

Además del coeficiente de drenaje, existen otros factores estructurales que intervienen en las características y propiedades de los diferentes materiales que forman parte del paquete estructural. El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente  $a_i$  los cuales son requeridos para el diseño estructural normal del pavimento flexible.

Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales, siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura de pavimento. Estos se representan con la simbología siguiente:

$a_1$ : Para carpeta de rodamiento.

$a_2$ : Para la base.

$a_3$ : Para la Subbase.

##### **5.4.10.1. Coeficiente estructural de capa de adoquín $a_1$**

El coeficiente estructural para el diseño de espesores con adoquín ya está definido en el Manual Centroamericano para diseño de pavimentos (SIECA, 2002), en el capítulo 7, página 107, cuyo valor es de  **$a_1=0.45$** . (Ver anexo, Ilustración 39, Pág. XV).

##### **5.4.10.2. Coeficiente estructural de capa base $a_2$**

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 ubicado en **La Tompson**, con un valor de CBR de 83.41%, al hacer uso del nomograma **Ver anexo, ilustración No. 40, Pág. XVI**. Se obtuvo el valor de  $a_2$ , al interceptar el valor del CBR del banco de materiales, obteniéndose un valor de  **$a_2= 0.139$** , del mismo nomograma, podemos obtener el valor del módulo resiliente de la base, siendo el valor de  **$MR= 28,300$  PSI**.

## 5.5. Cálculo de espesores

La ecuación utilizada para el diseño de pavimento flexible deriva de la información obtenida empíricamente por la AASHTO ROAD TEST. La fórmula general que se usara para determinar los espesores del pavimento es la siguiente:

$$SN = SN_1 + SN_2 + SN_3 = a_1D_1 + a_2D_2 + a_3D_3 = a_1m_1 + a_2m_2 + a_3m_3 \quad \text{Ecuación No. 19}$$

### Donde:

$SN$ : Número estructural.

$a_1, a_2, a_3$ : Coeficientes estructurales o de capas.

$D_1, D_2, D_3$ : Espesores de las capas en pulgadas para la carpeta asfáltica, base y subbase.

$m_1, m_2, m_3$ : Coeficientes de drenaje de las capas.

El número estructural está basado en que las capas granulares tratadas deben estar perfectamente protegidas de presiones verticales excesivas, que lleguen a producir deformaciones permanentes. El procedimiento para determinar el cálculo de los espesores consiste primero en calcular el SN sobre la Sub-Rasante, después se calculan los SN necesarios sobre las capas de Sub-Base y Base.

### 5.5.1. Resumen de datos obtenidos

Ejes equivalentes ESALs: **98,849.75** ejes equivalentes por carril de diseño.

**Confiabilidad (%) R:** 80

**Desviación Estándar So:** 0.44

**Serviciabilidad Inicial Po:** 4.2

**Serviciabilidad final Pt:** 2.0

**Serviciabilidad ( $\Delta$  psi):** 2.2

## **Propiedades de los materiales**

**Módulo Resiliente Sub –Rasante:** 9,000 PSI

**Módulo Resiliente Base:** 28,300 PSI

**Coefficiente Estructural Carpeta Adoquín a1:** 0.45

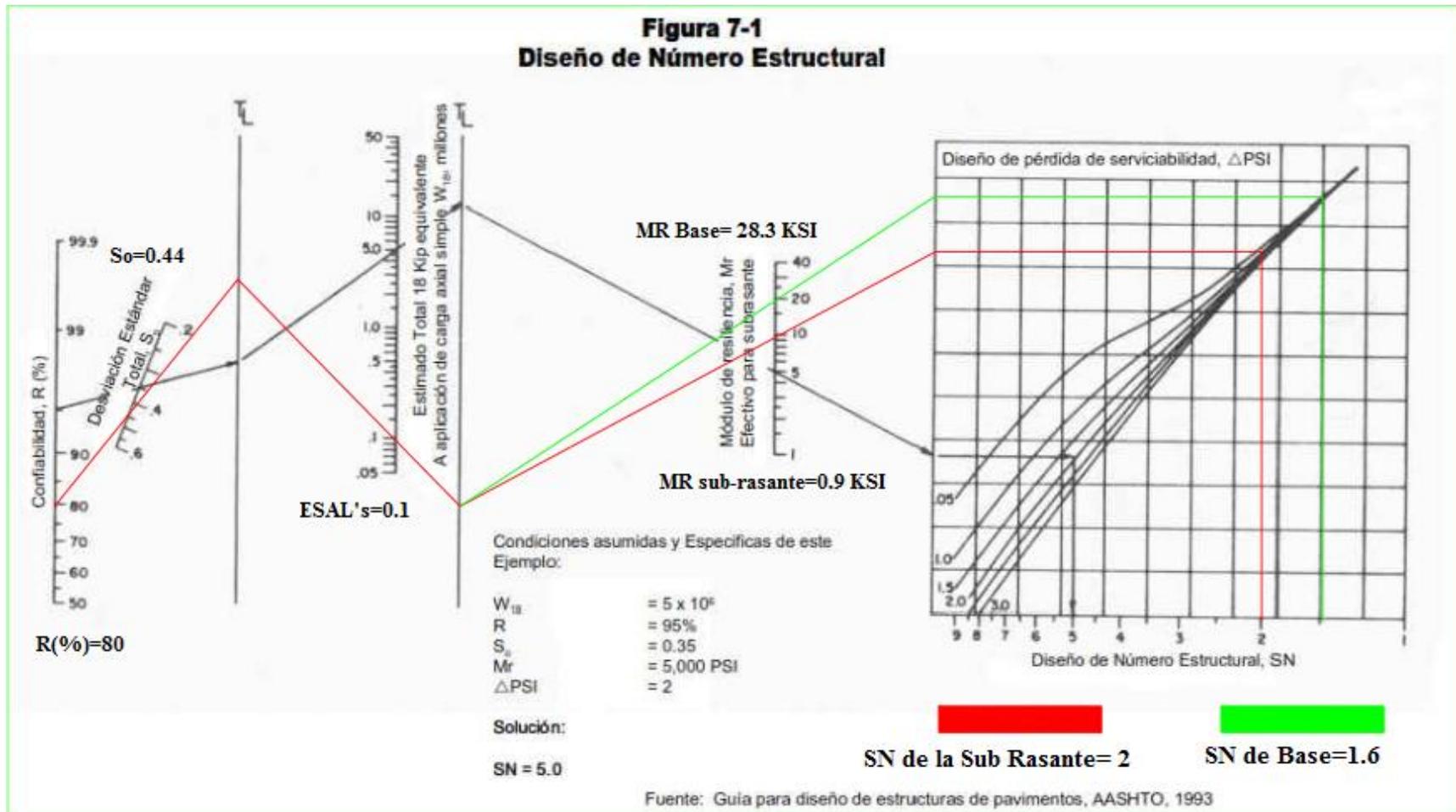
**Coefficiente Estructural Base a2:** 0.139

**Drenaje (mi):** 1.00

### **5.5.2. Cálculo del Número estructural SN y espesores de capa D**

Para lograr obtener el SN, utilizamos el ábaco establecido en el libro de diseño de pavimento de la AASHTO 93, obteniendo un SN para la subbase y base. **(Ver ilustración 20, pág. 77).**

Ilustración 20. Ábaco para el cálculo del número estructural.



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

### 5.5.2.1. Procedimiento para calcular los números estructurales SN

1. Haciendo uso del ábaco en la **ilustración 20**, nos ubicamos en la parte izquierda del ábaco, donde dice “Confiabilidad R (%)”, la cual en nuestro caso tiene un valor de  $R=80$ .

2. Luego unimos con la siguiente línea inclinada, denominada “Desviación estándar  $S_o$ ”, con un valor de  $S_o=0.44$  y uniendo este punto con el  $R=80$  del punto anterior trazamos una línea que llegue a la siguiente línea  $T_L$  en un punto que servirá como pivote.

3. En la siguiente línea vertical dice, No. Total, de ESAL’s aplicados  $W_{18}$  (millones), en este caso encontramos un valor de  $ESAL's=98,849.75 = 0.098$ , un valor cercano al 0.1 en el ábaco; entonces unimos el punto de pivote de la línea anterior con este nuevo punto, en donde encontramos otro punto de pivote en la siguiente línea vertical  $T_L$ .

4. En la siguiente línea que dice Módulo Resiliente efectivo de la subrasante (KSI), se encuentra el valor de MR (Mpa-psi), que para nosotros  $MR=9,000 \text{ PSI} = 9 \text{ KSI}$  para la subrasante. Se une el punto de pivote encontrado en la línea anterior con el valor de 9 de esta línea hasta encontrar la primera línea vertical izquierda del cuadro situado a la extrema derecha.

5. De este punto encontrado nuevamente, se continúa horizontalmente hasta encontrar la línea inclinada que corresponde a un valor de  $\Delta \text{PSI}=2.2$ , que es la pérdida de serviciabilidad de diseño, de este punto se baja de manera vertical a la línea inferior del cuadro en donde se encuentra el Número estructural de diseño SN, que para nuestro caso es de **2** (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 =  $28300 \text{ PSI} = 28.3 \text{ KSI}$  el valor de  $SN_1$  es **1.6**, 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.39 y No.40, Pág. XV y XVI.**

8. Con el valor del módulo elástico del concreto asfáltico ( $Mpa=450,000$ ), cuyo mismo valor se usa para el diseño en pavimento articulado (adoquín), luego encontramos el coeficiente estructural de capa  $a_1$  haciendo uso del nomograma (Ver anexos); comenzamos saliendo del valor de 450,000 en la figura hacia arriba hasta 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 principalmente por arena arcillosa con grava de baja compresibilidad, se determina, a partir del valor de CBR obtenido del material extraído del banco de materiales “La Tompson”, con un valor de 83.4%, al hacer uso del nomograma **Ver anexo, ilustración No. 40 Pág. XVI**. Se obtuvo el valor de  $a_2$ , al interceptar el valor del CBR del banco de materiales, obteniéndose un valor de  $a_2 = 0.139$ , del mismo nomograma, podemos obtener el valor del módulo resiliente de la base, siendo el valor de **MR= 28,300 PSI**.

10. El coeficiente de drenaje ( $m_i$ ), fue estipulado en la tabla No 39, Pág. 73, teniendo un valor de  $m_i = 1$ .

#### **6.5.2.2. Cálculo de espesores**

Teniendo en cuenta que ya conocemos el valor de **SN=2** para la subrasante y **SN=1.6** para la base.

El espesor del adoquín es estándar de 4 pulgadas, por lo tanto, SN1 ya está dado, siendo el valor  $D_1=4$  pulgadas de espesor y  $a_1=0.45$  descrito anteriormente; entonces:

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

$$SN1 = a_1 * D1 \qquad \text{Ecuación No. 20}$$

$$SN1 = 0.45 * 4$$

$$SN1 = 1.8$$

Siendo  $SN1=1.8$  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** y entonces se obtiene el SN<sub>2</sub>, a ser absorbido por el adoquín y la base. Así:

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN_1)}{(a_2 * m_i)} \quad \text{Ecuación No. 21}$$

$$D_2 = \frac{(2 - 1.8)}{(0.139 * 1)}$$

$$D_2 = 1.44 \text{ Pulgadas} \approx 2" \text{ Pulgadas}$$

## Verificación:

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

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 \quad \text{Ecuación No. 22}$$

$$SN = (0.45 * 4) + (0.139 * 1.44 * 1)$$

$$SN = 1.8 + 0.2$$

$$SN = 2$$

$$SN1 + SN2 \geq SN \text{ Requerido}$$

$$2 \geq 2 \text{ "OK cumple la condición"}$$

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

## Ilustración 21

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:** Guía de Diseño para Estructuras de Pavimentos, AASHTO 93, pág. 147.

El valor de ESAL calculado fue de **98,849.75** ejes equivalentes por carril de diseño. Entrando en el rango de 50,001 – 150,000 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).

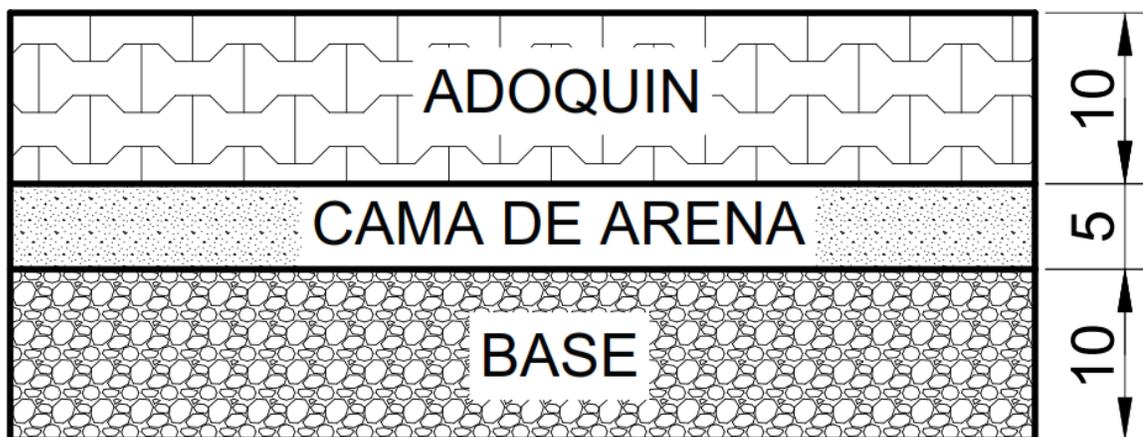
Siendo la estructura de pavimento articulado, compuesta por:

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

**Cama de arena = 2 pulgadas (5 centímetros).**

**Base = 4 pulgadas (10 centímetros).**

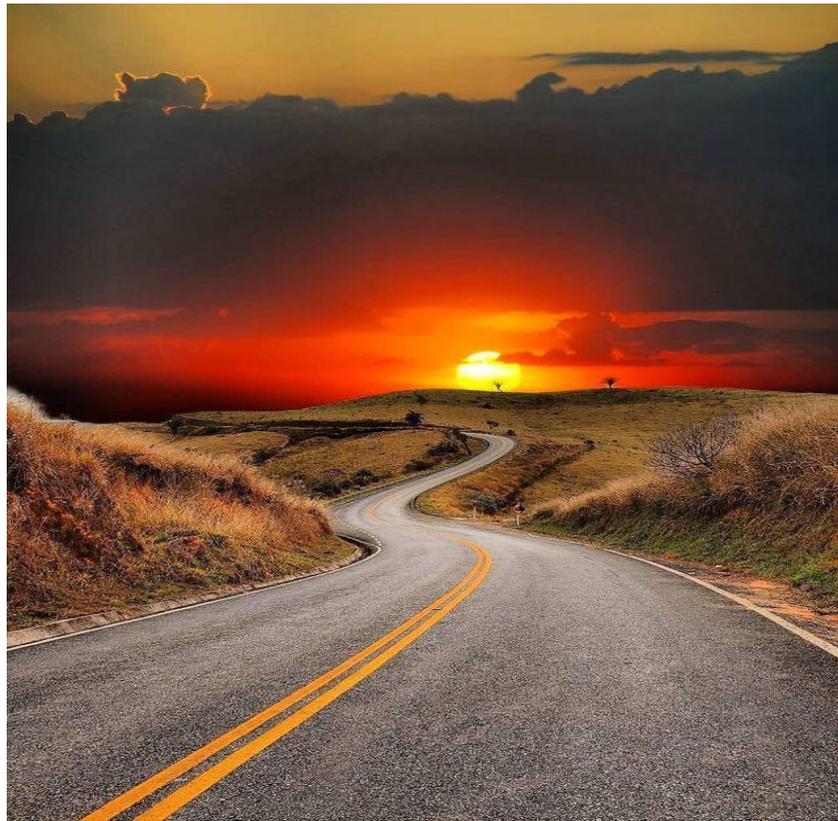
#### **Ilustración 22. Estructura final del pavimento**



**Fuente:** Elaboración propia.

# CAPITULO VI

# DISEÑO GEOMETRICO



## 6.1 Introducción

Una de las primeras decisiones que debe tomar el ingeniero especialista en pavimentos es la de cómo manejar una gran serie de variables y transformarlas en "parámetros y valores de diseño", que le permitan usarlas en el método seleccionado, como parte del proceso total. El diseño de un pavimento es esencialmente distinto del de otra estructura de ingeniería, el pavimento, en su totalidad se apoya sobre el material de fundación y es, por lo tanto, altamente influenciado por las condiciones ambientales. Una carretera, por otra parte, atravesará a lo largo de su recorrido una multiplicidad de depósitos de suelos, cada uno con propiedades diferentes. Cada uno de esos suelos, que son la fundación del pavimento y también los materiales y mezclas que formarán la estructura propiamente dicha del pavimento, se ven afectados por muchos factores, entre los que pueden citarse: densidad, humedad, textura y estructura de sus componentes, y grado de confinamiento. A todos estos hechos debe añadir las características y variables propias del tránsito vehicular que actuará sobre el pavimento.

## 6.2 Topografía del sitio en estudio

Al momento de realizar un estudio o ejecutar cualquier proyecto de ingeniería que tenga como asentamiento la superficie de la tierra, la topografía se vuelve una herramienta indispensable en la determinación del área destinada para la obra. Las cualidades del terreno le sirven al diseñador como guía para la mejor ubicación de cada elemento que conforma el proyecto.

La topografía se divide en varias etapas, las cuales son:

**Planimetría:** La planimetría es la parte de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana (plano geometría), prescindiendo de su relieve y se representa en una proyección horizontal.

**Altimetría:** Se le da el nombre de altimetría al conjunto de operaciones por medio de las cuales se determina la elevación de uno o más puntos respecto a una superficie horizontal de referencia dada o imaginaria la cual es conocida como superficie o plano de comparación.

### **6.3 Levantamiento topográfico**

En el tramo en estudio cuenta con una longitud de 5 km, dicho levantamiento fue realizado en 4.5 días, obteniendo los puntos necesarios para conocer con exactitud el tipo de terreno que se encuentra en dicha área.

Se ejecutó con la ayuda de una estación Leica T5 plus precisión de 5 segundos, prismas, bastones GPS Garmin, 3 radios de comunicación y una laptop.

#### **6.3.1 Método utilizado.**

El procedimiento utilizado para el levantamiento fue el método de perfil longitudinal y secciones transversales ya que el más conveniente por la geometría del lugar. Todos los elementos de las curvas de nivel, perfil longitudinal y de la sección transversal propuesta fueron obtenidos mediante el software AutoCAD Civil3D, todos estos cálculos son parte importante del diseño geométrico de nuestro pavimento de adoquinado.

### **6.4 Velocidad de diseño**

La velocidad de diseño o velocidad directriz es una velocidad seleccionada para determinar las diversas características de diseño geométrico de la calzada. La velocidad de diseño seleccionada debe ser coherente con las velocidades que los conductores probablemente esperen en el camino dado, no deben seleccionarse una velocidad baja donde la topografía sea tal que los conductores sean aptos para circular a altas velocidades. Los conductores no ajustan su velocidad a la importancia del camino, si no a su percepción de las limitaciones físicas del camino y su tránsito.

Al momento de seleccionar la velocidad de diseño más conveniente para una carretera o camino en particular, se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

#### **6.4.1 Tipo de área donde ejecutara el proyecto**

Podemos definir dos de áreas, las cuales son:

- **Áreas urbanas:** Estas áreas se subdividen en **áreas urbanizadas** (población de más de 50,000 habitantes) y **pequeñas áreas urbanas** (población entre 5,000 y 50,000). Su economía orientada a la industria o a los servicios.
- **Áreas rurales:** son áreas ubicadas fuera de los límites de las áreas urbanas (población de al menos 5,000 habitantes)

#### **6.4.2 Condiciones del terreno.**

Los tipos de condiciones de un terreno son las siguientes:

- Plano
- Ondulado
- Montañoso

Las clasificaciones del terreno pertenecen al carácter general de un corredor específico, debido a lo cual, las rutas en valles o zonas montañosas que tienen todas las características de las calles o carreteras que atraviesan un terreno plano u ondulado, deben clasificarse como plano u ondulado. En general los terrenos ondulados generan pendientes más fuertes causando la reducción de las velocidades de los camiones debajo de las de vehículos de pasajeros; en el terreno montañoso la situación es más grave, resultando en algunos camiones con velocidades muy bajas.

#### **Pendiente Natural**

A través del estudio topográfico realizado, se determinó que la pendiente natural máxima es de 19.6%, por lo que es tipo un terreno de tipo montañoso.

**Tabla 40: Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.**

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

**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 116).

### 6.4.3 Volúmenes de tránsito

**Tabla 41: Clasificación de las carreteras**

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

**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 33).

En autopistas y carreteras arteriales principales, en áreas rurales, debe seleccionarse una velocidad de diseño de 110 KPH. En carreteras colectoras de carriles múltiples, en áreas suburbanas y rurales, las apropiadas velocidades de diseño son de 80 a 100 KPH. En carreteras colectoras, el rango de velocidad debe ser de 30 a 80 KPH y de velocidades de 20 a 60 KPH pueden utilizarse en carreteras rurales.

Para el diseño del tramo en estudio se seleccionará una **velocidad de diseño de 40 KPH**, por los criterios mencionados en el párrafo anterior.

## 6.5 Distancia de visibilidad de parada.

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo cuando surge una situación de peligro, o percibe un objeto imprevisto delante de su recorrido. Es la distancia mínima con que debe diseñarse la geometría de una carretera, cualquiera sea su tipo. (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 75)

La distancia de visibilidad de parada es la suma de dos distancias; la distancia recorrida por el vehículo desde el momento que el conductor percibe el peligro hasta que aplica el pedal del freno y la distancia para detener el vehículo desde el instante que aplica los frenos. Estas dos distancias se conocen como distancia de percepción-reacción y la distancia de frenado respectivamente, y se calculan con la siguiente expresión:

$$d = 0.278Vt + 0.039 \frac{V^2}{a} \qquad \text{Ecuacion No. 23}$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, km/h

t: Tiempo de percepción-reacción, 2.5 segundos

a: Tasa de desaceleración, la tasa recomendada es de 3.4 m/seg<sup>2</sup>, para el cálculo de la distancia de visibilidad de parada.

La distancia de visibilidad de es menor en pendientes ascendentes que en carreteras a nivel y es mayor en pendientes descendentes. En los casos de carreteras divididas y carriles con circulación en un sentido, el ajuste por pendiente se aplica a las calzadas individuales. Otros criterios para seleccionar valores de diseño en carreteras de dos carriles, no toman en cuenta este ajuste y el alineamiento se diseña igual que en condiciones de terreno plano, ya que se considera que se produce un ajuste automático por las diferencias de longitud en las pendientes ascendentes y descendentes. Los ajustes deben hacerse de acuerdo a casos particulares y atendiendo el propio juicio del diseñador.

**Tabla 42: Distancias de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical.**

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

**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 77)

La distancia que se seleccionó para el diseño a ejecutar fue de **50m**, debido a las características del terreno.

No se utilizó distancia de visibilidad de adelantamiento, ya que en las condiciones topográficas de terreno no se recomiendan.

## 6.6 Curvas de nivel

Las curvas de nivel se consideran como un sistema de representaciones el cual consiste en cortar la superficie del terreno a través de un conjunto de planos que son paralelos entre sí, separados a una cierta distancia unos de otros.

Cada plano corta al terreno formando una figura (plana) que recibe el nombre de curva de nivel. La proyección de todas estas curvas de nivel sobre un plano común da lugar a la representación buscada.

Para el tramo en estudio se elaboró curvas de nivel a partir de los puntos encontrados en el levantamiento topográfico, usando una equidistancia de 1m por cada curva. **(Ver Anexos, planos)**

## 6.7 Alineamiento horizontal

El 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. Los tramos rectos que pertenecen luego de emplear las curvas de enlace se denominan también tramos en tangente y pueden llegar a ser nulos, es decir, que una curva de enlace quede completamente unida a la siguiente.

- **Curvas circulares simples:** Es la que une dos tangentes con un arco de círculo de radio constante.
- **Curvas circulares compuestas:** Son las formadas por varios arcos de círculo de radio decreciente primero y creciente después.
- **Curvas inversas:** Son aquellas compuestas de dos curvas circulares, de sentido contrario, contiguas y con tangente común en el punto de unión. En la práctica no pueden estar continuas, desde luego que la distancia mínima del punto de la segunda será cuando menos igual a la suma de las transiciones de ambas.
- **Curvas en transición:** Es una curva que se sitúa para lograr el acuerdo entre la tangente y la curva circular, de manera que el cambio desde radio infinito en la tangente hasta el radio en la curva circular se haga paulatinamente. A

medida que el radio de la curva circular es menor, la necesidad de la curva de transición es menor.

### 6.7.1. Peralte máximo (emax).

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas, condiciones del terreno, tipo de zona y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte. Por la consideración conjunta de estos factores se concluye que no hay ninguna tasa única de peralte máxima universalmente aplicable y que debe usarse un rango de valores. Por otro lado, el uso de una sola tasa de peralte máximo, dentro de una región de condiciones climáticas y uso de la tierra similares, es una práctica que promueve un diseño consistente.

Se consideran aquí las tasas: tasa máxima de 0.1 en áreas rurales montañosas siempre que no exista nieve o hielo, también 0.12 puede utilizarse en algunos casos, generalmente, 0.08 es reconocido como valor máximo razonable, en áreas suburbanas y 0.04 en áreas urbanas. El peralte puede omitirse en calles urbanas de baja velocidad.

**Tabla 43: Tasas máximas de sobreelevación o peralte según tipo de área.**

Tasa de sobreelevación en "e" en (%)	Tipo de Área
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

**Fuente:** Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de carreteras, SIECA 2da ed. 2004, Pág. 4-36.

Debido a lo mencionado anteriormente, para el tramo en estudio se definió un peralte máximo de 10% para los 5 km de longitud que tiene dicho tramo, ya que en su mayoría es un terreno montañoso.

### 6.7.2. Factor de fricción lateral (f).

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

$$f = \frac{v^2}{(127 \times R)} - e \quad \text{Ecuación No. 24}$$

Donde:

V: velocidad de diseño, km/h.

R: Radio de curva, m.

e: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

Los máximos factores de fricción lateral permisible para usar en el diseño de las curvas de todas las carreteras rurales y calles urbanas varían desde 0.28 a 30 KPH hasta 0.15 a 80 KPH, y varían directamente desde aquí hasta 0.09 a 120 KPH.

**Tabla 44: Factor de fricción máxima**

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 10%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	7.3	7	163°42'	7.0	7	163°42'
30	0.28	19.7	20	57°18'	18.6	19	60°19'
40	0.23	40.6	41	27°57'	38.2	38	30°09'
50	0.19	72.9	73	15°42'	67.9	68	16°51'
60	0.17	113.4	113	10°08'	105.0	105	10°55'
70	0.15	167.8	168	06°49'	154.3	154	07°26'
80	0.14	229.1	229	05°00'	210.0	210	05°27'
90	0.13	303.7	304	03°46'	277.3	277	04°08'
100	0.12	393.7	394	02°55'	357.9	358	03°12'
110	0.11	501.5	501	02°17'	453.7	454	02°31'
120	0.09	667.0	667	01°43'	596.8	597	01°55'

**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 89)

Como se muestra en la tabla el valor de fricción lateral que se seleccionó fue de 0.23.

### 6.7.3. Radio mínimo.

El radio mínimo es un valor limitante de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relaciona con el peralte máximo y la máxima fricción lateral seleccionada para el diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte o sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo.

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

$$R_{min} = \frac{v^2}{127(e_{máx} + f_{máx})}$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, km/h

$e_{máx}$ : Tasa de sobreelevación en fracción decimal (%)

$f_{máx}$ : Factor de fricción lateral (adimensional)

Sustituyendo los valores de velocidad de diseño, coeficiente de fricción lateral y peralte máximo a utilizar en el proyecto, se determina el radio mínimo del proyecto.

$$R_{min(40 \text{ km/h})} = \frac{40^2}{127(0.1 + 0.23)} = 38.18 \text{ m}$$

### 6.7.4 Longitud de transición.

La longitud de transición para curvas circulares se conoce como la distancia comprendida entre el punto correspondiente al peralte máximo de la curva y el punto de intersección de los perfiles longitudinales del borde exterior y de eje del camino.

#### 6.7.4.1 Longitud de transición para curvas circulares.

Cuando no se utiliza curva de transición la recta o tangente de la carretera se une directamente con la curva circular y la transición del peralte se realiza

directamente sobre la tangente y la curva circular. Este tipo de transición se conoce como “transición de tangente a curva”

La longitud de transición para caminos de dos carriles será:

$$LT = m * a * e \quad \text{Ecuación No. 25}$$

$$m = 1.5625 * V + 75 \quad \text{Ecuación No. 26}$$

Donde:

LT: Longitud de transición, en m

m: Talud de la orilla de la calzada con respecto al eje del camino, en valor absoluto.

a: semi ancho de la calzada en tangente para caminos de dos carriles, en m

e: sobre elevación de la curva en valor absoluto, en m/m.

V: velocidad de diseño en km/h.

### **6.7.5 Transición de peralte.**

La transición del peralte se efectúa en dos distancias: la distancia de bombeo (N) la cual es la longitud de carretera en la cual el peralte negativo de la sección transversal en tangente se gira hasta un peralte 0% y la Distancia de Transición (Lt) en la cual el peralte 0% continúa girando hasta el peralte e% que le corresponde a la curva según la velocidad de diseño. Por razones de seguridad y comodidad, la rotación de la sección transversal del pavimento debe efectuarse en una longitud que no sea perceptible para el conductor y para mejorar la apariencia, las orillas del pavimento no deben presentar distorsiones al conductor.

La distancia de bombeo (N) se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$N = m * a * b \quad \text{Ecuación No. 27}$$

Donde:

N: Distancia de bombeo, en m.

m: talud de la orilla de la calzada con respecto al eje del camino, en valor absoluto.

a: semi ancho de la calzada en tangente para caminos de dos carriles, en m.

b: bombeo, en %

#### **6.7.6. Sobreancho en curvas.**

Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños combinados con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación. En carreteras con carriles de 3.6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía.

Para establecer el sobreancho en curvas deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- a)** En alineamientos horizontales con curvas circulares sin curva de transición el sobre ancho total debe aplicarse en la parte interior de la calzada. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos.
- b)** Cuando existen curvas de transición entre la tangente y la curva circular, el sobreancho se distribuye a lo largo de la curva de transición, dividiéndose la mitad del sobreancho entre los bordes interno externo de la curva.
- c)** Los bordes del pavimento siempre deben tener un desarrollo suave y curvado atractivamente, para incluir su uso por el conductor.
- d)** Los sobreanchos deben ser detallados minuciosamente en los planos constructivos y por medio de controles durante el proceso de construcción de la

carretera o, alternativamente, dejar los detalles finales al ingeniero residente de campo.

El sobreesfuerzo ( $W$ ) necesario en las curvas es la diferencia entre el ancho requerido en una curva  $W_c$  y el utilizado en una recta,  $W_n$ .

$$W = W_c - W_n \qquad \text{Ecuación No. 28}$$

Donde:

$W$ : sobreesfuerzo

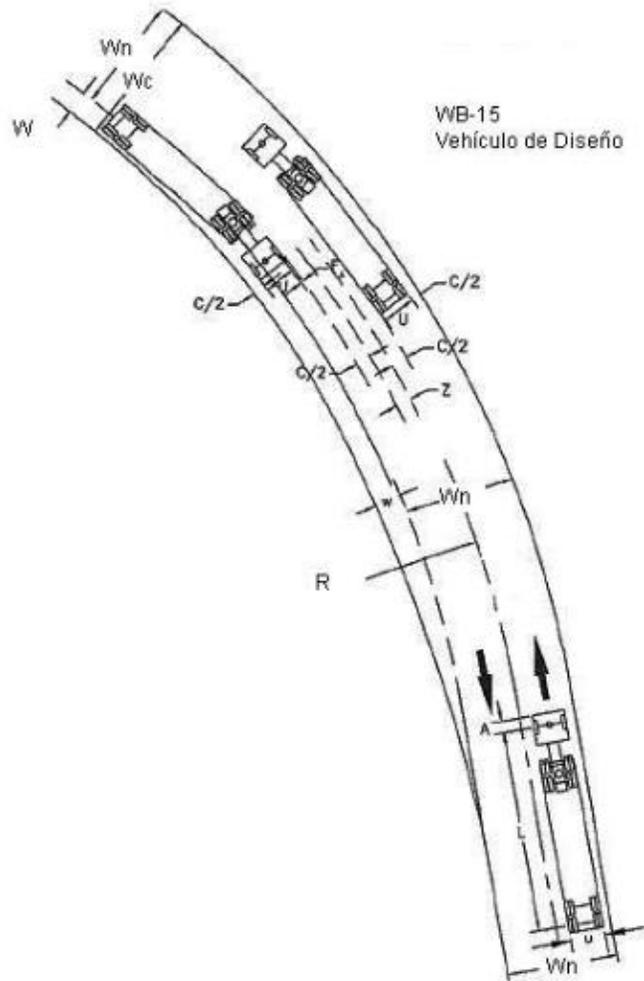
$W_c$ : Ancho requerido en una curva

$W_n$ : Ancho de rodadura

El ancho requerido para la circulación en curva tiene varios componentes relacionados con la operación de los vehículos sobre las curvas, a saber:

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

**Ilustración 23: componente del Sobrancho en curvas de carreteras.**



**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 109).

**La fórmula general para calcular el ancho necesario en curva,  $W_c$  es:**

$$W_c = N(U + C) + (N - 1)F_A + Z \quad \text{Ecuacion No. 29}$$

Donde:

N: número de carriles

U: ancho de la huella del vehículo de diseño (exterior a exterior de llantas), m

C: Claro lateral, m

$F_A$ : Ancho de saliente frontal en el carril interior, m

$Z$ : Ancho extra recomendable, m.

**Cálculo del ancho de huella del vehículo en curva (U).**

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum Li^2}$$

*Ecuación No. 30*

Donde:

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

$u$ : Ancho de la huella del vehículo de diseño (exterior a exterior de llantas), (2.6m)

$R$ : Radio de la curva o giro, m.

$L_i$ : Distancia entre ruedas del vehículo de diseño, entre ejes consecutivos (o conjunto de ejes en tándem), (6.10m)

El claro lateral recomendable,  $C$ , es asumido de 0.6, 0.75 y 0.9m para anchos de rodadura en tangente de 6.00, 6.50 y 7.20 m.

**Ancho de saliente frontal en el carril interior, m**

$$F_A = \sqrt{(R^2 + A(2L + A)) - R}$$

*Ecuación No. 31*

Donde:

$A$ : Saliente frontal del eje del vehículo, en el carril interior, (1.2m)

$L$ : Distancia entre ruedas de la unidad o del remolque, (6.10m)

**Cálculo de ancho extra recomendable (Z).**

$$Z = 0.1 \left( \frac{V}{\sqrt{R}} \right)$$

Donde:

$V$ : Velocidad de diseño de la carretera, km/h

$R$ : Radio de curvatura

En la selección del sobreebancho en curvas se debe tomar en cuenta los siguiente:

- En los sobreebanchos menores de 0.60m, no son necesario en las curvas.
- Los sobreebanchos calculados que se muestran en la **tabla 52 (Ver Anexos)** son para carreteras de dos carriles.
- En carreteras de tres carriles los sobreebanchos mostrados en la **tabla 52 (Ver Anexos)** deben ser afectados por un factor de 1.5 y en carreteras de cuatro carriles multiplicar las cifras del cuadro por 2.
- Los datos en la **tabla 52 (Ver Anexo)** fueron calculados para el vehículo WB-15, para otros vehículos de diseño, los ajustes mostrados en la **tabla 53 (Ver Anexo)**, deben utilizarse.

### **Ejemplo de cálculo de sobreebancho para la curva 1.**

#### Datos

Número de carriles: 2

Ancho de rodamiento ( $W_n$ ): 6.14 m

Radio: 189 m

Velocidad de diseño: 40 km/h

Ancho de la huella del vehículo de diseño ( $u$ ): 2.6 m

Distancia entre ruedas del vehículo de diseño, entre ejes consecutivos ( $L$ ): 6.10 m

Claro lateral ( $C$ ): 0.6 m

Saliente frontal del eje del vehículo ( $A$ ): 1.2 m

✓ **Cálculo del ancho de huella del vehículo en curva (U).**

$$U = 2.6 + 189 - \sqrt{189^2 - (6.10^2)} = 2.70m$$

✓ **Cálculo de ancho de saliente frontal en el carril interior (F<sub>A</sub>).**

$$F_A = \sqrt{189^2 + 1.2(2(6.10) + 1.2)} - 189 = 0.04m$$

✓ **Cálculo de ancho extra recomendable (Z).**

$$Z = 0.1 \left( \frac{40}{\sqrt{189}} \right) = 0.29m$$

✓ **Cálculo del ancho necesario en curva, (W<sub>c</sub>).**

$$W_c = 2(2.70 + 0.6) + (2 - 1) * 0.04 + 0.29 = 6.93m$$

✓ **Cálculo del sobreebanco (W).**

$$W = 6.93 - 6.14 = 0.79m$$

Los resultados del cálculo del sobreebanco para cada una de las curvas horizontales que se diseñaron y se proyectaron para el tramo en estudio, se muestran en la tabla, donde el vehículo de diseño fue un C2 y la velocidad de diseño fue de 40 km/h constante en todo el tramo. **Ver tabla 45, Pág. 99.**

**Tabla 45: Sobreanchos de curvas horizontales.**

<b>Vehículo de Diseño: C2 ó SU</b>										
<b>Ancho de huella del vehículo de diseño (u): 2.6m</b>										
<b>Saliente frontal eje del vehículo(A): 1.2 m</b>										
<b>N° Curva</b>	<b>R</b>	<b>V(kph)</b>	<b>U</b>	<b>FA</b>	<b>Z</b>	<b>Wc</b>	<b>Wn</b>	<b>W</b>	<b>Observación</b>	<b>Propuesta</b>
C-01	189	40	2.70	0.04	0.29	6.93	6.14	0.79	Requerido	0.8
C-02	113	40	2.76	0.07	0.38	7.18	6.14	1.04	Requerido	1.0
C-03	300	40	2.66	0.03	0.23	6.78	6.14	0.64	Requerido	0.6
C-04	452	40	2.64	0.02	0.19	6.69	6.14	0.55	Requerido	0.5
C-05	190	40	2.70	0.04	0.29	6.93	6.14	0.79	Requerido	0.8
C-06	113	40	2.76	0.07	0.38	7.18	6.14	1.04	Requerido	1.0
C-07	113	40	2.76	0.07	0.38	7.18	6.14	1.04	Requerido	1.0
C-08	113	40	2.76	0.07	0.38	7.18	6.14	1.04	Requerido	1.0
C-09	391	40	2.65	0.02	0.20	6.72	6.14	0.58	Requerido	0.6
C-10	92	40	2.80	0.09	0.42	7.31	6.14	1.17	Requerido	1.2
C-11	113	40	2.76	0.07	0.38	7.18	6.14	1.04	Requerido	1.0
C-12	78	40	2.84	0.10	0.45	7.43	6.14	1.29	Requerido	1.3
C-13	75	40	2.85	0.11	0.46	7.47	6.14	1.33	Requerido	1.3
C-14	41	40	3.06	0.20	0.62	8.13	6.14	1.99	Requerido	2.0
C-15	41	40	3.06	0.20	0.62	8.13	6.14	1.99	Requerido	2.0
C-16	41	40	3.06	0.20	0.62	8.13	6.14	1.99	Requerido	2.0
C-17	107	40	2.77	0.08	0.39	7.21	6.14	1.07	Requerido	1.1
C-18	144	40	2.73	0.06	0.33	7.05	6.14	0.91	Requerido	0.9
C-19	130	40	2.74	0.06	0.35	7.10	6.14	0.96	Requerido	1.0
C-20	691	40	2.63	0.01	0.15	6.62	6.14	0.48	Requerido	0.5
C-21	41	40	3.06	0.20	0.62	8.13	6.14	1.99	Requerido	2.0
C-22	94	40	2.80	0.09	0.41	7.29	6.14	1.15	Requerido	1.0
C-23	44	40	3.02	0.18	0.60	8.03	6.14	1.89	Requerido	2
C-24	125	40	2.75	0.06	0.36	7.12	6.14	0.98	Requerido	0.8
C-25	75	40	2.85	0.11	0.46	7.46	6.14	1.32	Requerido	1.0
C-26	98	40	2.79	0.08	0.40	7.27	6.14	1.13	Requerido	1.1
C-27	96	40	2.79	0.08	0.41	7.28	6.14	1.14	Requerido	1.1
C-28	65	40	2.89	0.12	0.50	7.60	6.14	1.46	Requerido	1.5
C-29	105	40	2.78	0.08	0.39	7.22	6.14	1.08	Requerido	1.5
C-30	145	40	2.73	0.06	0.33	7.05	6.14	0.91	Requerido	1
C-31	41	40	3.06	0.20	0.62	8.13	6.14	1.99	Requerido	2
C-32	113	40	2.77	0.07	0.38	7.18	6.14	1.04	Requerido	1.0
C-33	41	40	3.06	0.20	0.62	8.13	6.14	1.99	Requerido	2
C-34	41	40	3.06	0.20	0.62	8.13	6.14	1.99	Requerido	2
C-35	73	40	2.86	0.11	0.47	7.49	6.14	1.35	Requerido	1.4
C-36	57	40	2.93	0.14	0.53	7.72	6.14	1.58	Requerido	1.5
C-37	41	40	3.06	0.20	0.62	8.13	6.14	1.99	Requerido	2
C-38	41	40	3.06	0.20	0.62	8.13	6.14	1.99	Requerido	2
C-39	1229	40	2.62	0.01	0.11	6.55	6.14	0.41	Requerido	0.4
C-40	86	40	2.82	0.09	0.43	7.36	6.14	1.22	Requerido	1.2
C-41	82	40	2.83	0.10	0.44	7.39	6.14	1.25	Requerido	1.3
C-42	92	40	2.80	0.09	0.42	7.31	6.14	1.17	Requerido	1.2
C-43	70	40	2.87	0.11	0.48	7.53	6.14	1.39	Requerido	1.4
C-44	42	40	3.05	0.19	0.62	8.10	6.14	1.96	Requerido	2.0

Fuente: Elaboración propia.

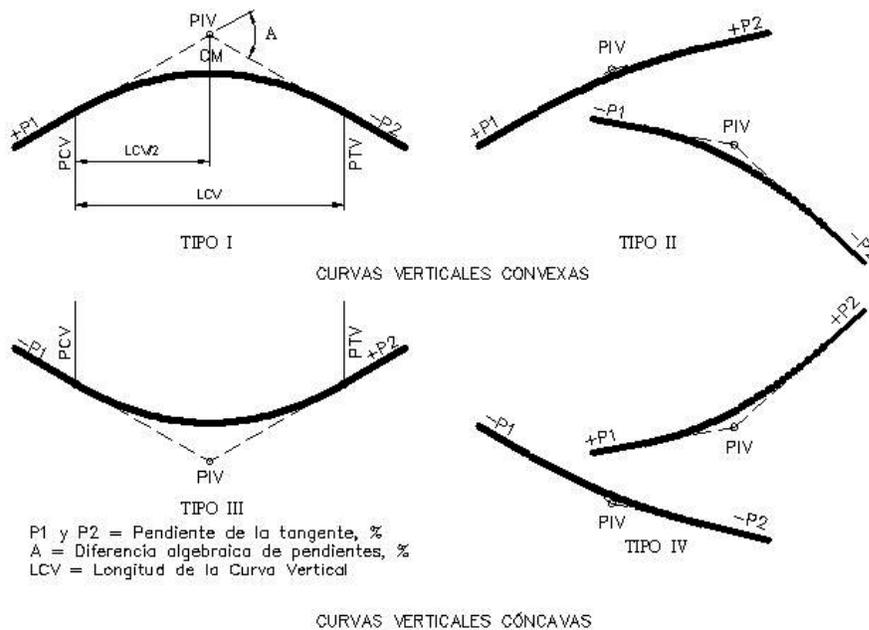
## 6.8. Alineamiento vertical.

Al proyectar sobre un plano vertical las distintas elevaciones del eje de la carretera, se obtiene el alineamiento vertical o perfil del eje de la carretera. En este alineamiento se representan tanto el perfil del terreno natural como el perfil terminado de la carretera, al cual se le llama rasante. El alineamiento vertical está compuesto por tangentes y curvas, caracterizándose las tangentes por su longitud y su pendiente y se limitan por dos curvas verticales sucesivas.

### 6.8.1 Curvas verticales

En términos generales existen curvas verticales en cresta o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuente utilizada.

#### Ilustración 24: Tipos de curvas verticales



**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 123)

### 6.8.1.1. Curvas verticales convexas o en cresta.

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

Las ecuaciones básicas para calcular la longitud de una curva vertical en cresta, en términos de la diferencia algebraica de pendientes y distancia de visibilidad son:

Cuando S es menor que L:

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \quad \text{Ecuación No. 32}$$

Cuando S es mayor que L:

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A} \quad \text{Ecuación No. 33}$$

Donde:

L: Longitud de la curva vertical, m

S: Distancia de visibilidad, m

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje

$h_1$ : Altura del ojo sobre la superficie del camino, m

$h_2$ : Altura del objeto sobre la superficie, m

Cuando la altura del ojo y del objeto son 1,080 mm y 600 mm, respectivamente, y se usa la **distancia de visibilidad de parada**, como el caso de este proyecto, las ecuaciones anteriores se vuelven:

Cuando S es menos que L.

$$L = \frac{AS^2}{658} \quad \text{Ecuación No. 34}$$

Cuando S es mayor que L.

$$L = 2S - \frac{658}{A}$$

*Ecuación No. 35*

Teniendo en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad dada, se puede expresar la longitud de la curva vertical en función de su constante K, expresándose entonces  $L = KA$ , o de otra forma,  $K = L/A$ . En la tabla 46 se muestra los valores calculados para K.

**Tabla 46: Control de diseño para curva vertical en cresta para Distancia de Visibilidad de parada.**

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

K = Longitud (m) por porcentaje de A

**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 125).

### 6.8.1.2 Curvas Verticales Cóncavas o en columpio.

Se han identificado los siguientes criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas cóncavas o en columpio:

- El primero se basa en la distancia de iluminada por los faros delanteros del vehículo.
- La siguiente toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical.
- El tercero considera requerimientos de drenaje.

- El último se basa en consideraciones estéticas.

Se presentan dos casos a considerar en el primer criterio, dependiendo si la distancia iluminada por los faros del vehículo es mayor o no que la longitud de la curva. Cuando la longitud de curva,  $L$ , es menor que la distancia de visibilidad iluminada,  $S$ , se utiliza a la siguiente fórmula:

$$L = \frac{AS^2}{120+3.5 S} \qquad \text{Ecuación No. 36}$$

Cuando  $S$  es mayor que  $L$ , la fórmula utilizada es la siguiente:

$$L = 2S - \left( \frac{120+3.5 S}{A} \right) \qquad \text{Ecuación No. 37}$$

Donde:

$L$ : Longitud de curva vertical en columpio, m.

$S$ : Distancia de visibilidad iluminada por los faros del vehículo, m.

$A$ : Diferencia algebraica entre pendientes de la curva, %.

De igual manera en que fueron calculados los valores de diseño de las curvas en cresta, también es conveniente expresar los controles de diseño de las curvas en columpio en términos de  $K$  para todos los valores de  $A$ . Con estas bases se ha preparado la tabla, que se muestra a continuación.

**Tabla 47: Control de diseño para Curva Vertical Cóncava o en columpio.**

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

$K = \text{Longitud (m) por porcentaje de A}$

**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 127).

### **6.8.2. Pendiente Longitudinal mínima.**

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

### **6.8.3. Pendiente Longitudinal máxima.**

La pendiente máxima de una tangente vertical está en relación directa con la velocidad a la que circulan los vehículos, teniendo en dicha velocidad una alta incidencia en el tipo de vía que se desea diseñar.

En la tabla 48, Pág. 109 se muestra las pendientes máximas sugeridas para carreteras rurales y/o locales, en función de la velocidad y tipo de terreno.

**Tabla 48: Pendientes máximas para Carreteras Rurales (Colectoras).**

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

FUENTE: AASHTO, 2004, pp. 382

**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 120)

De la tabla anterior se logró obtener la pendiente longitudinal máxima para el tramo en estudio, según la velocidad.

Para una velocidad de 40 km/h, la pendiente longitudinal máxima es de 15%

## **6.9 Sección transversal.**

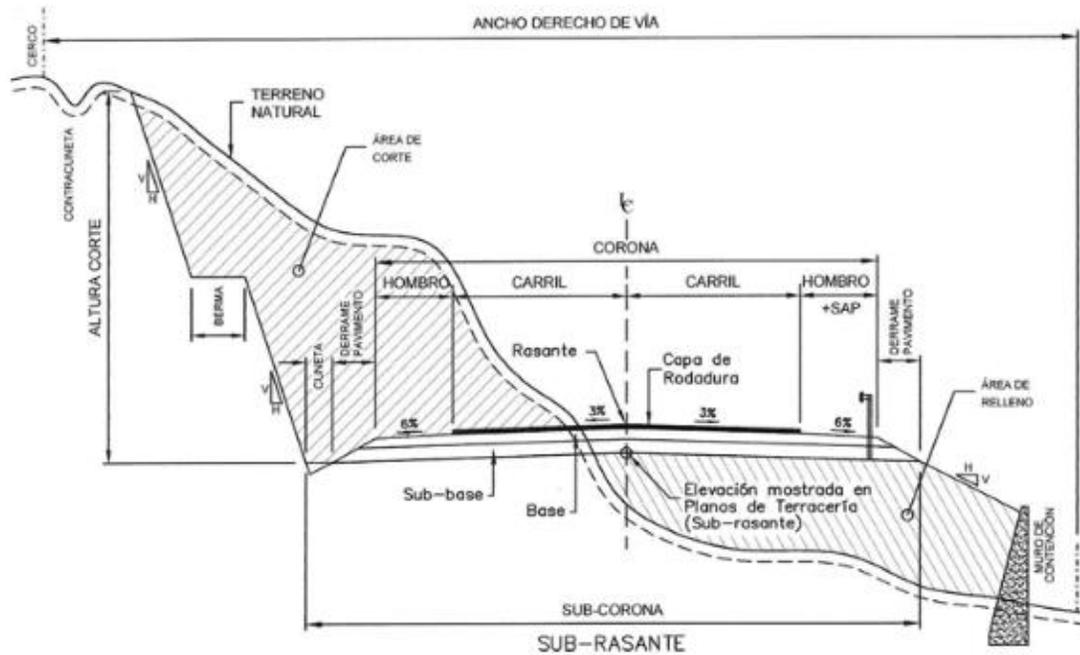
La Sección transversal de una carretera o calle en área urbana o rural, muestra sus características geométricas, según un plano normal vertical a la superficie que contiene el eje de la carretera o calle. Dicha sección transversal varia de un punto a otro de la carretera ya que resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones dependen de las funciones que cumplen y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados.

### **6.19.1 Plataforma o corona**

Se le llama “plataforma” o “corona” a la superficie visible de una carretera o calle que queda comprendida entre las aristas del relleno y/o las interiores de las cunetas. El ancho de la corona, también comprende la rasante, la pendiente transversal, el ancho de la calzada, los hombros, el sobre ancho el hombro en relleno, las aceras o banquetas y la mediana, en caso de que ésta última forme parte de la sección transversal.

Como la plataforma o corona es la superficie visible, también puede contener algunos elementos que se consideran auxiliares, como bordillos, defensas o barreras de contención, señalización e iluminación.

**Ilustración 25: Sección transversal típica en tangentes en carreteras en 2 direcciones**



**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 139).

**6.9.2 Bombeo Normal.**

Es la pendiente que se le da a la plataforma o corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad.

El bombeo depende del tipo de superficie de rodadura, esto se muestra en la siguiente tabla **(Ver Tabla No 49)**

**Tabla 49: bombeo normal de la cazada**

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

**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 139).

Los pavimentos de tipo alto son aquellos que mantienen superficies lisas y propiedades antideslizantes en todo tipo de clima, que sometidas cargas de altos volúmenes de tráfico pesado, requieren poco mantenimiento.

Los pavimentos de tipo bajo son los que esta formados por superficies de terracería, sin tratar o tratadas mediante la inclusión de agregados pétreos.

Para este proyecto se tomará un bombeo de **2%**

### **6.9.3 Hombros o espaldones**

Los hombros o espaldones son las áreas de la carretera contigua a los carriles de circulación, y que tiene su justificado en:

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

**Tabla 50: Anchos mínimos de hombros y aceras.**

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

**Fuente:** (Manual Centroamericano De Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 142).

Como el tramo en estudio se clasifico en Colectora Menor Rural, se usan los valores 1.2-1.6 para hombros externos.

#### 6.9.4 Número de carriles.

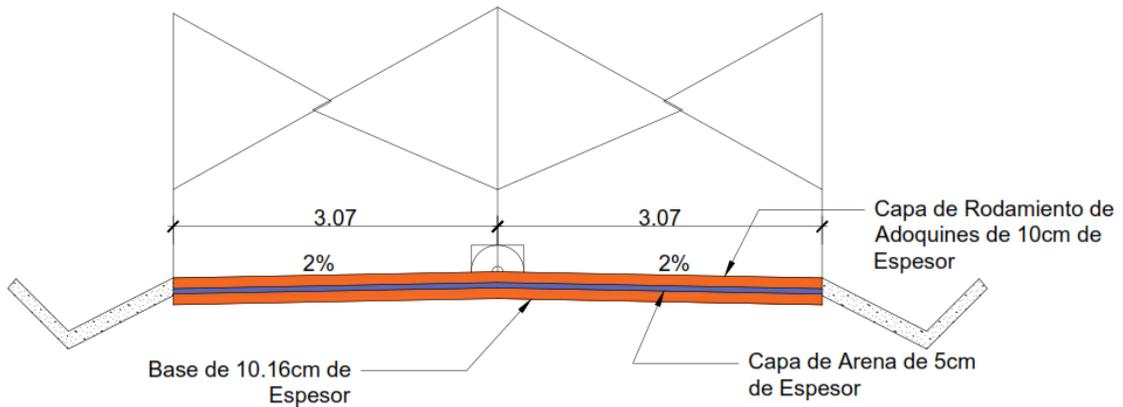
El carril es la unidad de medida transversal, para la circulación de una sola fila de vehículos, siendo el ancho de calzada la sumatoria del ancho de los carriles. Según la tabla 41, pág.89, dependiendo de la clasificación funcional del camino los carriles a usar son 2, para proveer a la vía de una circulación vehicular en ambos sentidos.

#### 6.9.5 Ancho de carril.

Ninguna otra característica de la carretera tiene mayor influencia sobre la seguridad y el confort de la conducción que el ancho del carril y la condición de la superficie. En cuanto al ancho de carril, se usan generalmente valores entre 2.75m a 3.60m, con un ancho de carril predominante de 3.6m en la mayoría de carreteras principales.

Para este proyecto se seleccionará un ancho de carril de 3.07m, debido a que la franja en estudio es angosta.

## Ilustración 26: Sección transversal propuesta

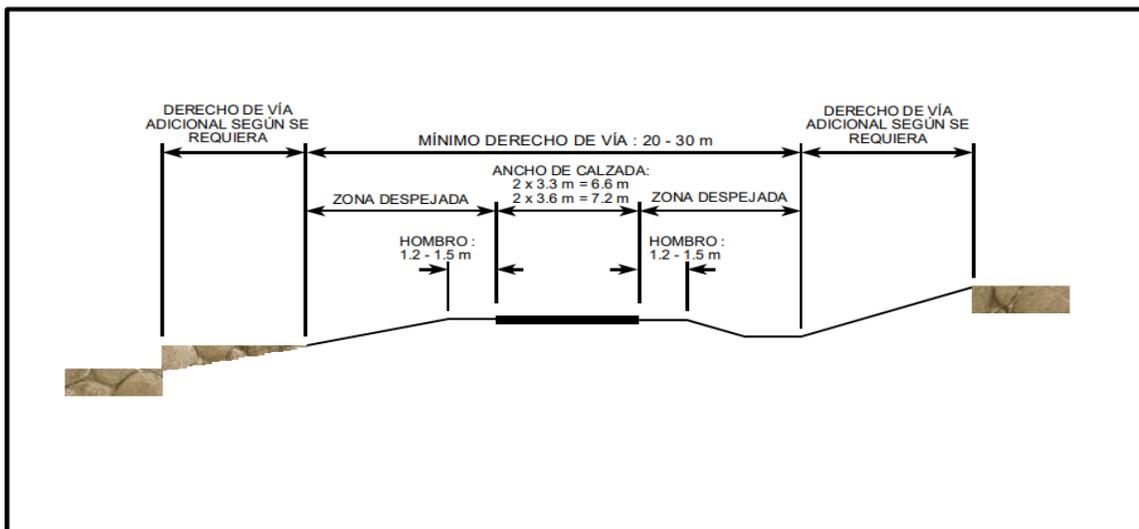


Fuente: Elaboración propia.

### 6.10 Derecho de vía

Es la franja de terreno que adquiere el dueño de una carretera, normalmente el Estado, para la construcción de la misma, incluyendo dentro de sus límites el diseño balanceado de la calzada con sus carriles proyectados, los hombro interiores y exteriores, las medianas y todos los demás elementos que conforman normalmente la sección transversal de este tipo de instalaciones conforme su clasificación funcional.

### Ilustración 27: Derecho de vía de una carretera colectora rural.



Fuente: (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, 2004, pág. 172).

### 6.11 Elaboración del diseño de la vía con el software Civil 3D.

Para realizar el diseño geométrico, se utilizó el Software AutoCAD Civil 3D, en donde se aplicaron todos los parámetros de diseño los cuales se definieron a lo largo de este capítulo, en los anexos se mostrará todos los planos, planos de curvas de nivel, alineamiento horizontal, perfil longitudinal y secciones transversales.

#### 6.11.1 Cálculos para curvas horizontales.

Se mostrará un ejemplo de cálculo de los elementos de las curvas horizontales, donde se verificará los cálculos realizados por el programa antes mencionado.

**Tabla 51: Datos de la curva circular No 23**

C	Delta	R(m)	T(m)	L(m)	Ext(m)	Gc
23	64°04'13"	44.16	27.630	48.38	7.932	39°25'55"

Fuente: AutoCAD, Civil 3D.

Descripción	Estación
PC	2+365.794
PT	2+425.173

Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D.

$$\Delta = 64^{\circ}04'13'' = 64.07$$

$$R_{\text{diseño}} = 44.16 \text{ m}$$

$$e_{\text{max}} = 10\%$$

$$f = 0.23$$

$$V_d = 40 \text{ km/h}$$

### 1- Radio mínimo

$$R_{min} = \frac{v^2}{127.15(e_{max}+f)} = \frac{40^2}{127.15(0.1+0.23)} = 38.132m$$

### 2- Tangente mínima

$$T_{min} = R * \tan \frac{\Delta}{2} = 38.132 * \tan \frac{64.07}{2} = 23.62m$$

### 3- Radio de diseño

$$R_{Dis} = \frac{T}{\tan \frac{\Delta}{2}} = \frac{27.630}{\tan \frac{64.07}{2}} = 44.16m$$

$$R_{diseño} > R_{minimo} \text{ "Cumple la condicion"}$$

### 4- Grado de Curvatura

$$G_c = \frac{1145.92}{44.16 m} = 25^{\circ}56'57.39''$$

### 5- Tangente de diseño

$$T = 44.16m * \tan \left( \frac{64.07}{2} \right) = 27.631 m$$

### 6- Externa

$$E = \frac{44.16 m}{\cos \left( \frac{64.07}{2} \right)} - 44.16m = 7.932 m$$

### 7- Ordenada media (M)

$$M = 44.16m * \left( 1 - \cos \left( \frac{64.07}{2} \right) \right) = 6.724m$$

### 8- Longitud de la curva

$$Lc = \frac{\pi * 44.16m * 64.07}{180} = 49.38m$$

### 9- Cuerda larga

$$CL = 2 * 44.16 * \sin \left( \frac{64.07}{2} \right) = 46.85m$$

## 10- Peralte requerido

$$e_{req} = \frac{e_{max}}{G_{max}} (2G_{max} - G)G$$
$$= \frac{0.1}{(39^{\circ}25'55'')^2} (2(39^{\circ}25'55'') - 25^{\circ}56'57.39'') 25^{\circ}56'57.39'' = 9.51\%$$

## 11- Longitud en transición

$$L_t = m * a * e$$

$$m = 1.5625 * 40 + 75 = 137.5$$

$$L_t = 137.5 * 3.07 * 10\% = 42.2125m$$

$$N = a * b * m = 3.07 * 2\% * 137.5 = 8.44m$$

### 6.11.2 Cálculo para curvas verticales

Se mostrará un ejemplo de curvas verticales donde el total de datos estará en la tabla de curvas verticales.

#### Curva 1.

$$K=8.90$$

$$P_1=1.08\%$$

$$P_2=7.29\%$$

$$\text{Distancia de visibilidad de parada (Dp)}= 50m$$

$$PVI=0+042.03$$

$$A = P_2 - P_1 = 7.29 - 1.08 = 6.21\%$$

### **Longitud de la curva.**

$$L = K * A = 8.90 * 6.21 = 55.269m$$

Como se observa, la longitud de la curva es mayor que la distancia de parada donde se cumple la condición de seguridad; donde  $L > D_p$

$$55.269 > 50 \text{ "OK"}$$

Analizando el cálculo manual se concluyó que los datos obtenidos en el programa son similares al efectuarlo de manera manual y cumplen con las condiciones de seguridad requeridas, donde podemos decir que los datos de la curva están correctos.

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

Mediante los estudios realizados, durante nuestro trabajo monográfico llegamos a las siguientes conclusiones:

El estudio de tránsito señala que, en la zona de estudio, el rango de vehículos que circula mayormente es de tráfico liviano, siendo este un 96.9%, vehículos de pasajeros, un 2.91% y vehículos de carga y un 0.19% equipo pesado.

Los suelos que predomina en el tramo El Naranjo-Guasuyuca son de tipo A-1, siendo más específico el tipo A-1-b, clasificándose en suelo granulares por la AASHTO por lo general los suelos extraídos del tramo, al ser sometidos en el ensayo del CBR de diseño obtuvieron un valor de 6%, teniendo una clasificación cualitativa de regular a buena, para un uso de sub-rasante. El banco de materiales escogidos para este proyecto (La Tompson), cuyos datos fueron facilitados por la alcaldía de Estelí, este material tiene un valor de CBR de 83.4% teniendo una clasificación buena siendo su uso para base. La NIC-2018, en su división II, sección 1000, especificación de calidad de materiales establece que para caminos de bajo costo el valor de CBR para base debe ser mínimo 80%.

A través del estudio topográfico se llegó a la conclusión, que el terreno en estudio tiene un relieve montañoso y ondulado con pendientes que van desde -2% al 19%.

El ESAL's obtenido en el carril de diseño 98,849.75 ejes equivalentes a 18 kips en el periodo de 15 años. Los resultados obtenidos para el espesor de pavimentos realizado por el método de las AASHTO 93 por medio de ábaco para obtener los números estructurales que protegerán la subrasante, se estimó una base de 4 pulgadas (10 cm), cumpliendo con las especificaciones de AASHTO 93, en relación al valor ESAL's y su espesor mínimo, los valores de espesor de adoquín son constantes, siendo de 10cm, y una cama de arena entre adoquín y base de 5 centímetros.

Se determinó la clasificación del camino como colectora menor rural, con una velocidad de diseño de 40 Km/h, el bombeo propuesto de 2% para todo el tramo y con una sección típica con calzada 6.14 mts y carriles de 3.07 mts de ancho.

## **RECOMENDACIONES**

En lo que respecta al tráfico vehicular en la zona se recomienda implementar las debidas señalizaciones para evitar accidentes en dicho tramo.

Verificar que el material obtenido del banco de materiales esté libre de cualquier tipo de materia orgánica u otros residuos que podrían ser perjudicial para la base de la estructura de pavimentos.

A la hora de realizar la compactación llevar un control exhaustivo para no tener ningún daño en un futuro.

Realizar mantenimientos periódicos de manera preventiva para evitar danos costosos en dicha obra.

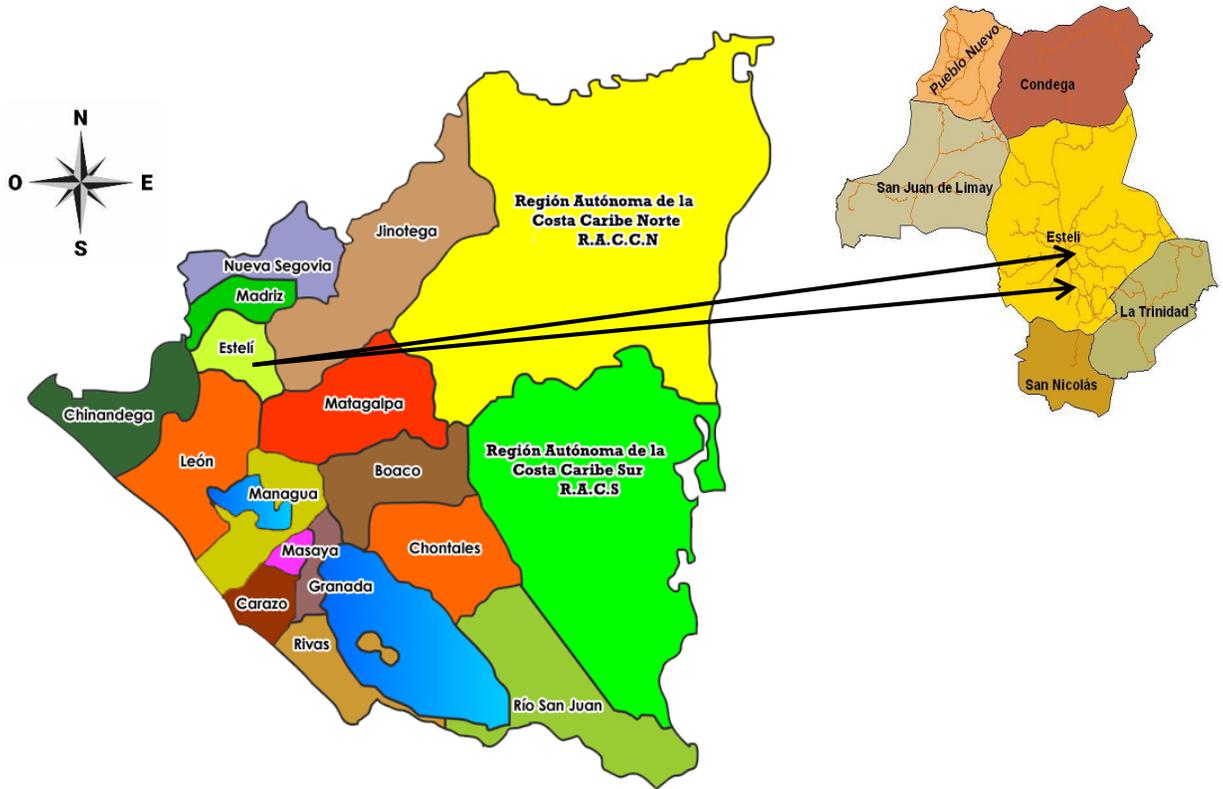
## BIBLIOGRAFIA

- American Association of State Highway and Transportation (AASHTO-93). (2004).  
Guide for desing of pavement structures 1993 (AASTHO 93).
- Banco Central de Nicaragua(BCN). (2018). *Anuario de Estadísticas Macroeconomicas*. Managua, Nicaragua.
- G., Rafael Cal y Mayor R.- James Cardenas. (2018). *Ingeniería de Tránsito; Fundamentos y Aplicaciones*. Ciudad de Mexico: ALFAOMEGA.
- Instituto Nacional de Informacion de Desarrollo (INIDE). (2008). *Anuario Estadístico-Estelí en cifras*. Managua.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2018). *Anuario de Aforos de Tráfico*. Managua, Nicaragua.
- Ministerio de Transporte e infraectrutura-(MTI). (2008). *Manual Para La Elaboración De Términos De Referencia Para Diseño De Carreteras*. Managua, Nicaragua: Corea y Asociados S.A.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2008). *Manual De Revisión De Diseño de pavimentos*. Managua: Corea y asociados S.A.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2018). *Red Vial de Nicaragua-2017*. Managua.
- Ministerios de Transporte e infraestructura-MTI. (2008). *Manual Para la Revisión de Estudios Geotécnicos* . Managua .
- SIECA. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de pavimentos*. Guatemala : SIECA.
- SIECA. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de las Carreteras Regionales*. SIECA.
- SIECA 3ra edicion . (2011). *Manual Centramericano De Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras*.

# ANEXOS

## Macro localización del proyecto

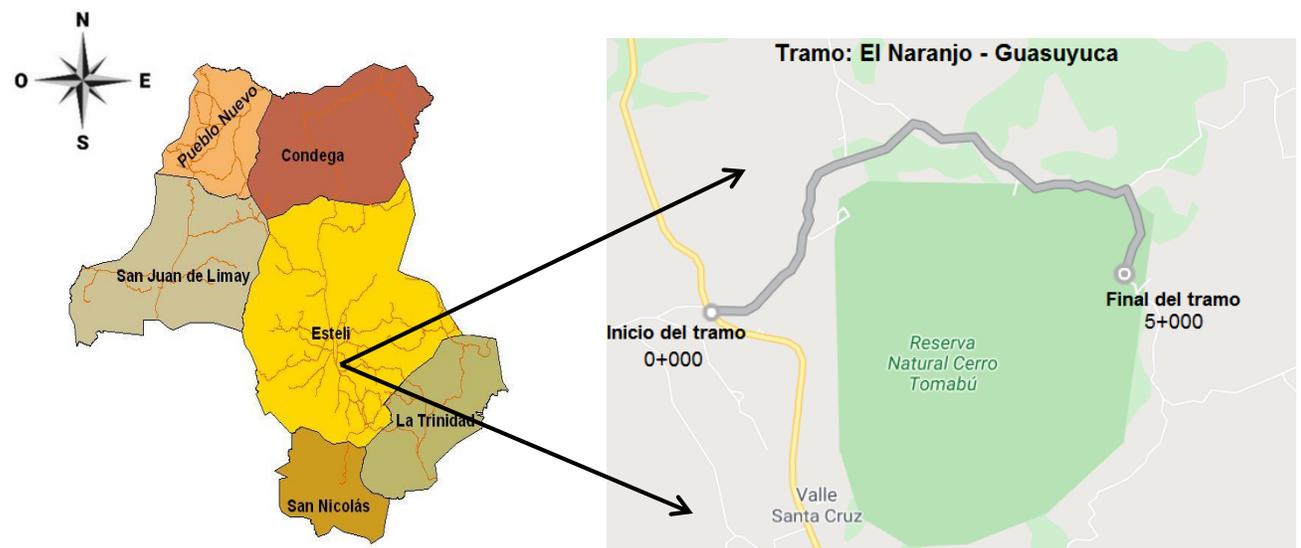
Ilustración 28. Mapa de macro localización del departamento de Estelí



Fuente: <https://ministeriopublico.gob.ni/>

## Micro localización del proyecto

Ilustración 29. Mapa de micro localización del tramo comunidad El Naranjo – Guasuyuca.



Fuente: GoogleMaps.com

### Ilustración 30. 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, Minimotos, Cuadraciclós, Moto Táxis, 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 4x4. 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.
	CAMIÓN 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.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx>=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx>=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS 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.

**Fotografía No.1 realización de sondeos manuales en tramo Comunidad El Naranjo-Guasuyuca**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fotografía No. 2 Toma de muestras durante los sondeos**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fotografía No. 3 y No 4 Muestras obtenidos de los sondeos en la Comunidad El Naranjo-Guasuyuca**



**Fuente:** Elaboración propia.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fotografía 5: Ensayo de granulometría**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fotografía 6: Ensayo de CBR**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fotografía No 7: Estación total utilizada para el levantamiento topográfico**



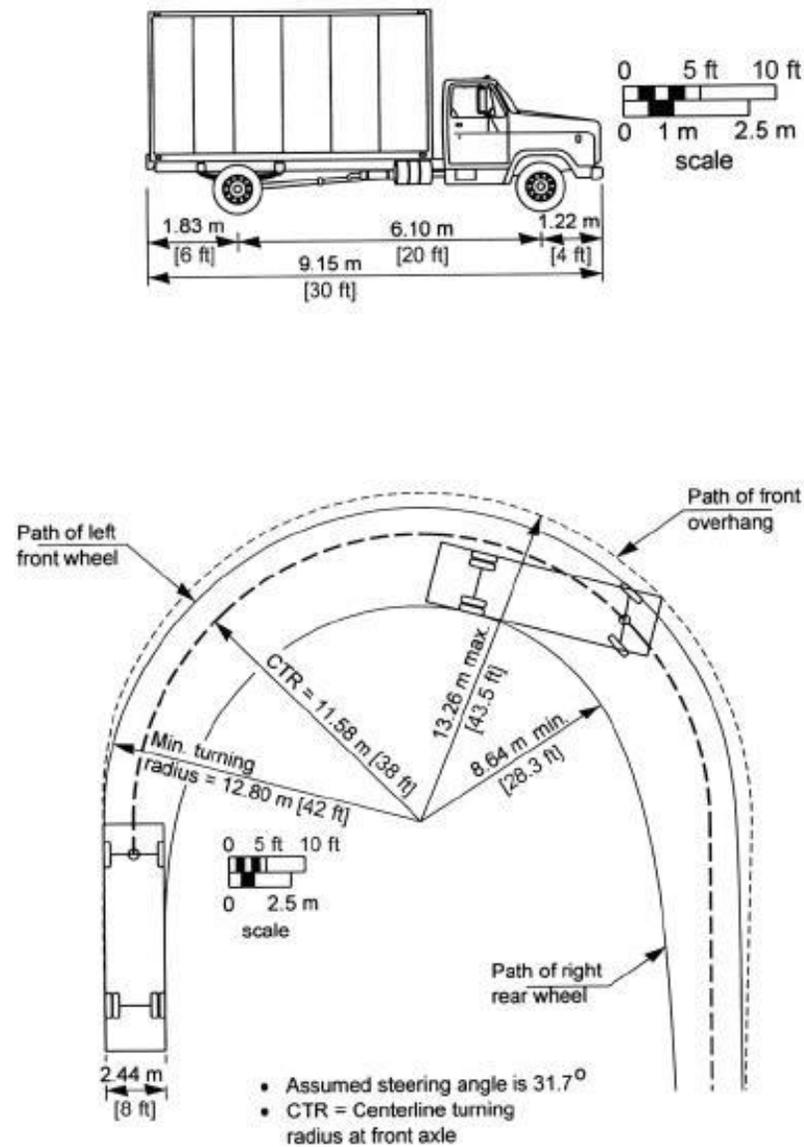
**Fuente:** Elaboración propia.

**Fotografía No. 8 levantamiento topográfico en ejecución**



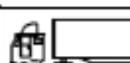
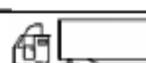
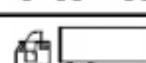
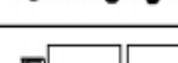
**Fuente:** Elaboración propia.

**Ilustración 31. Características Estructurales Funcionales-Operativas del Vehículo de Diseño C2**



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

**Ilustración 32. Pesos máximos permisibles por tipo de vehículo**

<b>PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS</b>								
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.
<b>C2</b>		5.00	10.00					<b>15.00</b>
<b>C3</b>		5.00	<b>16.50</b>					<b>21.50</b>
			8.25	8.25				
<b>C4</b>		5.00	<b>20.00</b>					<b>25.00</b>
			6.67	6.66	6.66			
<b>T2-S1</b>		5.00	9.00	9.00				<b>23.00</b>
<b>T2-S2</b>		5.00	9.00	<b>16.00</b>				<b>30.00</b>
				8.00	8.00			
<b>T2-S3</b>		5.00	9.00	<b>20.00</b>				<b>34.00</b>
				6.67	6.66	6.66		
<b>T3-S1</b>		5.00	<b>16.00</b>		9.00			<b>30.00</b>
			8.00	8.00				
<b>T3-S2</b>		5.00	<b>16.00</b>		<b>16.00</b>			<b>37.00</b>
			8.00	8.00	8.00	8.00		
<b>T3-S3</b>		5.00	<b>16.00</b>		<b>20.00</b>			<b>41.00</b>
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
<b>C2-R2</b>		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			<b>21.50</b>
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			<b>26.50</b>
<b>C3-R2</b>		5.00	<b>16.00</b>		4.0 a	4.0 a		<b>29.00</b>
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		<b>34.00</b>
<b>C3-R3</b>		5.00	<b>16.00</b>		4.0 a	5.0 a	5.0 a	<b>35.00</b>
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	<b>37.50</b>

**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.

### Ilustración 33. 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

### Ilustración 34. Tabla de Factores Equivalente de Carga Eje Simple

#### TABLAS DE FACTORES EQUIVALENTE DE CARGA<sup>3</sup>

**Tabla 3-1**

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

Carga p/eje (kips) <sup>6</sup>	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.

<sup>3</sup> 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.

## Ilustración 35. 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	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	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

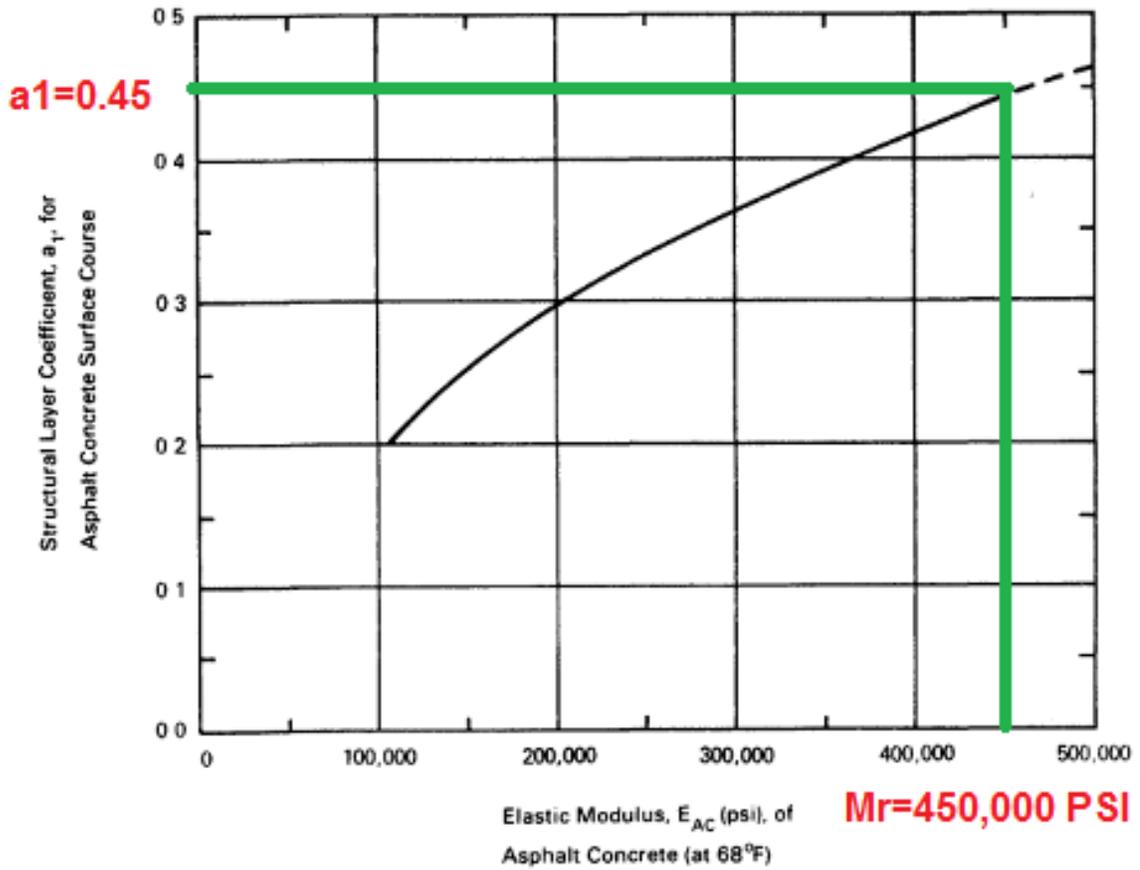
## Ilustración 36. Tabla de Factores Equivalente de Carga Eje Trídem

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.

**Ilustración 37. Nomograma de coeficiente estructural a1 para adoquín**

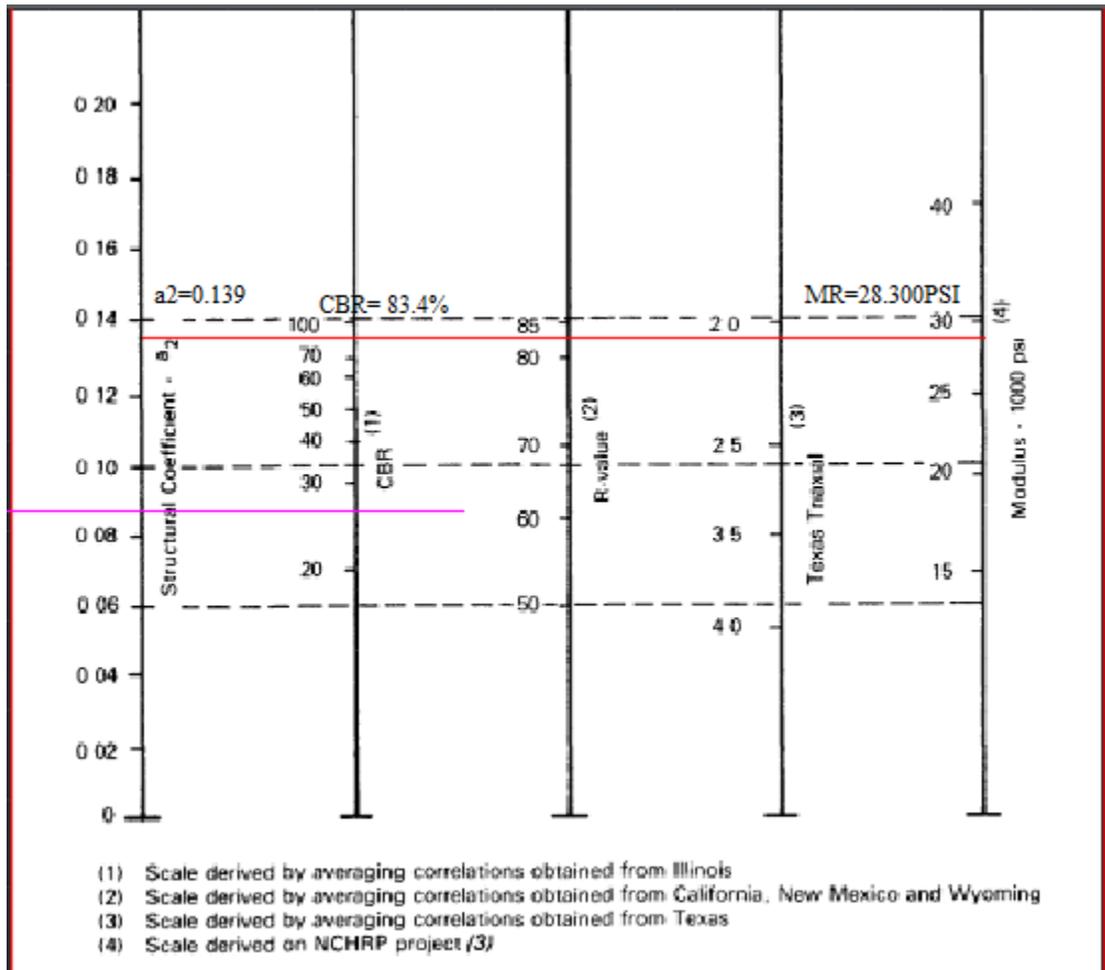


**Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)**

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

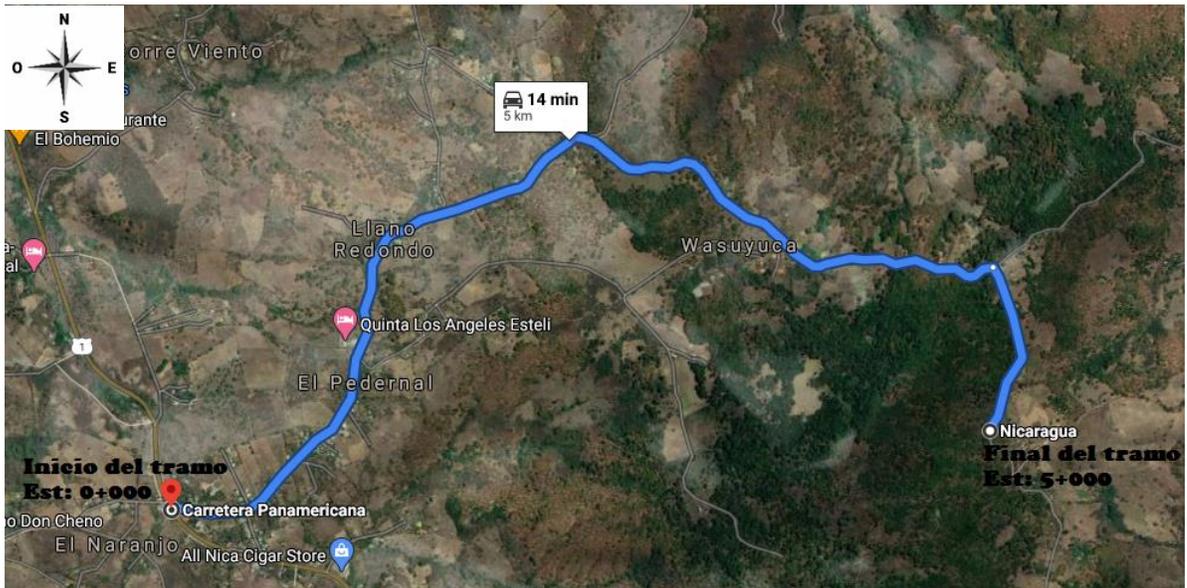
NOTA: Se usa este Nomograma, debido a que según (Manual Centroamericano para Diseño de pavimentos, 2002, pág. 32) para efectos de diseño el pavimento de adoquín se toma como pavimento flexible.

**Ilustración 38. Nomograma de coeficiente estructural a2 para capa base**



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

### Ilustración 39. Leyendas de tramo Comunidad El Naranjo-Guasuyuca.



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 52: Valores de diseño para sobrancho en curvas de carreteras (Dos carriles, una o dos vías)**

Radio de Curva	Ancho de Calzada = 7.20 m						Ancho de Calzada = 6.60 m						Ancho de Calzada = 6.00 m					
	Velocidad de Diseño (KPH)						Velocidad de Diseño (KPH)						Velocidad de Diseño (KPH)					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
3000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
1500	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
1000	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
900	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
800	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
700	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0
600	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0
500	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1
400	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9		0.9	1.0	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1.0	1.0			1.1	1.2	1.3	1.6			1.4	1.5	1.6	1.6		
150	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
140	1.2	1.3					1.5	1.6					1.8	1.9				
130	1.3	1.4					1.6	1.7					1.9	2.0				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2.0	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.2				
100	1.6	1.7					1.9	2.0					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2.0						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

**Fuente:** (Manual Centramericano De Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras., 2011, pág. 111)

**Tabla 53: Valores de diseño para sobrancho en curvas de carreteras (Dos carriles, una o dos vías)**

Radio de Curva (m)	VEHÍCULO DE DISEÑO						
	SU	WB-12	WB-19	WB-20	WB-20D	WB-30T	WB-30T
3000	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2500	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2000	0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1500	-0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
1000	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
900	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
800	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
700	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3
600	-0.5	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3
500	-0.5	-0.4	0.1	0.2	0.0	0.1	0.4
400	-0.5	-0.4	0.2	0.2	0.0	0.1	0.5
300	-0.6	-0.5	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.6
250	-0.7	-0.5	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.8
200	-0.8	-0.6	0.3	0.4	-0.1	0.2	1.0
150	-0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.1	0.2	1.3
140	-0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.1	0.2	1.4
130	-1.0	-0.7	0.5	0.6	-0.2	0.2	1.5
120	-1.1	-0.8	0.5	0.7	-0.2	0.3	1.6
110	-1.1	-0.8	0.6	0.8	-0.2	0.3	1.7
100	-1.2	-0.9	0.6	0.8	-0.2	0.3	1.9
90	-1.3	-0.9	0.7	0.9	-0.2	0.3	2.1
80	-1.4	-1.0	0.8	1.1	-0.2	0.4	2.4
70	-1.6	-1.1	0.9	1.2	-0.3	0.5	2.8

**Fuente:** (Manual Centramericano De Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras., 2011, pág. 112)

# PLANOS

# PLANTA-PERFIL

# SECCIONES TRANSVERSALES