



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

“DISEÑO GEOMETRICO DE 4.5 KM Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUIN), POR EL METODO AASHTO-93, DEL TRAMO DE CARRETERA -COMUNIDAD EL PINO III- COMUNIDAD SAN LUIS, EN EL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY DEPARTAMENTO DE ESTELI, DE LA ESTACION 6+650 A 11+150”

Para optar al título de Ingeniero Civil.

Elaborado por

Br. Jonny Josué Castellanos Colindres.
Br. Hairton Elías Bravo Castillo.

Tutor

Ing. Keving Roberto Sánchez Rocha

Managua, septiembre 2021

DEDICATORIA

A DIOS:

Esta monografía está dedicada primeramente a Dios nuestro creador, a quien supo guiarme por el buen camino, por ser el inspirador y darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban día a día.

MIS PADRES:

También dedico esta monografía especialmente a mis padres Ana Colindres Torrez y Dennis Castellanos Matute, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, por haberme enseñado como debe ser una persona con principios y valores, muchas gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos.

A mis hermanos(as), amigos(as) por estar siempre presentes, y acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindaron a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

Br. Jonny Josué Castellanos Colindres

DEDICATORIA

A DIOS:

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A MIS PADRES:

Dedico esta tesis a mis padres María Elena Castillo Jarquín y Simón Bravo Flores que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles.

FAMILIA:

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Br. Hairton Elías Bravo Castillo

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a nuestros padres por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, por los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Universidad Nacional de Ingeniería, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial a, Ing. Keving Roberto Sánchez Rocha tutor de nuestro proyecto de investigación quien nos ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

Br. Jonny Josué Castellanos Colindres

Br. Hairton Elías Bravo Castillo

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento monográfico está compuesto por 6 capítulos los cuales se detallan a continuación

Capítulo I: Generalidades

En este capítulo se presentan aspectos básicos del proyecto como introducción, macro y micro localización del sitio en estudio, justificación y objetivos.

Capítulo II: Levantamiento topográfico

Se muestran los datos levantados en la zona los cuales proporcionan las coordenadas, elevaciones y curvas de nivel para llevar a cabo el diseño de los perfiles longitudinales y transversales del barrio.

Capítulo III: Estudios de suelo:

Se hicieron estudios de suelos y bancos de materiales, los cuales consistieron en la ejecución de 19 sondeos manuales de 0.30*0.30*1.50 m aproximadamente de sección transversal y profundidad a cada 250 m y 3 calicatas por banco de 1.50*1.50*3 m, todo con el fin de obtener muestras alteradas para su análisis posterior en laboratorio.

Los ensayos de laboratorio se realizaron siguiendo los procedimientos estándares descritos en las normas internacionales ASTM. El proceso de la realización de todo el estudio de suelo fue llevado por la alcaldía de San Juan de Limay con la mano del laboratorio Icavielca, Laboratorio de Suelos y Materiales (Consultoría y diseños).

Capítulo IV: Estudios de tránsito:

En el estudio de tránsito se hicieron trabajos de conteo de tránsito y encuestas origen-destino por espacios de 7 días respectivamente durante 12 horas (6:00am-6:00pm) con el fin de conocer la cantidad y el tipo de tránsito que circula

por la zona para posteriormente estimar el TPDA, tomando como referencia los respectivos factores para ajustar los resultados obtenidos.

El TPDA calculado para el año base 2020, se proyectó para un periodo de diseño de 20 años, utilizando una tasa de crecimiento estimada del 3.07% encontrándose así el TPDA del tránsito normal, tránsito atraído y tránsito generado, proyectados al año 2040, los cuales fueron utilizados para calcular el tránsito de diseño.

Capítulo V: Diseño de estructura de pavimento:

Se realizó el diseño de espesores de pavimento, basándose en el método AASHTO 93 para pavimento articulado (adoquín), en función de los ejes equivalentes (ESAL) para el periodo de diseño y la calidad de los suelos de las terracerías según los CBR de diseño, utilizando el software WINPAS para la determinación del número estructural (SN). Cabe mencionar 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”

Capítulo VI: Diseño Geométrico:

Se hizo el diseño geométrico del tramo de carretera Comunidad El Pino III- Comunidad San Luis de la Est. 6+650 a la 11+150, basándose en la normativa AASHTO 2011 y con el programa AutoCAD Civil 3D, el cual incluyó la definición de cada uno de los principales criterios de diseño.

El diseño de curvas verticales se hizo respetando los controles de diseño de curvas verticales convexas para distancia de visibilidad de parada y rebase y para curvas verticales cóncavas también con sus respectivos controles de diseño.

El diseño de la sección transversal se hizo en base a las especificaciones de la AASHTO 2011 y las condiciones que presenta el camino.

INDICE

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1	INTRODUCCION.....	1
1.2	ANTECEDENTES.....	2
1.3	JUSTIFICACION.....	3
1.4	OBJETIVOS.....	4
1.4.1	General.....	4
1.4.2	Objetivos Específicos	4

CAPITULO II: LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

2.1	Levantamiento topográfico	7
2.1.1	Introducción.....	7
2.1.2	Metodología	8
2.1.3	equipo Topográfico	8
2.1.4	Planimetría	9
2.1.5	Altimetría	9
2.1.6	Nivelación de los puntos de la Línea Base (LB).	9

2.1.7 Nivelación compuesta.....	9
2.1.8 Procedimiento y desarrollo del levantamiento topográfico.....	9
2.1.9 Trabajo de Campo y de Gabinete.....	10
2.1.10 Tipo de terreno	11
2.1.11 Elaboración de Planos.....	11

CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELO

3.1 Estudio de suelo	13
3.1.1 Suelo	13
3.1.2 Meteorización	13
3.1.3 Las propiedades físico-mecánicas.....	13
3.1.4 Trabajo de campo.....	14
3.1.5 Sondeos de línea.....	15
3.1.6 Actividades de laboratorio	15
3.1.7 Estratigrafía del Terreno	16
3.1.8 Identificación de la sub rasante	16
3.1.9 Ensayo CBR	18

3.2 Resultados de fuente de materiales	20
3.2.1 Granulometría y Clasificación de Bancos de Materiales.....	20
3.2.2 Banco de materiales	21
3.3 Especificaciones técnicas de las diferentes capas que constituyen la estructura de pavimento	23
3.3.1 Superficie de rodamiento	23
3.3.2 Base	23
3.3.3 Sub – base	24
3.3.4 Sub rasante	25

CAPITULO IV: ESTUDIO DE TRANSITO

4.1 Introducción.....	27
4.2 Metodología.....	27
4.2.1 Recopilación de Datos	27
4.2.2 Procesamiento de Datos.....	27
4.2.3 Análisis de la información Obtenida	27
4.3 Estación de mayor cobertura correspondiente a la ECD- 2402.....	28

4.3.1 Selección de estación de corta duración asociada al flujo vehicular	29
4.3.2 Factores de ajustes para cuantificar TPDA	30
4.3.3 Cálculo del TPDA	31
4.4 Proyección de Tránsito	33
4.5 Crecimiento vehicular	33
4.5.1 Tasa de crecimiento	33
4.5.2 Tasa de crecimiento vehicular aplicando la media geométrica	35
4.6 Crecimiento poblacional	36
4.7 Producto Interno Bruto (PIB)	37
4.8 Análisis de tasas de crecimiento	38
4.9 Periodo de diseño	39
4.10 Factor direccional (FD)	39
4.11 Factor Distribución carril (FC')	40
4.12 Factor de crecimiento (FC)	40
4.13 Tránsito proyectado en el año n	41
4.13.1 Tránsito de diseño	41

CAPITULO V: DISEÑO GEOMETRICO

5.1 Introducción	43
5.2 Topografía	43
5.2.1 Levantamiento topográfico.....	44
5.3 Método utilizado.....	44
5.4 Tasa de Sobre Elevación o Peralte.	45
5.5 Clasificación de la carretera	45
5.6 Vehículo de diseño.	46
5.6.1 Velocidad de diseño	47
5.7 Distancia de visibilidad	47
5.7.1 Distancia de visibilidad de parada.....	47
5.7.2 Distancia de Visibilidad de Rebase (Dvr).....	49
5.8 Factor Máximo de Fricción Lateral.....	50
5.9 Ancho de carril.....	51
5.10 Pendiente transversal	51
5.10.1 Pendiente longitudinal mínima	51

5.10.2 Pendiente Longitudinal Máxima.....	52
5.11 Alineamiento Horizontal.....	52
5.12 Curvas de Nivel.....	52
5.12.1 Curvas Circulares Simple.....	53
5.12.2 Tangente de Curva o Sub Tangente.....	54
5.12.3 Radios Mínimos y Grados Máximos de Curva.....	56
5.12.4 Longitud de Transición.....	57
5.12.5 Desarrollo de Bombeo - Peralte.....	57
5.12.6 Transición en la Tangente.....	58
5.13 Sobre Ancho.....	59
5.14 Cunetas.....	59
5.15 Perfil Longitudinal.....	60
5.15.1 Rasante.....	60
5.16 Curvas Verticales.....	60
5.16.1 Tipos De Curvas Verticales.....	60

5.16.2 Curvas Vertical en Cresta. (Convexas)	62
5.16.3 Curvas Verticales en Columpio (Cóncavas)	62
5.17 Controles de diseño (K): Para distancia visual de parada y rebase.....	62
5.17.1 Elementos Geométricos de las Curvas Verticales	65
5.18 Normas Generales para el Perfil Longitudinal.....	65
5.18.1 Secciones Transversales	66
5.19 Definición de la Sección Transversal Típica de la Vía y los Elementos que la Conforman.	66
5.19.1 Sección Transversal Típica.....	66
5.19.2 Derecho de Vía.....	67
5.19.3 Elaboración del Diseño en Civil 3d	68
5.20 Curvas Horizontales	68
5.20.1 Memoria De Cálculo.	68
5.21 Calculo Para Curvas Verticales	71

CAPITULO VI: DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

6.1 Introducción	73
------------------------	----

6.2 Método para el Diseño de Pavimento Articulado (AASHTO-93).....	74
6.2.1 Los Criterios que considera el método AASHTO 93 para cálculo de espesores son:	74
6.3 Variables a considerar en el Método de diseño AASHTO 93.	75
6.3.1 Confiabilidad (R).....	75
6.3.2 Desviación estándar (S0).....	76
6.3.3 Análisis de Cargas y ejes equivalentes para el Diseño de Pavimento	76
6.3.4 Serviciabilidad	79
6.3.5 Pérdida de serviciabilidad (Δ PSI).....	80
6.3.6 Determinación del CBR de diseño (En suelos)	81
6.3.7 Módulo de Resiliencia de la subrasante (Mr).	83
6.3.8 Módulo de Resiliencia de la Base (Mr).....	84
6.3.9 Coeficiente de drenaje.....	84
6.4 Coeficientes de las capas estructurales.	85
6.4.1 Coeficiente estructural de la carpeta de rodamiento (adoquín de concreto) a1.	85
6.4.2 Coeficiente estructural para base granular a2.....	86

6.4.3 Coeficientes Estructural a3	86
6.5 Número Estructural.....	86
6.6 Cálculo de Espesores de la Estructura de Pavimento Números estructurales (SN).....	87
6.7 Cálculo del número estructural (SN) y espesores de capas (D)	90
6.8 Comprobación mediante el Software WinPAS.....	92
6.9 Espesores finales de Diseño	94
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFIA.....	99
ANEXOS	100
Tabla No.6 Sondeos efectuados y resultados de ensayos	I
Tabla No.7 Sondeos efectuados y resultados de ensayos	II
Tabla No.11 Clasificación de suelos, según AASHTO	III
Figura No.10 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Jueves).....	IV
Figura No.11 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (viernes).....	IV
Figura No.12 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Sábado)	V
Figura No.13 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Domingo)	V

Figura No.14 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Lunes)	VI
Figura No.15 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Martes)	VII
Figura No.16 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Miércoles).....	VII
Figura No.22 Estación de Corta Duración asociada al tráfico que circula por la comunidad San Luis.	IX
Figura No.19 Factores correspondientes para obtener TPDA asociada a la estación de mayor cobertura No. 2400, Rotonda Chinandega – Ranchería.....	IX
Figura No.24 Producto Interno Bruto expresados en millones de córdobas, periodo comprendido del 2006-2018	X
Figura No.25 Tasa de crecimiento del PIB, periodo 2007-2018	XI
Figura No.23 Proyecciones poblacional del 30 de junio por sexo, según año, calendario y tasa de crecimiento periodo 2005-2020.	XII
Tabla No.8 Banco de material investigado	XIII
Figura No.27 Características Estructurales Funcionales-Operativas del Vehículo de Diseño C2	XIV
Tabla No.57 Distancia de Visibilidad de Parada en Caminos con pendiente..	XV
Tabla No.36 Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de Parada.	XVI
Tabla No.39: T Resumen de Alineamiento Horizontal	XVII
Tabla No.40. Resumen de Alineamiento Verticales	XVIII
Figura No.35 Pesos máximos permisibles por tipo de vehículo	XIX
Figura No.38 Clasificación de suelos relacionada con parámetros de resistencia.	XX
Figura No.39: Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes.....	XXI
Figura No.40: Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Sub-Base Granular y distintos Parámetros Resistentes.	XXII
Tabla No.44: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $P_t=2$	XXIII
Tabla No.45: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $P_t=2$	XXIV
Tabla No.46: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes trídem, $P_t=2$	XXV

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

Nicaragua cuenta con una red vial de 24,769 km, de acuerdo al inventario realizado (2019) por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), de los cuales 4,658.6 km son carreteras pavimentadas; (2,548.5 km de asfalto; 1,631.7 km de adoquín y 478.4 km de concreto hidráulico) y 20,112.428 km están sin pavimentar. Dentro de estos últimos tenemos 39.3% que corresponden a camino de todo tiempo, donde se incluye el camino que conecta a las Comunidades de El Pino III y a la Comunidad de San Luis del departamento de Estelí, su inicio (Estación 6+650) es donde finaliza el adoquinado de la comunidad El Pino III.

El tramo de carretera Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis, está ubicado en el Municipio de San Juan de Limay departamento de Estelí, en la zona central de Nicaragua; a 195 km de la capital Managua, cuenta con un área territorial de 427.66 *km*², con posición geográfica de Latitud Norte 13°25' y Longitud Oeste 86°47', y con una altitud de aproximadamente 1300 msnm. Habitualmente, el clima en este municipio varía entre los 16 y 25°C.

La comunidad de San Luis se encuentra en la zona tórrida junto a pluviselvas (**Ver Figura No.2, Micro localización, Pág. No.6**) Sin embargo, su altura le da un clima templado y agradable todo el año. Bajo la clasificación climática de Köppen cuenta con un clima tropical húmedo y seco que las fronteras en un clima subtropical del altiplano. Su clima oscila entre 18 y 26° grados Celsius, perteneciente a los municipios más cercanos a la región central, lo cual cuenta con una precipitación media anual de 1200 -1350 mm de agua.

Con la realización de este proyecto, se promoverá el desarrollo socio-económico del país y específicamente del área de influencia del proyecto, facilitando el intercambio comercial y el acceso a los centros de desarrollo social, educación y de salud pública; además de promover la implementación de la Infraestructura vial de apoyo a la producción.

1.2 ANTECEDENTES

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

La fuente de sobrevivencia de esta comunidad es la ganadería, así como la productiva es la cosecha de café y granos básicos tales como frijoles y el maíz, pero en menor escala según la revista BVSDE, Nicaragua.

Dadas las características de la Comunidad de San Luis, es una comunidad rural que no posee alcaldía municipal, por lo que recae directamente en la Comuna del Municipio de San Juan de Limay y en el MTI, los cuales realizaron un mantenimiento rutinario que consistió en colocación de material de revestimiento en agosto del 2017 debido a las pésimas condiciones de esta vía a la cual no se le practicaba ningún tipo de mejora desde 4 años atrás, ya que actualmente en tiempos de lluvias el camino se vuelve intransitable.

1.3 JUSTIFICACION

El mejoramiento del tramo de carretera Comunidad El Pino III – Comunidad San Luis, Municipio de San Juan de Limay, permitirá que la población asentada en todo el tramo tenga mejores perspectivas de desarrollo, mejorando el nivel de vida, incentivando a nuevos centros de empleo y mayores posibilidades de intercambiar y comercializar sus productos con las principales ciudades del país.

Actualmente se está ejecutando el financiamiento para llevar a cabo la construcción de esta vía, a través del adoquinado, lo que permitirá una utilización óptima del camino rural, de una forma sostenida, ajustándose de esta manera a las posibilidades económicas y constructivas del país.

Con la ejecución de este proyecto se pretende, mejorar la red vial de las comunidades de El Pino III, San Luis, Las Chilcas, La Labranza y entre otros sectores aledaños para crear una oportunidad de trabajo, ya que la región donde se ubica presenta altos índices de pobreza, por lo que indudablemente, estas obras tendrán un gran impacto económico y social, en la zona ya que esta comunidad conecta a municipios de gran importancia para el crecimiento económico.

La situación actual de la red vial de la comunidad El Pino III-Comunidad San Luis, su problemática, su conservación y desarrollo son temas de vital importancia para el desarrollo económico de la zona, por lo tanto, es una necesidad básica poseer caminos con adecuados diseños de espesores que soporten el tránsito vehicular que por éstas circulan, asociadas todas ellas a actividades económicas importantes en el desarrollo del municipio. El diseño de pavimento articulado de 4.5 Km en el tramo de carretera Comunidad El Pino III – Comunidad San Luis es una alternativa viable ya que beneficiaría a toda la población de esta comunidad asegurando el desarrollo de la misma.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

- Diseñar geoméricamente y estructuralmente 4.5 km de pavimento articulado (adoquín), por el método AASHTO - 93, del tramo de carretera Comunidad El Pino III – Comunidad San Luis, en el municipio de San Juan de Limay, departamento de Estelí. De la Estación 6+650 a 11+150.

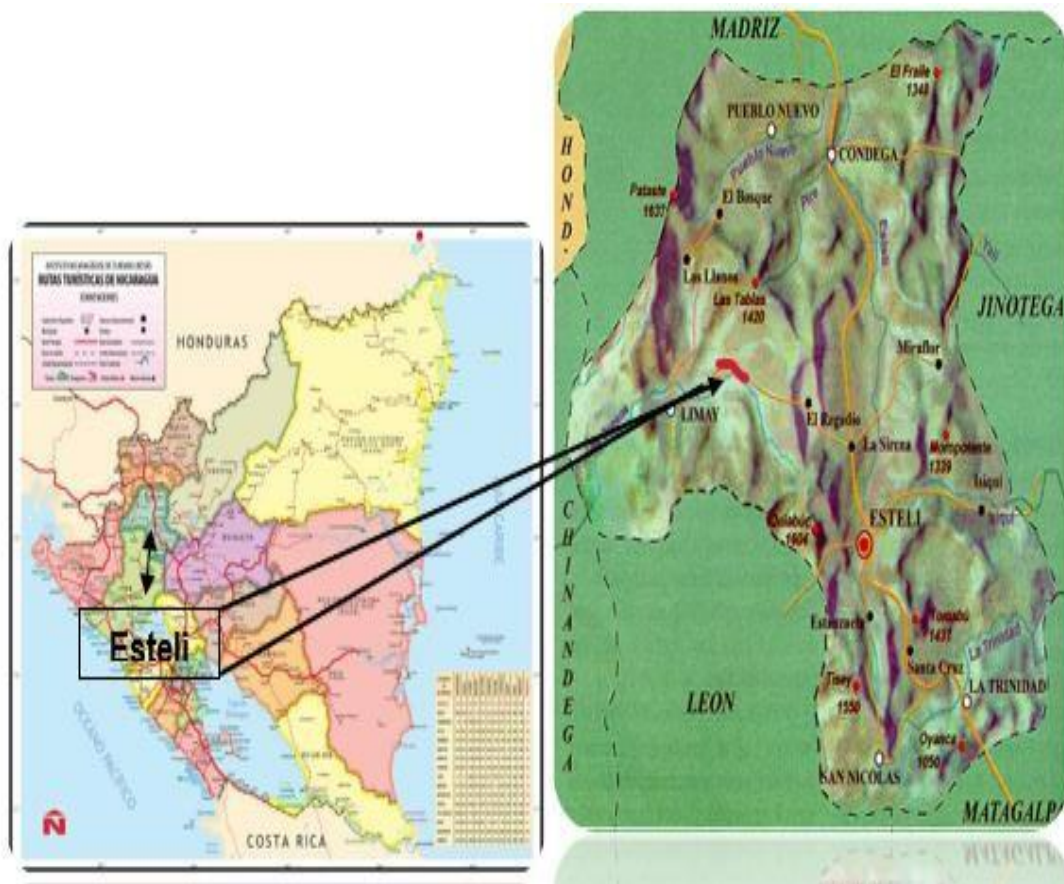
1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar el levantamiento topográfico del Tramo en Estudio, para definir la rasante óptima.
- Analizar el estudio geotécnico elaborado por el laboratorio de suelos y materiales (ICAVIELCA) para la determinación de las características físico-mecánicas del sitio y del banco de préstamo que garantice la disponibilidad de los materiales adecuados de dicho tramo
- Realizar un estudio de tránsito que permita la determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y la magnitud de carga a que estará sometida la estructura de pavimento.
- Diseñar geoméricamente aplicando la normativa del manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004), utilizando el software Civil3D 2020.
- Diseñar los espesores de la Estructura de Pavimento Articulado tomando como referencia las normas AASHTO 93, y las normativas del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento Rígido (SIECA 2004).

Ubicación del proyecto

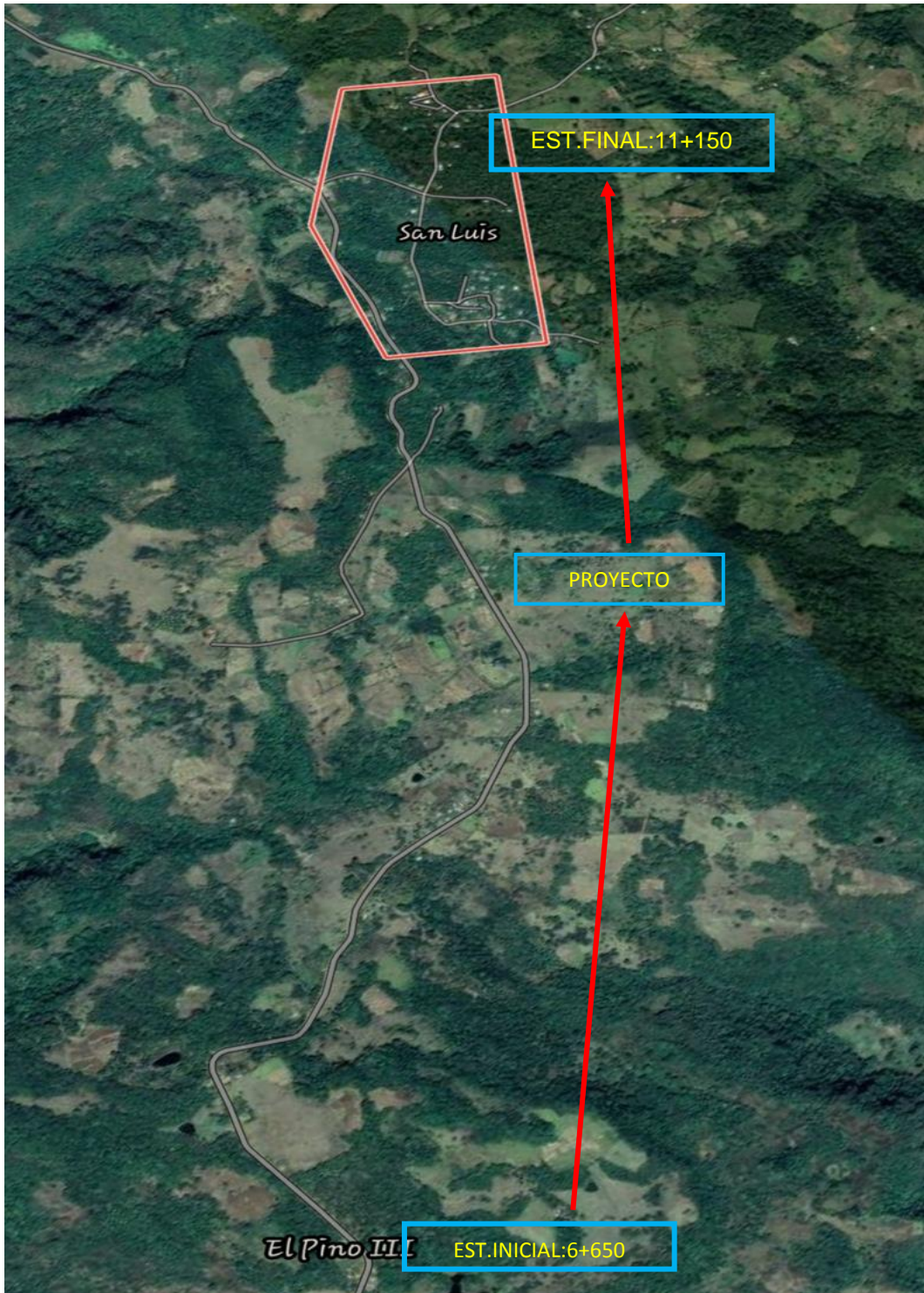
Macro Localización del área en estudio

Figura No.1 Macro localización.



Fuente: Elaboración propia

Figura No.2 Micro localización. Comunidad El Pino III- Comunidad San Luis



Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO II

LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO



2.1 Levantamiento topográfico

2.1.1 Introducción

Para conocer la topografía del tramo de 4.5 kilómetros de la Avenida en estudio hemos obtenido la información correspondiente en la Empresa Constructora de Obras de Ingeniería Civil (COICSA), ubicada en el departamento de Nueva Segovia, Ocotal y hemos realizado el reconocimiento del terreno en dicho tramo.

La realización del estudio topográfico estuvo a cargo de la empresa privada COICSA (Constructora de obras de ingeniería civil SA), la cual consistió en levantar 10.45 km de vía. Toda la información nos fue brindada por la empresa mencionada como material de apoyo al estudio. De los 10.45 km totales, solo se seleccionaron 4.5 km de la (Est. 6+650 – 11+150), para este trabajo monográfico.

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

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

2.1.2 Metodología

El levantamiento topográfico fue realizado por la Empresa COICSA. El alcance del levantamiento topográfico, comprende desde la Est. 6+650, Est. 11+150 entrada principal del tramo de carretera Comunidad El Pino III- Comunidad San Luis, El procedimiento que se utilizó para el estudio del levantamiento topográfico es basado en el método de perfil longitudinal y secciones transversales. Este es uno de los métodos más comunes y adecuados para proyectos de ingeniería en carreteras.

Según los datos proporcionados por la empresa constructora de Nueva Segovia, Ocotal, el levantamiento Topográfico fue realizado durante 5 días, obteniendo los datos necesarios para conocer las características del terreno.

2.1.3 equipo Topográfico

- **Estación Total:** Es un instrumento electrónico-óptico que es usado en la topografía moderna y en la construcción de edificios, carreteras etc. que utiliza teodolito electrónico de tránsito en combinación con un medidor electrónico de distancia (EDM) y que También está integrado con un microprocesador, un colector electrónico de datos y un sistema de almacenamiento.
 - **Prisma:** La ciencia que se encarga del estudio y análisis de la serie de procedimientos cuyo objetivo es representar gráficamente la superficie terrestre.
 - **Bastón:** Es un bastón porta prisma topográfico, el cual recibe diferentes nombres, así mismo tiene como objetivo usarse para medición, es de aluminio Nls31 telescópico de 2.5 metros.
 - **Cinta métrica:** Este instrumento topográfico es fundamental para medición. Asimismo, se trata de una cinta graduada y flexible.
- Chapas: elementos utilizados para marcar puntos importantes como lo son PI y BMs.

2.1.4 Planimetría

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

2.1.5 Altimetría

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

2.1.6 Nivelación de los puntos de la Línea Base (LB).

Se realizó a partir de una nivelación diferencial, en circuitos cerrados de ida y regreso, aplicando el principio de la nivelación de BM's.

2.1.7 Nivelación compuesta

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

2.1.8 Procedimiento y desarrollo del levantamiento topográfico

Eje central del tramo de carretera Estudio: El Eje del tramo se detalla en la planta de los planos topográficos. Este Eje está compuesto por alineamientos horizontales rectos, enlazados por alineamientos horizontales curvos. Este Eje, se encuentra seccionado partiendo del punto inicial de la Topografía (Po) y después

sucesivamente en distancias diferentes hasta llegar al punto final (PF) del Tramo en Estudio.

Tabla No.1 Resumen de estaciones del levantamiento topográfico

Ubicación del tramo:	Km. 170 Estelí – San Juan de Limay	
Coordenada Inicial (Ref. Kilometraje):	X= 559852.548	Y= 1462633.846
Ubicación del tramo (PI1):	X= 556676.744	Y= 1464921.947
Longitud del tramo:	4,500 metros lineales	

Fuente: Constructora de Obras de Ingeniería Civil (COICSA)

2.1.9 Trabajo de Campo y de Gabinete.

Para obtener los datos de campo se realizó el reconocimiento del terreno, se estableció el BM geodésico, posteriormente con una estación total TOPCON, se realizó el levantamiento tomando las coordenadas de cada punto (x, y, z) cada 20 m, iniciando el recorrido en la estación 6+650 ubicada en la comunidad El Pino III y finaliza en la comunidad San Luis, estación 11+150 (San Juan de Limay), se estableció la ubicación de los controles topográficos con fines de colocar las poligonales de apoyo, que serán utilizadas en toda la etapa operativa del desarrollo del proyecto.

El levantamiento altimétrico se referenció a veintiséis BMs Geodésicos **ver tabla No.3 (pag.12)** datos de BMs utilizados, ubicados a cada 165 m, así mismo se realizaron estacionamientos cada 20 m y se tomaron todos los accidentes que se presentaron, tales como cauces, depresiones, cunetas, alcantarillas, otras tuberías existentes, así como las secciones transversales de la vía. También se hizo una poligonal cerrada de manera de comprobación. En lugares convenientemente ubicados que garanticen su conservación, se colocaron mojones que permitan el replanteo del polígono.

2.1.10 Tipo de terreno

Su topografía es muy ondulada dado que cuenta con una pendiente natural mínima de 0.87% y una pendiente natural máxima de 12% (**Ver en Anexos Plantas de Perfil**), según el levantamiento topográfico brindado por la empresa COICSA; por lo cual el camino del proyecto consideramos clasificarlo como del tipo ondulado, de conformidad a lo que establece la siguiente tabla:

Tabla No.2 Tipos de Terreno en Función a las Pendientes Naturales

Tipo de Terreno	Rangos de pendientes (%)
Llano o Plano	$G \leq 5$
Ondulado	$5 > G \leq 15$
Montañoso	$15 > G \geq 30$

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2011, Pág. 116.

2.1.11 Elaboración de Planos.

La información del levantamiento topográfico fue utilizada para elaborar los planos finales de construcción en hojas planta - perfil los cuales muestran la línea central, límites de derecho de vía, referencias de línea central.

Tabla No.3: Bm's del tramo de estudio

Punto	Coordenadas X	Coordenadas Y	Elevacion Z (m)	Descripcion
1	559852.548	1462633.846	1329.794	BM-37
2	559705.693	1462626.909	1337.809	BM-38
3	559366.94	1462633.992	1337.668	BM-39
4	559150.562	1462692.509	1327.53	BM-40
5	559075.264	1462756.902	1316.643	BM-41
6	559164.122	1462970.953	1294.686	BM-42
7	559086.41	1463088.64	1285.684	BM-43
8	558695.287	1463219.258	1279.059	BM-44
9	558897.768	1463338.313	1273.187	BM-45
10	558869.118	1463409.872	1270.303	BM-46
11	558844.298	1463522.31	1262.875	BM-47
12	558822.566	1463858.056	1277.116	BM-48
13	558526.519	1464225.303	1288.999	BM-49
14	558081.152	1464363.196	1321.043	BM-50
15	557917.281	1464380.053	1325.595	BM-51
16	557764.121	1464440.078	1326.714	BM-52
17	557603.251	1464527.31	1310.162	BM-53
18	557530.135	1464584.081	1300.105	BM-54
19	557514.89	1464677.052	1291.428	BM-55
20	557429.161	1464703.016	1286.598	BM-56
21	557279.935	1464721.919	1268.19	BM-57
22	557179.922	1464773.695	1263.612	BM-58
23	556978.894	1464793.148	1256.649	BM-59
24	556924.806	1464869.811	1258.733	BM-60
25	556713.863	1464956.035	1249.157	BM-61
26	556676.744	1464921.947	1248.333	BM-62

Fuente: Constructora de Obras de Ingeniería Civil (COICSA)

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE SUELOS



3.1 Estudio de suelo

3.1.1 Suelo

Es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos (Meteorización).

3.1.2 Meteorización

Consiste en la alteración que experimentan las rocas en contacto con el agua, el aire y los seres vivos.

3.1.3 Las propiedades físico-mecánicas

Son características que se utilizan para la selección de los materiales, que cumplan las especificaciones de construcción y el control de calidad.

Estas propiedades de los suelos, son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento.

Para conocer las propiedades de los suelos, es necesario tomar muestras; que posteriormente en el laboratorio permiten determinar: Granulometría, Límite de Atterberg (líquido e índice plástico), Valor Soporte (CBR), Densidad (Proctor), Humedad.

Un suelo conforme a su granulometría se clasifica así:

- Grava: de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2mm)
- Arena gruesa: de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No. 40 (0.425 mm)
- Arena fina: de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz N0. 200 (0.075 mm)

- Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm.
- Las propiedades de plasticidad se analizan conforme las pruebas de límites de Atterberg, las cuales son:
 - Límite líquido o LL: Es el estado de un suelo, cuando pasa de un estado plástico a un estado semilíquido
 - Límite plástico o LP: Es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo
 - Índice plástico o IP: es la diferencia entre LL y LP, que nos indica la plasticidad del material.

En este capítulo se plasman los resultados de las investigaciones llevadas a cabo en el estudio de suelo en el proyecto de **“Diseño geométrico de 4.5 km y estructura de pavimento articulado (adoquín), por el método AASHTO-93, del tramo de carretera - Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis de la Est.6+650 a la 11+150**, el cual se encuentra localizado en el tramo de carretera Empalme El Regadío – San Juan de Limay de Estelí. Dicho estudio se realizó con el propósito de obtener las características principales del sub-suelo para realizar el diseño de estructuras de pavimento requeridas a partir de la estación 6 + 650 a la estación 11+150.

El estudio de suelo fue realizado por la alcaldía de San Juan de Limay, con apoyo de Icavielca, Laboratorio de Suelos y Materiales (Consultoría y diseños).

3.1.4 Trabajo de campo

Los sondeos tomados por el laboratorio se ubicaron de forma alterna en el centro, derecha e izquierda de la línea central y dentro de la plataforma del camino o carretera. El espaciamiento aproximado entre sondeos fue de 250 m y la profundidad máxima de exploración fue de 1.50 metro, habiéndose realizado un total de diecinueve (19) sondeos de los cuales resultaron sesenta y siete (67)

muestras representativas de las diferentes capas de materiales encontradas. (Ver en Tabla No.4).

Tabla No.4 Sondeos Efectuados

Localización	Sondeo N°	Estación
Comunidad El Pino III – Comunidad San Luis	S – 1	6+750
	S – 2	7+000
	S – 3	7+250
	S – 4	7+500
	S – 5	7+750
	S – 6	8+000
	S – 7	8+250
	S – 8	8+500
	S – 9	8+750
	S – 10	9+000
	S – 11	9+250
	S – 12	9+500
	S – 13	9+750
	S – 14	10+000
	S – 15	10+250
	S – 16	10+500
	S – 17	10+750
	S – 18	11+000
	S – 19	11+250

Fuente: Icavielca, Laboratorio de Suelos y Materiales (Consultoría y diseños).

3.1.5 Sondeos de línea

De acuerdo a los ensayos de laboratorio, se puede determinar en general, que se encontraron desde una hasta cinco capas de materiales en el rango de profundidad explorada desde la superficie hasta 1.50 m máximo.

3.1.6 Actividades de laboratorio

Las muestras obtenidas en el campo, en los sondeos de línea, fueron trasladadas al laboratorio para practicar los ensayos requeridos determinar sus propiedades físico – mecánicas, clasificar las mismas y conocer su capacidad de soporte, de

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

Tabla No.5 Ensayos de laboratorios

Tipo de Ensayo	Designación A.A.S.H.T. O
Análisis granulométrico de los suelos	T 311-00 (2004), T11-05
Clasificación Unificada	D 2487-85
Clasificación AASHTO	M 145-91 (2004)
Límite líquido de los suelos %	T 89 – 02
Límite Plástico de los suelos %	T 90 – 00 (2004)
Índice de plasticidad de los suelos %	T 90 – 00 (2004)
Pesos Unitarios (*)	T 19 – 00 (2004)
Ensayo Proctor Estándar (*)	T 180 – 01 (2004)
Densidad Máxima Kg/m ³	T 99 ó T 180
Humedad Óptima (%)	T 265-93 (2004)
Ensayo C.B.R. (%)	T 193 – 99 (2003)

Fuente: Icavielca, Laboratorio de Suelos y Materiales (Consultoría y diseños).

3.1.7 Estratigrafía del Terreno

En base al trabajo a los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, se realizó una columna estratigráfica para detallar los tipos de suelos y su profundidad. Actualmente en la parte superior tenemos la carpeta de rodamiento conformada por materiales A– 2– 4(GM) y A– 2– 6 (GC), con un espesor que varía de 0.10 metros hasta 0.30 metros. A continuación, se presentan los gráficos de las columnas estratigráficas de los sondeos in situ.

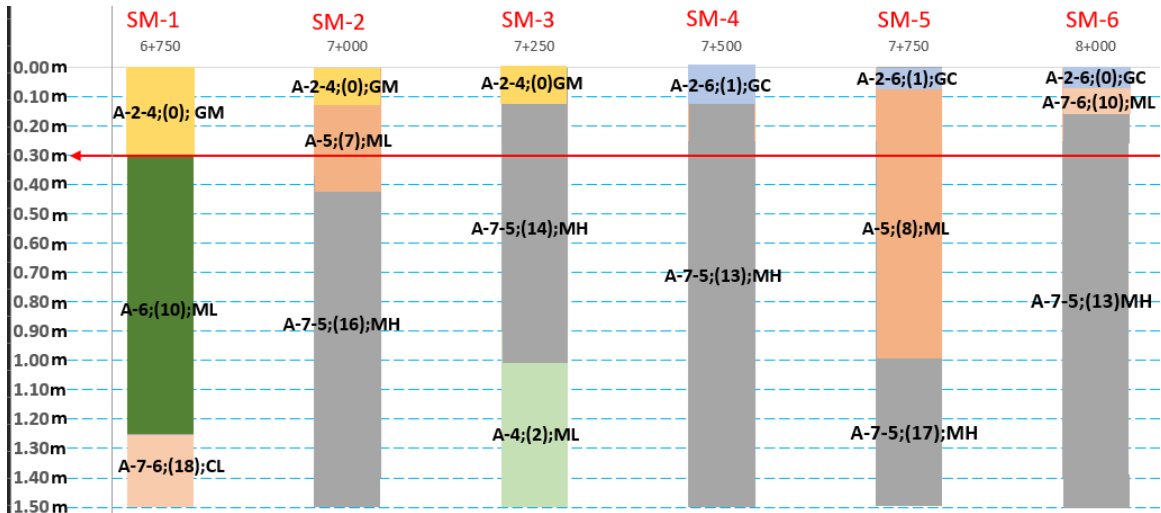
3.1.8 Identificación de la sub rasante

La sub-rasante es la capa de una carretera que soporta a la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (SIECA, 2004, pág. XVIII).

Se consideró tomar la línea de la sub-Rasante en el terreno por debajo de los 0.30

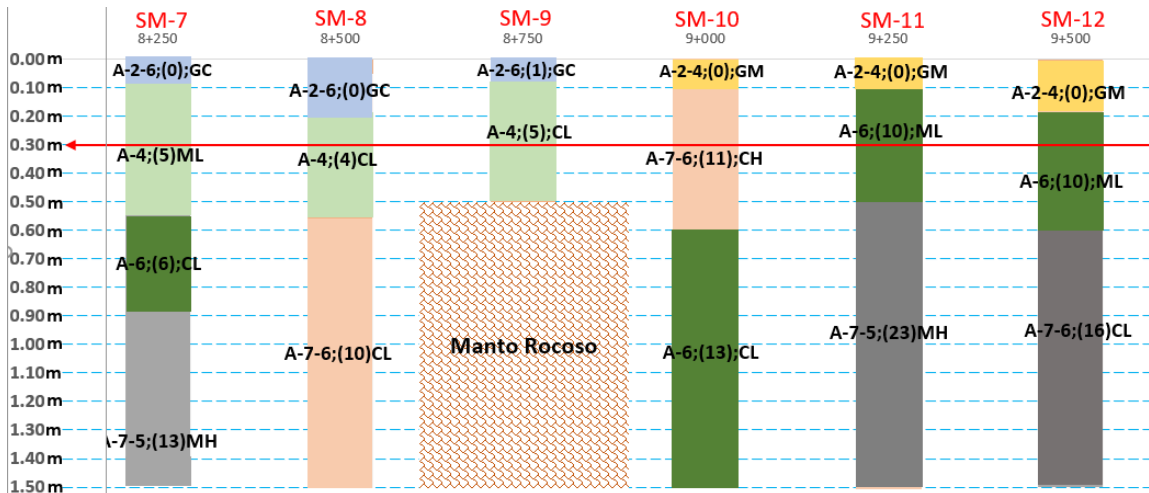
m (simbolizada con una línea roja). En las columnas estratigráficas que se presentan en las Figuras No.3,4 y 5, se muestra un ejemplo donde se trazó la línea roja para los 4.5 km de la vía.

Figura No.3: Columna estratigráfica



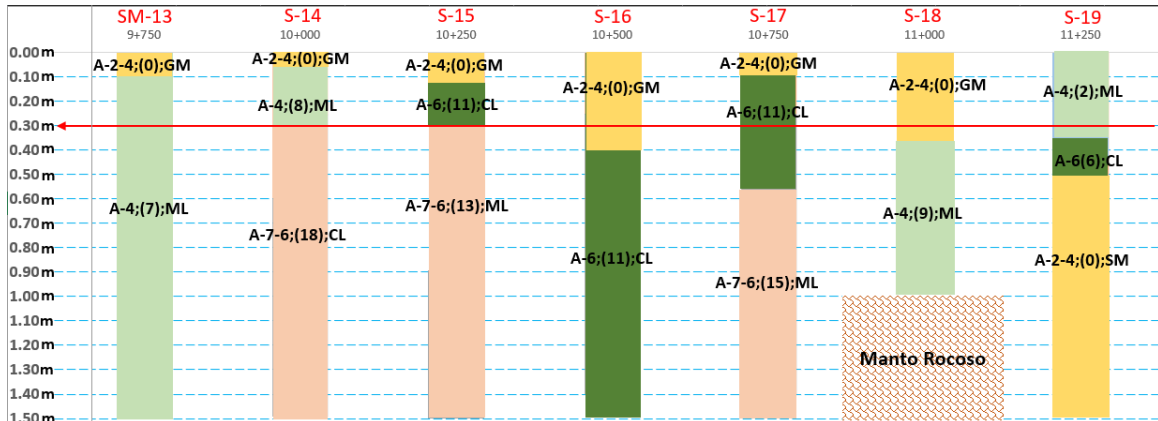
Fuente: Elaboración propia.

Figura No.4: Columna estratigráfica



Fuente: Elaboración propia.

Figura No.5: Columna estratigráfica



Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos antes mencionados de la Página 17, se observa que a partir de la estación inicial 6+750 hasta la estación 11+250 predominan materiales tipo limo-arcilloso A-7-5, seguidos de suelos granulares tipo A-2-5. En las estaciones 7+250, 7+500, 7+750 y 9+000 en su mayoría prevalecen suelos limos-arcillosos A-7-5 que van de regular a mala calidad siendo estos no aptos para Sub-rasante, debido a que los suelos encontrados en su mayoría no son aptos para la construcción se propone realizar un mejoramiento de 30 cm por debajo del nivel natural del suelo con material selecto que cumpla con las especificaciones de la NIC-2000.

3.1.9 Ensayo CBR

Los valores de CBR, fueron determinados por el laboratorio que realizó el estudio de suelos Icavielca, Laboratorio de Suelos y Materiales (Consultoría y diseños).

Se procedió a encontrar los valores de los CBR a los diferentes tipos de suelos localizados en el tramo de carretera que servirán como sub-rasante, Se eligieron los valores promedios de acuerdo a la tabla de relación aproximada de compactación al 95% de Proctor Modificado entre los valores del CBR (ver en anexo Tablas No.6 y No.7, Pág., I, II).

Los resultados emitidos por el laboratorio de suelo, presentados en las figuras No. 6 y No.7, se comprobaron, con el software del sistema de clasificación de la AASHTO, elaborado por Drewel Cruz García dando resultados idénticos en el Software por lo que se concluye que los resultados de laboratorio presentados en las tablas antes mencionadas están bien.

Figura No.6 Comprobación con el software del sistema de clasificación de la AASHTO

Sistema de Clasificación AASHTO

Pasa malla N° 10: 28

Pasa malla N° 40: 20

Pasa malla N° 200: 14

LL: Otro valor: 37.44

IP: NP Otro valor: 6.7

IG = $0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(0)(0)$

IG = 0

Tipo de Suelo A-2-4(0)

Ok Limpiar

Fuente: software del sistema de clasificación de la AASHTO

Figura No.7 Comprobación con el software del sistema de clasificación de la AASHTO

Sistema de Clasificación AASHTO

Pasa malla N° 10: 50

Pasa malla N° 40: 38

Pasa malla N° 200: 34

LL: Otro valor: 37.74

IP: NP Otro valor: 15.4

IG = $0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(19)(5.4)$

IG = 1

Tipo de Suelo A-2-6(1)

Ok Limpiar

Fuente: software del sistema de clasificación de la AASHTO

3.2 Resultados de fuente de materiales

Los trabajos geotécnicos de campo corresponden a la realización de muestreos en bancos de materiales, necesarios para la etapa de construcción del Proyecto. Para construir las capas de Base y Subbase de la carretera, el informe de Icavielca, nos presenta los siguientes datos de las Fuentes de Materiales o Bancos de Préstamos suficientes en cuanto a cantidad y calidad, tratando de estar lo más aproximados al Proyecto (**Ver en Anexo Tabla No.8, Pág. XIII.**)

3.2.1 Granulometría y Clasificación de Bancos de Materiales.

En las tablas No.9 y No.10, se presenta el resumen de la fuente o banco de materiales muestreado para este estudio, y su granulometría, en lo que se observa el CBR Proctor modificado al 95% obtenido por el laboratorio para estos bancos, siendo el resultado del banco Mal Paso un CBR de 54% y para el banco El Machete un CBR de 86%.

Tabla No.9 Granulometría del banco de material Mal Paso

Banco de materiales	C.B.R	% Que Pasa por el Tamiz										L.L.	L.P	I.P.	Clasificación	
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200				(%)	(%)
#1	95%	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	(%)	(%)	(%)	SUCS	AASHTO
Mal Paso	54	100	68	46	35	45	18	10	7	4	3	30	26	4	GM	A-2-4 (0)
Observaciones: L.L. : Límite Líquido I.P. : Índice Plástico I.G. : Índice de Grupo N.P. : Suelo No Plástico																

Fuente: Icavielca, Laboratorio de Suelos y Materiales (Consultoría y diseños).

Tabla No.10 Granulometría del banco de material El Machete

Banco de materiales	C.B.R	% Que Pasa por el Tamiz										L.L.	L.P	I.P.	Clasificación	
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200				(%)	(%)
#2	95%	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	(%)	(%)	(%)	SUCS	AASHTO
El Machete	86	100	91	75	63	54	48	39	31	22	16	22	17	5	GW	A-1-b (0)
Observaciones: L.L. : Límite Líquido I.P. : Índice Plástico I.G. : Índice de Grupo N.P. : Suelo No Plástico																

Fuente: Icavielca, Laboratorio de Suelos y Materiales (Consultoría y diseños).

3.2.2 Banco de materiales

Banco de material No.1 Mal Paso

El **Banco No. 1** se localiza en la estación 7+190, lado Izquierdo, el propietario de este banco es el Sr. **Armando Gutiérrez**. El volumen aproximado de este banco es de 81,850 m³, este banco se encuentra actualmente en uso.

Los resultados antes descritos nos indican que el material procedente del banco Mal Paso ubicado en la estación 7+190 al momento de alcanzar una compactación de 95% este obtendrá un CBR de 54.00 % en el caso de la Sub base. Según los resultados presentados en la **tabla No.9**, se puede observar que el banco de materiales tiene un Límite líquido de 30% e índice de plasticidad de 4% y la AASHTO – 93, recomienda utilizar como mínimo un CBR de 40 %, Límite líquido de 25 % y el índice de plasticidad de 6 % como máximo para la Sub-base lo que indica cumple con el CBR, pero no con LP ni el LL.

Banco de Material No. 2 El Machete

Se localiza en la estación 10+850, lado Derecho, el propietario de este banco es el Sr. **Luis Acuña**. El volumen aproximado de este banco es de 127,000 m³, este banco se encuentra actualmente en uso.

El material de este banco corresponde a una grava con limo arenoso con poca arcilla de baja plasticidad y clasificación de grupo es A-1, color marrón (**Ver en anexo Tabla No.11, Pág. III**). Tiene de 22% de Límite Líquido y cuenta con un 5% como Índice de Plasticidad, este cuenta con un CBR de 86% al momento de alcanzar una compactación del 95% por medio de la prueba Proctor modificado (AASHTO-180), según Tabla No.12 las especificaciones técnicas de la NIC-2000 sección 1003.09 (a y b),1003.23. II (b) este banco de material El machete cumple con las condiciones de CBR mínimo y el L.L máximo, pero no con el índice de plasticidad I.P

Este material de banco con su CBR de 86% puede ser utilizado según la NIC-2000 como material para rellenos, terracería y para base granular.

Figura No.8 Análisis del banco No. 1 Mal Paso, Comprobación mediante el software del sistema de clasificación de la AASHTO.

Sistema de Clasificación AASHTO

Pasa malla N° 10: 7

Pasa malla N° 40: 4

Pasa malla N° 200: 3

LL: Otro valor: 30

IP: NP Otro valor: 4

IG = $0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(0)(0)$

IG = 0

Tipo de Suelo A-2-4(0)

Elaborado Por: Drewell Cruz Garcia

Fuente: software del sistema de clasificación de la AASHTO

Figura No.9 Análisis del banco No. 2 El Machete, Comprobación mediante el software del sistema de clasificación de la AASHTO.

Sistema de Clasificación AASHTO

Pasa malla N° 10: 31

Pasa malla N° 40: 22

Pasa malla N° 200: 16

LL: Otro valor: 22

IP: NP Otro valor: 5

IG = $0.2(0) + 0.005(0)(0) + 0.01(1)(0)$

IG = 0

Tipo de Suelo A-1-b(0)

Elaborado Por: Drewell Cruz Garcia

Fuente: software del sistema de clasificación de la AASHTO

3.3 Especificaciones técnicas de las diferentes capas que constituyen la estructura de pavimento

3.3.1 Superficie de rodamiento

La superficie de rodamiento consistirá de una estructura semi-flexible compuesta de unidades de adoquín. La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser lavada, dura y uniforme y no deberá contener más del 3% de limo y/o arcilla en peso; su granulometría será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido por el tamiz No.10

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.

El adoquín a utilizarse será denominado tipo tráfico cuya resistencia característica a los 28 días no deberá ser menor de (3500 PSI).

3.3.2 Base

La base estará constituida por agregados seleccionados, compuestos preferiblemente de grava o de agregados triturados. La base se deberá colocar en una capa y compactarse a un mínimo de 95% Proctor Modificado (ASTM D 1557). El material usado como base deberá satisfacer los siguientes requisitos:

Tabla No.12 Especificaciones de materiales para base granular

N°	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
3	CBR	80% min.	AASHTO-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado (AASHTO-180)	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (b).

3.3.3 Sub – base

Esta deberá ser colocada sobre la terracería en una capa compactada hasta alcanzar el 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo (ASTM D 1557). El material a utilizarse como capa de sub-base deberá cumplir con los requisitos siguientes:

Tabla No.13: Especificaciones de materiales para sub-base

N°	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
3	CBR	40% min	AASHTO-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 1003. 09 (a y b), 1003. 23. II (a).

De acuerdo a la **Tabla No.13 (Criterio de la Nic 2000)** el banco de préstamo **N°1 Mal Paso**, puede ser utilizado como fuente de material para la capa subbase, debido a que su CBR (**54%**) es mayor a 40%, que es el mínimo permitido por la Nic 2000.

De acuerdo con la **Tabla No.12 (Criterio de la Nic 2000)**, el banco de préstamo N°2 El Machete, se puede utilizar como fuente de material para, relleno, para sub - base y para la capa base, debido a que su CBR (**86%**) es mayor al mínimo requerido (80%).

Tabla No.14: Requisitos que debe cumplir cada Banco.

Prueba	Requerimiento mínimo NIC-2000	Banco N.º 1	Valoración	Banco N.º 2	Valoración
Graduación	Cuadro 1003.10	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Desgaste Los Ángeles	Máx. 50%	29.50%	Cumple	30.1%	Cumple
Índice de plasticidad	Máx. 10%	4%	Cumple	5%	Cumple
Para SUBBASE CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación	Min. 40%	54%	Cumple	86%	Cumple
Para BASE CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación	Min. 80%	54%	No Cumple	86%	Cumple

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000.

3.3.4 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 corresponde al tránsito previsto.

Tabla No.15 Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante

N°	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodología
1	% de malla No. 200	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-11
2	Límite Líquido	40 % máx.	30% máx.	AASHTO-89
3	Índice Plástico	15% máx.	10% máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10% min	20% min.	AASHTO T-193
5	Compactación	95 % min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado (AASHTO-99)	95% min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado (AASHTO-T-180)	AASHTO-T-191 Y/O T- 238 (In Situ)

Fuente: Especificaciones NIC-2000 Sección 203. 11 (b), 1003. 21, 1003. 24 (g)

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE TRANSITO



4.1 Introducción.

En todo estudio de tránsito se debe de llegar a obtener el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), como variable principal para diseño y proyecciones a futuro, a partir de censos o conteos de tránsito en el lugar de la futura construcción (si existe la ruta o va ser pavimentada o repavimentada) o si es totalmente nueva mediante censos de tránsito en lugares próximos. También es necesario conocer las tasas de crecimiento de tránsito, así como la distribución por dirección y si se trata de un camino de varios carriles, la distribución por carril.

4.2 Metodología.

En este capítulo se realiza la proyección del tránsito actual de la vía, obtenido mediante un aforo vehicular, el cual se proyecta para 20 años. Tomando en cuenta que el tránsito es uno de los aspectos más significativos a considerar para el diseño de pavimentos y es a su vez una de las variables que presenta mayor incertidumbre al momento de estimarse, por lo tanto, se debe de contar con la información más precisa posible del tránsito para realizar el diseño, y obtener resultados confiables.

Este estudio de tránsito se divide en tres etapas claramente definidas:

4.2.1 Recopilación de Datos: Se realizó por medio de conteo vehicular, que consiste en medir el volumen de tránsito que transita durante un período de tiempo equivalente a 12 horas. La recolección de datos se realizó durante 7 días, una semana, en las fechas del 23 al 29 de Julio del 2020 (jueves a miércoles) (**Ver en anexos figuras No.10,11,12,13,14,15,16 Pag, IV, V, VI, VII**). a fin de evaluar las condiciones de los tránsitos normales.

4.2.2 Procesamiento de Datos: Fue la etapa de trabajo de gabinete en la cual se aplicaron los diferentes métodos para obtener los mejores resultados, basándonos para esto en la Revista Anuario de Tránsito del Ministerio de Transporte (MTI, 2018).

4.2.3 Análisis de la información Obtenida: En este proceso se usó los criterios para comprender de una mejor manera los resultados obtenidos.

A continuación, se presentarán en la Tabla No.16, los resultados obtenidos mediante el aforo vehicular semanal por 12 horas diarias en la zona de estudio.

Tabla No.16 Resultados de aforo vehicular de 12 hora.

Tramo: Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis Ubicación : Est 6+650 - 11+150								Fecha: Jueve 23 a Miercoles 29 de Julio 2020 Sentido: Comunidad Pino III - Comunidad Sn Luis Comunidad Sn Luis - Comunidad Pino III				
Dias	Vehiculos de pasajeros							Pesados de Carga				Total Veh / 12hrs
	Moto	Automoviles	Jeeps	Camionetas	Microbus < 15 Personas	Mini. Bus (15 - 30 Personas)	Bus(> 30 Personas)	C2 (2-5 Ton)	C2 (> 5 Ton)	C3	Tx-Sx>5	
Jueves	75	31	10	48	3	2	7	16	6	11	2	211
Viernes	72	34	8	57	1	0	10	8	3	7	2	202
Sabado	58	43	15	50	1	0	6	7	8	4	0	192
Domingo	60	24	9	35	0	3	8	6	2	3	0	150
Lunes	92	32	13	51	2	0	10	15	8	7	3	233
Martes	80	34	7	55	0	1	7	8	6	5	1	204
Miercoles	65	66	14	39	2	0	8	12	4	6	2	185
Total / Veh	502	231	76	335	9	6	56	72	37	43	10	1377
TOTAL	1215							162				1377
TPDi _{12 HRS}	72	33	11	48	1	1	8	10	5	6	1	
Veh/12 hrs, % por tipo	36.46	16.78	5.52	24.33	0.65	0.44	4.07	5.23	2.69	3.12	0.73	100.00
	84.17							15.83				0.73
	% Vehiculos Livianos							% Vehiculos Pesados				% Vehiculos Carga

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Estación de mayor cobertura correspondiente a la ECD- 2402

Entre las 11 estaciones de mayor cobertura existentes en Nicaragua, la estación a utilizar en este caso es la del tramo “Chinandega - Ranchería” (**EMC 2400**), debido a que posee mayor similitud en los porcentajes de vehículos livianos, y pesados la cual brindará los factores de ajustes diarios, semanales y de expansión correspondientes para la cuantificación del TPDA, dicha estación está compuesta por 10 estaciones de corta duración.

Tabla No.17 Porcentaje vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura

EST.	NOMBRE DEL TRAMO	TPDA	Total Pesados	Σ Tx-Sx y Cx-Rx	% de Livianos	% de Pesados	% Tx-Sx y Cx Rx Vehiculos de carga
101B	Zona Franca - La Garita	25,219	5,644	886	77.5%	22.4%	15.7%
1205	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega	10,931	2,539	859	76.1%	23.2%	33.8%
401	Masaya - Granada	10,359	1,294	115	87.4%	12.5%	8.9%
1802	San Marcos - Masatepe	9,499	942	93	90.0%	9.9%	9.9%
200	Entrada al INCAE - El Crucero	8,918	1,565	473	82.3%	17.6%	30.2%
107	Sébaco - Emp. San Isidro	7,578	1,752	404	76.6%	23.1%	23.1%
300	Sébaco - Quebrada Honda	6,167	1,427	175	76.6%	23.1%	12.3%
2803	Nagarote - La Paz Centro	5,912	2,056	917	64.8%	34.8%	44.6%
2404	Chinandega - Corinto	4,658	1,428	853	69.0%	30.7%	59.7%
2400	Chinandega (Rotonda) - Ranchería	4,145	689	124	82.2%	16.6%	18.0%
700	Emp. Camoapa - Tecolostote	3,332	1,212	266	63.4%	36.4%	21.9%

Fuente: Anuario de aforos de tráfico 2018. MTI pág.14 PDF

4.3.1 Selección de estación de corta duración asociada al flujo vehicular que circula por las Comunidades El Pino III – Comunidad San Luis.

La estación de corta duración ECD “Villa 15 de Julio – Empalme Villanueva” fue utilizada debido a que es la estación más cercana geográficamente al tramo en estudio.

Tabla No.18 Dependencia de estaciones (Chinandega - Ranchería)

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
2400 Chinandega - Ranchería	NIC-22	2201	ECD	Ent. A León Viejo (Nic-28) - Emp. Puerto Momotombo
	NIC-22	2202	ECS	Emp. Puerto Momotombo - Malpaisillo - Inter NIC-26
	NIC-22	2612	ECD	Rotonda Malpaisillo - Las Marias
	NIC-22	2613	ECD	Las Marias - Puente Mokoron
	NIC-22	2614	ECD	Puente Mokoron-Villa 15 de Julio
	NIC-24B	2402	ECD	Villa 15 de Julio - Emp. Villanueva
	NIC-24B	2406	ECD	Emp. Villanueva - Somotillo
	NIC-24B	2403	ECD	Somotillo - El Guasaule
	NIC-28	2801	ECD	La Paz Centro - Emp. Izapa
	NN-277	2411	ECD	Emp. Paso Caballo - Paso Caballo
	NN-303	735	ECD	Carlos Fonseca - Emp. Kukrahills

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2018. MTI pág. 97 PDF

La estación escogida cuenta con un flujo vehicular que sobrepasa los 300 vehículos por día, esta se muestra en la figura No.17

Figura No.17 Estación de corta duración asociada al tráfico que circula por la zona en estudio

MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA



DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION

DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL

OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS

TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTORICO POR TIPO DE VEHICULO

AÑO 2018

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 p85.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Totl	C2 5 + Totl	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA	
167	NIC-24B	2402	ECD	Villa 15 de Julio - Emp.Villanueva	Chinandega	2017	407	188	90	492	113	4	121	134	83	26		476			6	1	27	2,168	
						2012	195	134	102	364	115	5	142	104	72	20		609			1	3	28	1,894	
						2010	135	77	86	252	66	1	120	85	44	12	1	464					10	1,354	
						2009	109	124	79	320	48	25	120	107	75	21		422			1	1	8	1,459	
						2006	26	81	67	246	41		100	45	80	11	28	359				2	12	1,099	
						2002	50	62	71	215	69	15	114	37	76	18	0	340				4	9	1,079	
						1999	23	71	92	315	100		105	75	147	53	0	343			0	8	0	13	1,347
						1997	30	61	58	217	15	2	106	27	88	11	1	232				15	20	883	
						1996	25	63	63	198	2	22	88	28	79	10		185				15	8	786	
EMC: 2400																									
Tasa Crecimiento:						6.44%	2018	433	200	96	524	120	4	129	143	88	28		507			6	1	29	2,308

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2018. MTI pág. 160 PDF.

4.3.2 Factores de ajustes para cuantificar TPDA

Los factores seleccionados en la estación de mayor cobertura (EMC), fueron los correspondientes al segundo cuatrimestre, comprendidos entre los meses de Mayo – Agosto del año 2018, esto debido a que el aforo realizado para la zona de estudio se efectuó del 23 al 29 de Julio del año 2020.

**Figura No.18 Factores 2do cuatrimestre del año 2018 (EMC-2400)
Chinandega - Ranchería.**



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

ESTACION DE MAYOR COBERTURA 2400
ROTONDA CHINANDEGA - RANCHERÍA
FACTORES - 2018



Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micrn Bus	Mini Bus	Bus	I iv. 2-5 t.	C2	C3	Tx- Sx<=4	Tx- Sx>5	Cx- Rx<4	Cx- Rx>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.30	1.23	1.23	1.23	1.19	1.40	1.27	1.23	1.26	1.33	1.00	1.39	1.00	1.00	1.07	1.00	1.17
Factor Semana	1.04	1.03	0.98	0.94	1.00	1.19	0.93	0.91	0.88	0.91	1.00	0.94	1.00	1.00	0.81	1.00	1.01
Factor Fin de Semana	0.91	0.93	1.05	1.20	1.01	0.71	1.21	1.30	1.49	1.33	1.00	1.18	1.00	1.00	2.32	1.00	0.97
Factor Expansión a TPDA	0.87	0.95	0.94	0.97	1.00	0.77	1.03	1.01	0.87	1.57	1.00	1.01	1.00	1.00	0.61	1.00	0.68

Fuente: Anuario de Aforos de tránsito, año 2018. Pág. 390.

4.3.3 Cálculo del TPDA

Para cuantificar el tránsito promedio diario anual es necesario hacer uso de los factores de ajustes proporcionados por la **(EMC – 2400)** Chinandega - Ranchería, que de tal manera proporcione un TPDA a la Comunidad San Luis **(Ver anexo figura No.19 Pag, VIII)** Este puede ser calculado mediante la ecuación No.1

$$TPDA = TPDi_{12H} * FD * FS * FE \quad \text{Ecuación No. 1}$$

Donde:

TPDi_{12H}: Transito Promedio Diurno 12 horas

FD: Factor Dia

FS: Factor Semana

FE: Factor Expansión (Expansión a TPDA)

En nuestro caso debido a que el aforo vehicular fue realizado durante 7 días consecutivos, solo se tomaran en cuenta dos factores los cuales corresponden al factor día (FD) y el factor expansión (FE).

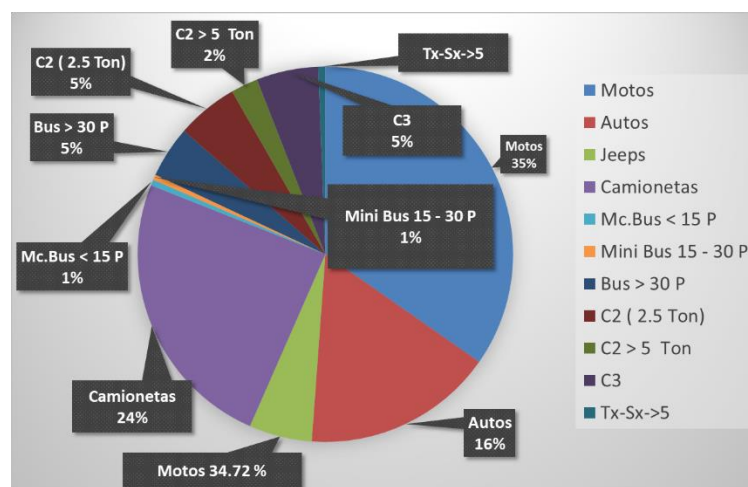
Tabla No.19 Cálculo del TPDA, aplicando los factores de ajustes de la EMC-2400 Chinandega – Ranchería.

Descripcion	Transito Promedio Diario Anual (TPDA 2020)											
	Tramo : Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis											
	Vehiculos Livianos						Pesados de Carga					Total
Motos	Autos	Jeeps	Camionetas	Mc.Bus < 15 P	Mini Bus 15 - 30 P	Bus > 30 P	C2 (2.5 Ton)	C2 > 5 Ton	C3	Tx-Sx->5		
TPDis	72	33	11	48	1	1	8	10	5	6	1	196.00
Factor Dia	1.3	1.23	1.23	1.23	1.19	1.4	1.27	1.23	1.26	1.33	1.39	
TPD (24 hrs)	93.6	40.59	13.53	59.04	1.19	1.4	10.16	12.3	6.3	7.98	1.39	
Factor Expansion	0.87	0.95	0.94	0.97	1	0.77	1.03	1.01	0.87	1.57	1.01	
TPDA	81	39	13	57	1	1	10	12	5	13	1	235
% TPDA	34.72	16.44	5.42	24.42	0.51	0.46	4.46	5.30	2.34	5.34	0.60	100
% TPDA Veh. Livianos	81.96						% TPDA Veh. Pesados					18.04

Fuente: Elaboración propia

El TPDA calculado para la comunidad es de 235 veh/día una vez conocido el TPDA del sitio en estudio, se determina el porcentaje de vehículos de pasajeros, y vehículos de carga que circulan por él, como se puede observar en la figura No.20 mostrados a continuación, los vehículos de pasajeros están compuestos por automóviles, jeep, camionetas, y microbús < 15 ,mini bus 15 a 30 Pasajeros el cual le corresponde un **81.96 %**, en el caso de los vehículos de carga están constituido por bus > 30 pasajeros ,C2 de 2-5 ton y C2 > 5 ton y C3 con un **18.04%**, dando como resultado un 100%.

Figura No.20 Porcentaje de vehículos que circula por la Comunidad El Pino III – Comunidad San Luis, tipología vehicular.



Fuente: Elaboración propia

4.4 Proyección de Tránsito

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

4.5 Crecimiento vehicular

4.5.1 Tasa de crecimiento

Una forma de proyectar el tráfico es con la ecuación No.2, cabe mencionar que, para hacer uso de este método, es necesario conocer previamente el TPDA de la zona.

Para determinar la tasa de crecimiento vehicular aplicamos la siguiente ecuación.

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100 \quad \text{Ecuación No.2}$$

Donde:

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDA_i: Tránsito promedio diario actual.

TPDA_o: Tránsito promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

La estación de corta duración, CD No. 2402 Villa 15 de Julio – Empalme Villanueva adecuada a la zona sirve para ver el comportamiento vehicular con respecto a los años, ver figura No.21 y tabla No.20, para visualizar datos históricos:

Figura No.21 Datos históricos de TPDA tramo Villa 15 de Julio – Empalme Villanueva.



MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION
DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL
OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS
TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTORICO POR TIPO DE VEHICULO
AÑO 2018

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MiBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-8 Torr	C2 9 + Torr	C3	Tx-Sx <= 4s	Tx-Sx >= 5s	Cx-Rx <= 4s	Cx-Rx >= 5s	V.A	V.C	Otros	TPDA		
167	NIC-24B	2402	ECD	Villa 15 de Julio - Emp. Villanueva	Chiriquí	2017	407	188	90	492	113	4	121	134	83	26		476			6	1	27	2,168		
						2012	195	134	102	364	115	5	142	104	72	20		609		1	3		28	1,894		
						2010	135	77	86	252	66	1	120	85	44	12	1	464					10	1,354		
						2009	109	124	79	320	48	25	120	107	75	21		422		1	1		8	1,459		
						2006	26	81	67	246	41		100	45	80	11	28	359					12	1,099		
						2002	50	62	71	215	69	15	114	37	76	18	0	340				4	9	1,079		
						1999	23	71	92	315	100		105	75	147	53	0	343		0	8	0	13	1,347		
						1997	30	61	58	217	15	2	106	27	88	11	1	232				15	20	883		
						1996	25	63	63	198	2	22	88	28	79	10		185				15	8	786		
						EMC: 2400																				
						Tasa Crecimiento:	6.44%	2018	433	200	96	524	120	4	129	143	88	28	507			6	1	29	2,308	

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2018. MTI pág. 160 PDF.

Para el comportamiento vehicular tomamos en cuenta el tránsito de la estación de corta duración (ECD N° 2402), cubierta por el MTI.

Tabla No.20 Datos históricos TPDA tramo “Villa 15 de Julio – Empalme Villanueva.

DATOS HISTORICOS DEL TPDA TRAMO VILLA 15 DE JULIO - EMPALME VILLANUEVA											
AÑO	1996	1997	1999	2002	2006	2009	2010	2012	2017	2018	TC
TPDA	786	883	1347	1079	1099	1459	1354	1894	2168	2308	6.46

Fuente: Anuario de Aforos de Tránsito 2018. MTI pág. 160 PDF

Aplicando la ecuación No.3 para comprobar la tasa de crecimiento vehicular del 2017 al 2018, se puede observar que en este periodo de 2 años se obtiene una tasa de crecimiento de 6.46% siendo esta la tasa actual como se logra apreciar en los datos históricos del año 2018.

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100 \text{ Ecuación No.3}$$

$$TC = \left[\left(\frac{2,308}{2,168} \right)^{\frac{1}{1}} - 1 \right] * 100$$

TC= 6.46%

4.5.2 Tasa de crecimiento vehicular aplicando la media geométrica.

Con el fin de ponderar el resultado final se hará uso de la media geométrica considerando todos los TPDA históricos escogidos de la estación de corta duración (Ver anexo figura No.22 Pág, VIII) No. 2402, código: NIC-24B, tramo “Villa 15 de Julio – Empalme Villanueva”, se calculan las diferentes TC con la ecuación No. 3:

Cálculo de TC para el periodo comprendido de 1996-1997:

$$TC_n = \left[\left(\frac{883}{786} \right)^{\frac{1}{1}} - 1 \right] * 100 = 12.34\%$$

La tasa de crecimiento obtenida entre el periodo 1996-1997 es de TC= 12.34%, de esta manera se calculará para cada uno de los periodos siguientes, ver tabla No.21:

Tabla No.21 Tasa de crecimiento a diferentes periodos de ECD tramo Villa 15 de Julio- Empalme Villanueva.

TASA DE CRECIMIENTO	
Periodo	TCn %
1996-1997	12.34
1997-1999	23.51
1999-2002	-7.13
2002-2006	0.46
2006-2009	9.91
2009-2010	-7.2
2010-2012	18.27
2012-2017	2.74
2017-2018	6.46

Fuente: Elaboración propia

Teniendo todas las Tasas de crecimiento para cada una de los periodos, se calcula la tasa de crecimiento final aplicando la media geométrica mediante la ecuación No. 4:

$$Tf = [(TC_1 * TC_2 * TC_3 * ... * TC_n)]^{1/n} - 1 \quad \text{Ecuación No. 4}$$

Donde:

Tf: Tasa de crecimiento final.

TCn: Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica.

n: Cantidad de tasas de crecimiento.

$$Tf = ([12.34 * 23.51 * 0.46 * 9.91 * 18.27 * 2.74 * 6.46])^{1/7} - 1 = 5.37\%$$

Obteniéndose una tasa final de 5.37%, entre el periodo comprendido del 1999-2018.

4.6 Crecimiento poblacional

Es el incremento poblacional en una zona específica, la cual se cuantifica por la natalidad en unidad de tiempo, indicando el crecimiento y/o decrecimiento de la población. El instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) analizó datos de tasas de crecimiento departamento de Estelí comprendido de 1971 al 2005, tomándose como base el censo poblacional del año 2005, el cual fue proyectado al 30 de junio de cada año hasta llegar al año 2020, con el fin de obtener la tasa de crecimiento (TC) del departamento de Estelí (**Ver en anexo figura No.23, Pág. XI**).

Tabla No.22 Proyección de población en el municipio de Estelí según INIDE

Proyecciones de población al 30 de junio por año calendario, sexo y tasa de crecimiento.			
Tasa de crecimiento por municipio y año	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
Estelí			
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	125,661	59,560	66,101
2019	126,006	59,727	66,279
2020	126,457	59,891	66,566
Tasa de Crecimiento			
2005-2010	0.50%	0.40%	0.60%
2010-2015	0.30%	0.30%	0.30%
2015-2020	0.30%	0.30%	0.40%

Fuente: Estelí en cifras. INIDE, Proyección de población municipal 2005-2020 revisión 2008. Cap. VII. Pág. 64.

Según el instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), se obtuvo una tasa de crecimiento poblacional de **0.30%** correspondiente al periodo 2015-2020 para el municipio de Estelí.

4.7 Producto Interno Bruto (PIB)

Uno de los indicadores macroeconómicos más determinantes en el desarrollo del TPDA es el producto interno bruto (PIB). Esta variable es el valor de todos los bienes y servicios finales producidas dentro de una nación en un período.

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró la tabla No.23 con los datos históricos existentes del PIB de los últimos 13 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2006 al año 2018. El PIB

promedio es de 149,626 millones de córdobas, con una tasa de crecimiento promedio de 3.53 %. **(Ver en anexo figura No.24,25 Pág. IX, X).**

Tabla No.23 PIB en millones de córdobas y su TC por año periodo comprendido del 2006-2018

DATOS REALES PRODUCTO INTERNO BRUTO (2006-2018)		
Datos Históricos PIB		
Año	PIB(millones de cordobas)	Crecimiento (%)
2006	118,837.1	
2007	124,870.3	5.08%
2008	129,160.5	3.44%
2009	124,907.7	-3.29%
2010	130,416.3	4.41%
2011	138,654.2	6.32%
2012	147,661.4	6.50%
2013	154,936.8	4.93%
2014	162,351.3	4.79%
2015	170,131.7	4.79%
2016	177,894.6	4.56%
2017	186,212.4	4.68%
2018	179,107	-3.82%
PIB Promedio (2006-2018)		149626
Tasa Crecimiento Promedio		3.53%

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

4.8 Análisis de tasas de crecimiento

Obteniendo las tasas de crecimiento promedio del TPDA, POB y PIB a partir de las series de datos históricos se procedió a promediar las 3 tasas antes mencionadas obteniendo de esta manera la tasa de crecimiento promedio de los resultados de los indicadores de crecimiento para encontrar la tasa de crecimiento vehicular que se utilizará para las proyecciones del tránsito como se muestra en la tabla No.24.

Tabla No.24: Promedio del PIB, TPDA Y POB

Tasas de crecimiento		
PIB	TPDA	POB
3.53%	5.37%	0.30%
Promedio: 3.07%		

Fuente: Elaboración propia.

La tasa de crecimiento propuesta será de 3.07% para la proyección del tránsito es en base al resultado del promedio de las tres variables.

4.9 Periodo de diseño

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

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

Tabla No.25 Periodo de diseño, según el tipo de carretera

TIPO DE CARRETERA	PERIODO DE DISEÑO
Autopista Regional	20 - 40 Años
Troncales Sub-urbanas	15 - 30 Años
Troncales Rurales	
Colectoras Sub-urbanas	10 - 20 Años
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual centroamericano de normas, para el diseño de carreteras Regionales, SIECA 2001.

4.10 Factor direccional (FD)

El factor direccional es el factor del total del flujo vehicular censado; generalmente su valor es de 0.5, ya que la mitad de los vehículos va en una dirección; y la otra mitad va en otra.

Tabla No.26 Factor de distribución por dirección (FD)

Número de carriles en ambas direcciones	FD %
2	50=0.5
4	45=0.45
6 o más	40=0.4

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2004.

Considerando la condición ideal para vías de dos carriles en ambas direcciones; asignamos el valor de **0.5** para el tramo en estudio.

4.11 Factor Distribución carril (FC')

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

Tabla No.27 Factor de distribución por carril

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2004

4.12 Factor de crecimiento (FC)

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

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

Ecuación No.5

Dónde:

FC: Factor de crecimiento.

i: Tasa de crecimiento del tránsito (%). = 3.07 % = 0.0307

n: Período de diseño (años). n= 20 años

$$FC = \frac{((1+0.0307)^{20} - 1)}{0.0307} \times 365 \quad FC = 9877.82099$$

$$FC=9,877.82$$

4.13 Tránsito proyectado en el año n

Es el TPDA proyectado hacia el año n. Para calcularlo es necesario conocer el tránsito inicial, la tasa de crecimiento anual y el periodo de diseño. Siendo el tránsito inicial el del año 2020, la tasa de crecimiento de 3.07% = 0.0307 y el periodo de diseño de 20 años.

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

Ecuación No.6

Dónde:

T_n = Tránsito proyectado al año n

T_o = Tránsito inicial en el año n

i = Tasa de crecimiento anual en %

Tabla No.28 Proyección del tránsito al año 2040

TIPO DE VEHICULO	TPDA 2020	TASA DE CRECIMIENTO	n	TPDA PROYECTADO 2040
MOTO	81	0.0307	20	148
AUTOMOVILES	39	0.0307	20	71
JEEP	13	0.0307	20	24
CAMIONETAS	57	0.0307	20	104
MICROBUS < 15 PAS	1	0.0307	20	2
MINIBUS 15-30 PAS	1	0.0307	20	2
BUS >30 PAS	10	0.0307	20	18
Veh. Liv de Carga 2-5 TON	12	0.0307	20	22
C2 > 5 TON	5	0.0307	20	9
C3	13	0.0307	20	24
TX-SX>5	1	0.0307	20	2
TOTAL				427

Fuente: Elaboración propia.

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

4.13.1 Tránsito de diseño

$$TD = TPDA_o * FC * FD * Fc'$$

Ecuación No.7

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

Dónde:

TPDA0: Tránsito Promedio Diario Anual del año cero.

FC: Factor de crecimiento.

FD: Factor de distribución por dirección.

FC': Factor de distribución por carril.

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

A continuación, se calculará el tránsito de diseño de moto, siendo este:

$TD_{moto} = 81 \times 9877.82 \times 0.5 \times 1 = 400,052.00$ se realizará consecutivamente con cada tipo de vehículo, en la siguiente tabla, **Tabla No.29** Se representará el resumen de tránsito de diseño por tipo de vehículo.

Tabla No.29 Tránsito de diseño para el año 2040 en el tramo: Comunidad El Pino III – Comunidad San Luis

<i>Transito de carril de diseño para el cálculo del ESAL'S</i>					
<i>Tipo de vehiculos</i>	<i>Transito Actual (2020)</i>	<i>F.C.</i>	<i>Factor por carril(Fc)</i>	<i>Factor de Dirección (Fs)</i>	<i>Transito para el carril de diseño</i>
MOTO	81	9,877.82	0.50	1.00	400,051.71
AUTOMOVILES	39	9,877.82	0.50	1.00	192,617.49
JEEP	13	9,877.82	0.50	1.00	64,205.83
CAMIONETAS	57	9,877.82	0.50	1.00	281,517.87
MICRO BUS < 15 P	1	9,877.82	0.50	1.00	4,938.91
MINI. BUS 15-30 P	1	9,877.82	0.50	1.00	4,938.91
BUS > 30 P	10	9,877.82	0.50	1.00	49,389.10
C2 - LIV 2-5 ton	12	9,877.82	0.50	1.00	59,266.92
C2 > 5 ton	5	9,877.82	0.50	1.00	24,694.55
C3	13	9,877.82	0.50	1.00	64,205.83
T3-S3	1	9,877.82	0.50	1.00	4,938.91
<i>Total</i>					<i>1,150,766</i>

Fuente: Elaboración propia

En este cuadro se muestra el tránsito para el carril de diseño, el cual corresponde a 1,150,766.00 Vehículos proyectados para el periodo de 20 años

CAPÍTULO V

DISEÑO GEOMETRICO



5.1 Introducción

El diseño geométrico de carreteras es la técnica de ingeniería civil que consiste en situar el trazado de una carretera o calle en el terreno. Los condicionantes para situar una carretera sobre la superficie son muchos, entre ellos la topografía del terreno, la geología, el medio ambiente, la hidrología o factores sociales y urbanísticos.

Generalmente el diseño geométrico se lleva a cabo mediante un proceso de diseño iterativo, donde se va construyendo la geometría de la carretera a través de un modelo espacial que continuamente se evalúa, según todas las condiciones y objetivos del diseño, para proceder a introducir modificaciones continuas en el mismo, buscando la optimización de la realidad física y funcional final.

5.2 Topografía

En el estudio y elaboración de cualquier proyecto de ingeniería que tengan como asiento la superficie de la tierra, es necesario el uso de la topografía en la elaboración del área destinada para la obra. Las características del terreno son la guía del diseñador, para la mejor distribución y ubicación, en sus aspectos funcionales.

En la geometrización del proyecto, donde se vinculan en forma analítica, los diferentes ejes de simetría de la obra, entre sí mismo y con elementos fijos del terreno, (puntos permanentes) con fines de su posterior replanteo.

La topografía se deriva 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.

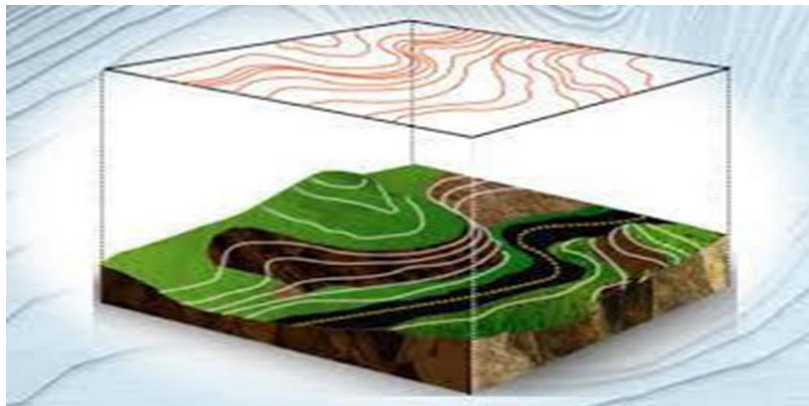
5.2.1 Levantamiento topográfico

El tramo en estudio tiene una longitud de 4.5 km, el levantamiento fue realizado en 5 días, obteniendo los datos necesarios para conocer las condiciones geográficas que se encuentra dicho camino, Se ejecutó con la ayuda de una estación total Top-Con, bastones, primas y pintura en aerosol.

5.3 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 cálculos obtenidos de curvas de nivel, perfil longitudinal y el seccionamiento transversal fueron obtenidos mediante el software AutoCAD Civil3D, se realizaron las curvas de nivel, el alineamiento horizontal, perfil longitudinal y secciones transversales, todos estos son elementales para el diseño geométrico de nuestro pavimento flexible.

Figura No.26 Representación de la vista planimétrica



Fuente: Curvas de Nivel. Ing Víctor Firmenich. Cat. Topografía. F.

En el tramo de estudio se emplearon los siguientes detalles recopilados en el Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA) las cuales son:

5.4 Tasa de Sobre Elevación o Peralte.

La sobreelevación o peralte, siempre se necesita cuando un vehículo viaja en una curva cerrada a una velocidad determinada, para contrarrestar las fuerzas centrífugas y el efecto adverso de la fricción que se produce entre la llanta y el pavimento.

En esta elección de la sobre elevación o peralte se hizo referencia al manual SIECA 2011 Pág. No. 70, donde considera la tasa máxima de 10% en áreas rurales montañosas siempre que no exista nieve o hielo, también 12% puede utilizarse en algunos casos, generalmente, 8% es reconocido generalmente como valor máximo razonable.

5.5 Clasificación de la carretera

El trazo de la carretera se inicia en la Comunidad El Pino III y termina en la Comunidad San Luis. El TPDA para diseño se ubica entre los 3,000 y 500 vehículos promedio diario. La carretera se clasifica según SIECA como Colectora Rural debido a que se determinó en el estudio de tránsito **capítulo III, pág.41 Tabla No.28**, un TPDA proyectado a 20 años, con un resultado de 427 vpd.

A continuación, se presenta en la **tabla No.30, pag.46**, los criterios de diseño que corresponde a una colectora rural.

Tabla No.30: Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales

No	DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES	TRONCALES			COLECTORAS	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales	
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500	
2	VHD, vehículos por hora	>2,000	2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75	
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85	
4	Vehículo de Diseño	WB-20	WB-20	WB-20	WB-15	WB15	
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M	
6	Velocidad de Diseño o Directriz, km/hora	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50	
7	Número de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2	
8	Ancho de Carril, metros	3.6	3.6	3.6	3.3-3.6	3.3	
9	Ancho de Hombros/Espaldones, metros	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 1.0 - 1.5 Ext. 1.8 - 2.5	Int: 0.5 - 1.0 Ext: 1.2 - 1.8	Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5	
10	Tipo de Superficie de Rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.-Grava	
11	Dist.de Visibilidad de Parada, metros	110-245	110-170	85-140	65-110	65-110	
12	Dist. de Visib. Adelantamiento, metros	480-670	480-600	410-540	350-480	350-480	
13	Radio Mín. de Curva, Peralte 6%, metros	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195	
14	Maximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' - 5°53'	12°44' - 5°53'	
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10	
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10	
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	02-may	02-may	02-may	02-may	02-may	
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	7.8-8.7	7.8-8.1	
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44	HS20-44	
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30	
22	Ancho de Mediana, metros	04-dic	04-oct	02-jun	-	-	
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D	C-D	C-D	
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control	
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004. (Pág. 13).

5.6 Vehículo de diseño.

Debido a las dimensiones tan variables de los vehículos que circulan por la red de carreteras, es necesario examinarlos, agruparlos en clases similares y establecer un vehículo representativo para cada clase y uso en el diseño geométrico.

En el diseño de cualquier obra vial, el diseñador debe considerar el vehículo de diseño más grande, que probablemente use la obra con mayor frecuencia. Tomando en cuenta esto, se establece como vehículo de diseño el tipo C2 ó SU, ya que a partir del estudio de tránsito realizado se determinó que es el vehículo de carga de mayor porcentaje en la vía con un 13.60% del total registrado. se presenta esquema de las características estructurales funcionales-operativas del

vehículo de diseño. (Ver en anexo pág. XIV figura No.27),

5.6.1 Velocidad de diseño

Debido a que la vía se clasifica como colectora rural con TPDA de 427 vpd y presenta un relieve ondulado se adopta basado en la norma (SIECA, 2004) una velocidad de diseño de 60. k.p.h como se indica en la tabla No.31, pág.47.

Tabla No.31 Velocidades de diseño en kilómetros por hora, en función de los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno

Tipo Terreno	Volúmenes de tránsito diario o TPDA, en vpd			
	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004. (cap.4 pág. 3)

5.7 Distancia de visibilidad

La Distancia de Visibilidad, es la longitud de la carretera que un conductor ve continuamente delante de él, cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables. Se consideran dos distancias de visibilidad; la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase.

5.7.1 Distancia de visibilidad de parada

Es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido. Para este diseño no se toma en cuenta el ajuste por pendientes y el alineamiento se diseña igual que en condiciones de terreno plano por lo tanto la distancia de visibilidad de parada se encuentra entre 74 y 85 m según tabla No.32, Pág.49.

$$d_{vp} = (0.278) (t)(V) + 0.039 \left(\frac{V^2}{a}\right)$$

Ecuación No.8

Donde:

d_{vp} = Distancia de visibilidad de parada (m)

t= Tiempo de percepción y reacción del conductor que se establece de 2.5s

v= Velocidad, diseño o proyecto (KPH).

a= Tasa de desaceleración en m/s^2 , la tasa de $3.4 m/seg^2$ es recomendada como la tasa de desaceleración para utilizar en el cálculo de la distancia de visibilidad de parada.

Cuando la carretera está en una pendiente longitudinal, la ecuación de distancia de visibilidad de parada (16) debe modificarse y calcularse con la siguiente expresión:

$$0.278Vt + \frac{V^2}{254\left[\left(\frac{a}{9.81}\right) \pm G\right]}$$

Ecuación No. 9

Los términos son los mismos de la ecuación (8) y G representa la pendiente en valor absoluto (grado en porcentaje/100).

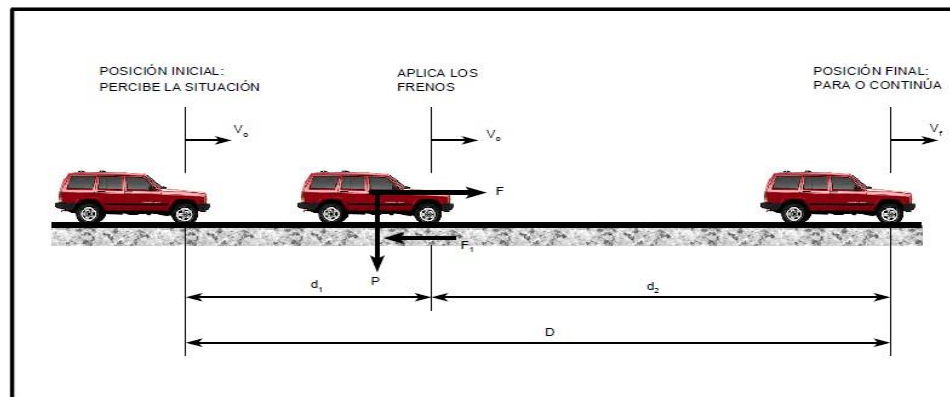
Tabla No.32 Distancias de visibilidad en terreno plano

Velocidad de diseño	Velocidad de marcha	Tiempo de percepción y reacción		Coeficiente de fricción	Distancia de frenado	Distancia de Parada
Km/h	Km/h	Tiempo (s)	Distancia (m)	f	(m)	(m)
30	30-30	2.5	20.8-20.8	0.40	8.8-8.8	30-30
40	40-40	2.5	27.8-27.8	0.38	16.6-16.6	45-45
50	47-50	2.5	32.6-34.7	0.35	24.8-28.1	57-63
60	55-60	2.5	38.2-41.7	0.33	36.1-42.9	74-85
70	67-70	2.5	43.8-48.6	0.31	50.4-62.2	94-111
80	70-80	2.5	48.6-55.6	0.30	64.2-83.9	113-139
90	77-90	2.5	53.6-62.4	0.30	77.7-106.2	131-169
100	85-100	2.5	59.0-69.4	0.29	98.0-135.6	157-205
110	91-110	2.5	63.2-76.4	0.28	116.3-170	180-246

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA. (cap.4 pág. 28).

La siguiente ilustración, muestra los diferentes componentes geométricos de la distancia de visibilidad de parada.

Figura No.28 Distancia de visibilidad de parada



Fuente: Manual Centroamericano de Diseño de Carreteras (SIECA).

5.7.2 Distancia de Visibilidad de Rebase (Dvr)

Es la distancia que se necesita para que un vehículo pueda adelantar a otro que circula en el mismo carril, sin peligro de interferir con un tercero que se aproxime en sentido contrario y se haga visible cuando se inicia la maniobra. Se aplica a carreteras de dos carriles solamente.

A continuación, se muestra la **tabla No.33** de distancia de visibilidad de rebase presentadas en la AASHTO 2011.

Tabla No.33 Distancia de visibilidad de rebase

Velocidad de diseño (km/h)	Velocidades asumidas		Distancia de visibilidad de rebase (m)
	Vehículo rebasado	Vehículo que rebasa	
30	11	30	120
40	21	40	140
50	31	50	160
60	41	60	180
70	51	70	210
80	61	80	245

Fuente: Manual Centroamericano de Diseño de Carreteras (SIECA)

5.8 Factor Máximo de Fricción Lateral.

Se hizo la elección de una velocidad de 60 km/h con un radio mínimo de curvatura de 105 m, con un factor de fricción lateral de 0.17 según la tabla 34.

Tabla No.34 Radios mínimos, en función de la velocidad de Diseño.

VELOCIDAD DE DISEÑO (Km/h)	PENDIENTE MAXIMA e (%)	FACTOR DE FRICCIÓN MAXIMO (f)	TOTAL (e/100+f)	RADIO CALCULADO (m)	RADIO REDONDEADO (m)	GRADO DE CURVATURA
20	8	0.35	0.43	7.3	7	163 ⁰ 42 ⁰
30	8	0.28	0.36	19.7	20	57 ⁰ 18 ⁰
40	8	0.23	0.31	40.6	41	27 ⁰ 57 ⁰
50	8	0.19	0.27	72.9	73	15 ⁰ 42 ⁰
60	8	0.17	0.25	113.4	113	10 ⁰ 08 ⁰
70	8	0.15	0.23	167.8	168	06 ⁰ 49 ⁰
80	8	0.14	0.22	229.1	229	05 ⁰ 00 ⁰
90	8	0.13	0.21	303.7	304	03 ⁰ 46 ⁰
100	8	0.12	0.2	393.7	394	02 ⁰ 55 ⁰
110	8	0.11	0.19	501.5	501	02 ⁰ 17 ⁰
120	8	0.09	0.17	667.0	667	01 ⁰ 43 ⁰

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

El factor de fricción lateral depende principalmente de las condiciones de las llantas de vehículo, el tipo y estado de superficie de rodamiento y de las velocidades del vehículo.

5.9 Ancho de carril

Para carreteras clasificadas como colectoras rurales el Manual Centroamericano de Normas SIECA 2004, recomienda el empleo de carriles de circulación de 3.30 m con ancho de hombro Ext: 1.2 – 1.5 m y derecho de vía de 20 - 30 m (**tabla No.30, pág.46**). Para el presente diseño se asume 3.3 m como ancho de vía, con hombros de 1.20.

Por lo anterior se estableció un ancho de carril de; $2.60 \text{ m} + 0.70 \text{ m} = 3.30 \text{ m}$; donde el 2.6m corresponde al ancho de vehículo y el 0.35 m ancho adicional por carril, con lo cual se obtiene un ancho de rodamiento mínimo de 6.60 m.

5.10 Pendiente transversal

La norma recomienda una pendiente trasversal entre 1.5-3%, por tanto, se adopta una pendiente transversal de calzada del 2% para lograr una mejor y rápida evacuación de las aguas superficiales (**tabla No.30, pág.46**).

5.10.1 Pendiente longitudinal mínima

Debido a su importancia, es necesario proveer una pendiente longitudinal del orden 0.50% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales. Según las recomendaciones del SIECA, para caminos montañosos y clasificado como Colectora Rural puede adoptarse una pendiente longitudinal mínima de 0.50%.

5.10.2 Pendiente Longitudinal Máxima.

Relacionando el tipo de terreno en función de la velocidad de diseño tal y como lo especifica la AASHTO, se establece que, para una velocidad de diseño de 60 KPH, y una clasificación del terreno del tipo ondulado, según el capítulo 5 de la AASHTO, le correspondería una pendiente longitudinal del camino, equivalente al 10 %, a como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla No.35 Pendiente de Longitud máxima

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: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2011, Pág. 120.

5.11 Alineamiento Horizontal

El alineamiento horizontal es la proyección del eje de la vía sobre un plano horizontal y está compuesto por rectas y curvas horizontales; las rectas se caracterizan por su “longitud y dirección”; los cambios de dirección de las rectas se suavizan con las curvas horizontales, las cuales se caracterizan por su “curvatura y su longitud”.

5.12 Curvas de Nivel

El sistema de representación de curvas de nivel consiste en cortar la superficie del terreno mediante un conjunto de planos paralelos entre sí, separados 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

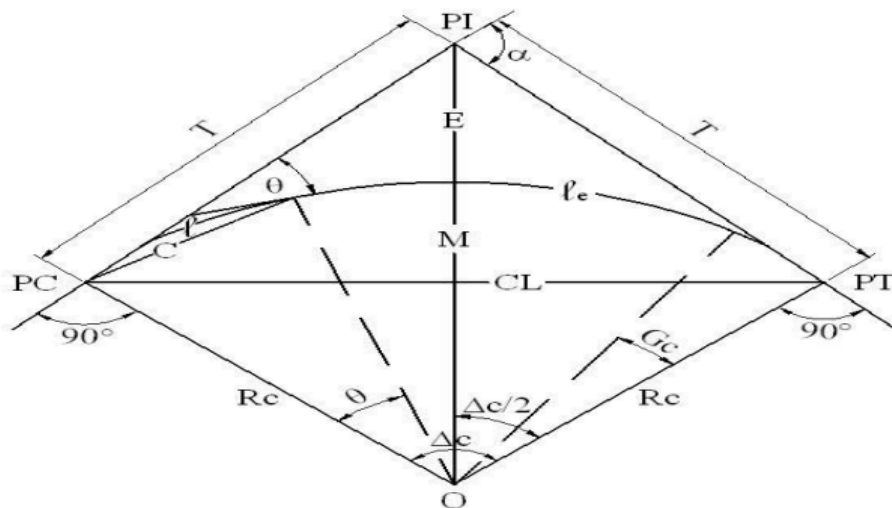
nivel sobre un plano común da lugar a la representación buscada.

En el caso de tramo en estudio, se elaboró las curvas a nivel a partir de los puntos encontrados en el levantamiento topográfico.

5.12.1 Curvas Circulares Simple

Para unir dos tangentes (rectas) consecutivas se pueden usar curvas circulares, el diseño de éstas debe satisfacer condiciones de seguridad, las cuales quedan 18 determinadas por sus características, tales como: velocidad de proyecto, grado de curvatura, sobreelevación, ampliación, visibilidad, etc.

Figura No.29 Elementos de una Curva Circular Simple.



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

Sus elementos son:

PI: Punto de intersección de la prolongación de las tangentes

PC: Punto en donde empieza la curva simple

PT: Punto en donde termina la curva simple

α : Angulo de deflexión de las tangentes

ΔC : Angulo central de la curva circular

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

Gc: Grado de curvatura de la curva circular.

RC: Radio de la curva circular

T: Tangente de la curva circular o sub-tangente

E: Externa (E)

M: Ordenada (M)

CL: Cuerda larga

L: Longitud de un arco

le: Longitud de la curva circular

5.12.2 Tangente de Curva o Sub Tangente

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

$$T = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

Ecuación No.10

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

$$Gc = \frac{1145.92}{R}$$

Ecuación No.11

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

$$R = \frac{1145.92}{Gc}$$

Ecuación No.12

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

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

Ecuación No.13

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

$$E = \frac{R}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)} - R$$

Ecuación No.14

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

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

Ecuación No.15

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

$$CL = 2 * R * \sin \frac{\Delta}{2} \quad \text{Ecuación No.16}$$

5.12.3 Radios Mínimos y Grados Máximos de Curva.

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 la 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. Un vehículo derrapa en las curvas debido a la presencia de agua y arena sobre la superficie de rodamiento. El uso de radio más reducidos solamente puede lograrse a costas de incómodas tasas de peralte o apostando a coeficiente de fricción lateral que pueden no estar garantizados por la adherencia de las llantas con la superficie de rodamiento de la carretera.

El valor del radio mínimo se calcula de la siguiente manera:

$$R_{MIN} = \frac{V^2}{127(e_{max}+f)} \quad \text{Ecuación No.17}$$

En donde:

Rmin = Radio mínimo de la curva, m.

e = tasa de sobreelevación en fracción decimal

f = factor de fricción lateral

V = velocidad de diseño, en KPH

$$R_{MIN} = \frac{60^2}{127(0.08 + 0.17)}$$

$$R_{MIN} = 113 \text{ m}$$

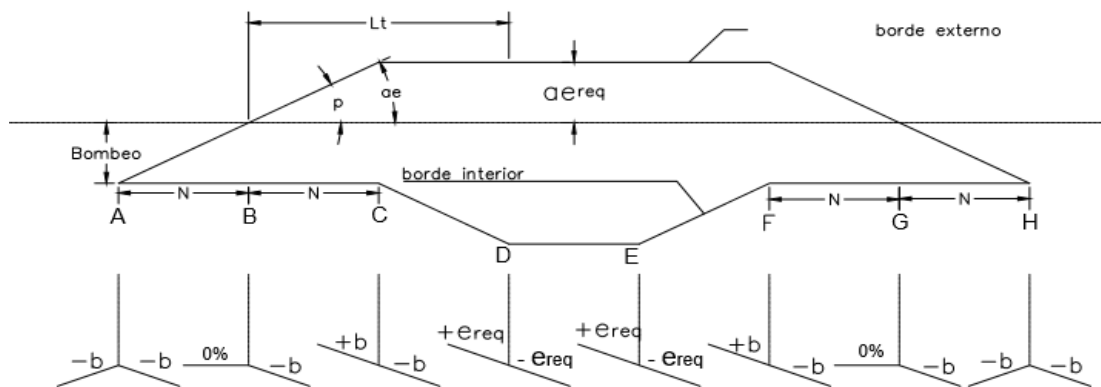
5.12.4 Longitud de Transición

El diseño de longitudes de transición en el alineamiento horizontal, tiene como finalidad dar seguridad al recorrido de los vehículos desde una sección en recto o tangente de una carretera a una determinada curva horizontal vertical.

5.12.5 Desarrollo de Bombeo - Peralte

Según la relación con el alineamiento horizontal se puede presentar en bombeo y peralte.

Figura No.30 Transición de Bombeo a Peralte



Fuente: Unidad de diseño geométrico SIECA 2004.

El peralte requerido se calculará con la fórmula:

$$e_{req} = \frac{e_{max}}{G_{max}} (2G_{max} - G_{curva}) G_{curva} \quad \text{Ecuación No.18}$$

La longitud de transición de bombeo – peralte

$$L_t = m * a * e_{req} \quad \text{Ecuación No. 19}$$

Donde:

$$m = 1.5625V_{dis} + 75$$

Ecuación No.20

a = ancho de carril en metros

V = velocidad de diseño en KPH

Lt = longitud de transición bombeo – peralte

Este último es la distancia comprendida entre el punto correspondiente al peralte requerido y el punto de intersección de los perfiles longitudinales del borde; de la misma manera

$$N = a * b * m$$

Ecuación No.21

N: es la longitud necesaria para la transición del bombeo exterior de la curva expresada en m, desde el -b del 0% y desde el 0% al +b representada en la **Figura No.30**

5.12.6 Transición en la Tangente

Es el procedimiento más adecuado ya que la totalidad de la curva circular quedara diseñada con el valor del peralte requerido de acuerdo a su radio de curvatura. Puede que para el conductor sea un poco incómodo transitar sobre un tramo recto con una inclinación mayor a la del bombeo, pero se tiene la seguridad de que en el momento de tomar la curva circular la velocidad específica, el peralte será el necesario para contrarrestar la acción de la fuerza centrífuga, por lo tanto, se sacrifica la comodidad a cambio de la comodidad. De acuerdo a lo anterior se tiene que:

$$A = PC - LT - N$$

$$B = A + N$$

$$C = B + N$$

$$D = PC$$

$$E = PT$$

$$F = PT + LT - N \quad G = PT + LT$$

$$H = PT + LT + N$$

Dónde: A, B, C, D, E, F, G, H: Estaciones durante la transición. (Ver Figura No.30)

PC: Principio de la curva.

PT: Punto de terminación de la curva.

5.13 Sobre Ancho

Es el ancho que se adiciona en el extremo interior de la calzada en una curva horizontal, la cual facilita a los conductores mantenerse dentro de su vía. Una de las razones por la cual se hace necesario diseñar el sobre ancho, es que las ruedas traseras de un vehículo describen una trayectoria más corta que las delanteras cuando se recorre una curva.

Para calcular el sobre ancho se utilizará la siguiente fórmula general:

$$Sa = n(R - \sqrt{R^2 - Lc^2}) + \frac{V}{10\sqrt{R}} \quad \text{Ecuación No.22}$$

Regionales. SIECA 2004, Pág. 100.

5.14 Cunetas

Un canal es un conducto abierto para la conducción de aguas. Las cunetas son canales que se construyen a ambos lados y paralelamente a la carretera, con el fin de drenar el agua de lluvia que cae sobre la misma y sobre las áreas de taludes.

5.15 Perfil Longitudinal

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 del eje de la carretera, al cual se le llama rasante, o el perfil del eje terminado de la terracería, también conocido como subrasante. **(VER EN ANEXO, PLANOS, PAG)**

5.15.1 Rasante

Es la elevación del pavimento en el eje o línea central en carreteras bidireccionales; al proyectar sobre un plano vertical sus distintas elevaciones, se obtendrá en desarrollo de la plataforma o corona del camino, el cual estará formado por pendiente, ascendentes o descendientes y curvas verticales que las enlazan.

5.16 Curvas Verticales

En términos generales existen curvas verticales en crestas o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo a las más amplias distancias 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.

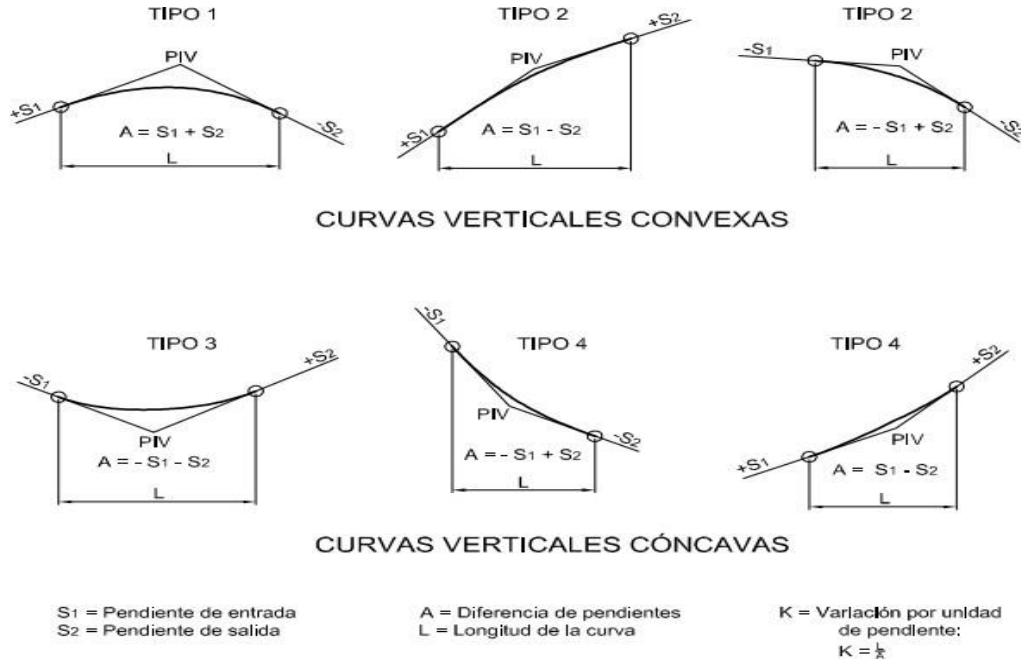
5.16.1 Tipos De Curvas Verticales

Las curvas verticales pueden tener su concavidad hacia arriba o hacia abajo. Las curvas cóncavas hacia arriba se denominan curvas en cresta, y las curvas cóncavas hacia abajo se llaman curvas en columpio.

Dentro de este tipo de curvas verticales, el diseñador geométrico tiene la opción de calcular las curvas como curvas verticales simétrica o curva vertical asimétrica; estas opciones dependen del presupuesto del proyecto,

características del terreno, estética y criterios de diseño que estén tomando en cuenta.

Figura No.31 Tipos de Curvas Verticales



Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico Regionales. SIECA.

a. Curvas Verticales Simétricas

Son aquellas que se proyectan simétricamente con respecto al punto de intersección de la pendiente, de manera que sean iguales las proyecciones horizontales de las tangentes.

b. Curvas Verticales Asimétricas

Cuando las proyecciones horizontales de las tangentes tengan pendientes diferentes, se clasificarán como curvas verticales asimétrica. Este caso puede siempre presentarse cuando las pendientes de la rasante están determinadas y una de ellas se encuentra en un punto obligado que limita la longitud de una de las ramas de la parábola.

En el perfil longitudinal elaborado en el diseño se muestran ambas curvas, convexas y cóncavas. **(VER EN ANEXO, PLANOS, PAG XVII).**

5.16.2 Curvas Vertical en Cresta. (Convexas)

Se diseñan de acuerdo a las más amplias distancias de visibilidad de parada para la respectiva velocidad de diseño. Existen dos condiciones de diseño:

La primera que la longitud de la curva (L) sea mayor que la distancia de visibilidad de parada: $L > D_{vp}$

La segunda que la longitud de la curva (L) sea menor que la distancia de visibilidad de parada: $L < D_{vp}$

5.16.3 Curvas Verticales en Columpio (Cóncavas)

Su diseño es conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño (criterio de seguridad). Existen dos condiciones de diseño:

La primera que la longitud de la curva (L) sea mayor que la distancia de visibilidad de parada: $L > D_{vp}$

La segunda que la longitud de la curva (L) sea menor que la distancia de visibilidad de parada: $L < D_{vp}$

Para que las curvas verticales en columpio cumplan con la distancia de visibilidad necesaria, su longitud deberá calcularse usando la siguiente formula:

$$L = K \times A$$

Ecuación No.23

5.17 Controles de diseño (K): Para distancia visual de parada y rebase.

El valor de K, o longitud de curva vertical por 1% de cambio en A, es una simple y práctica expresión de control de diseño. Para cada velocidad directriz, este único valor K es un número entero positivo indicativo de la curvatura vertical. La selección de curvas de diseño se ve facilitada porque la longitud mínima de la curva en metros es igual a K veces la diferencia algebraica de las pendientes en porcentaje a como se muestra en la ecuación No.23.

A continuación, se muestran los valores de K calculados para longitudes de curvas

verticales convexas o en cresta correspondientes a las distancias visuales previstas en **(la tabla No.36, Ver Anexo Pág. XVI)** y rebase de la tabla No.37, para cada velocidad directriz. Para el uso directo en el diseño, todos los valores se redondean como se muestra en la columna de la derecha.

Tabla No.37 Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de Adelantamiento

Velocidad de Diseño (km/h)	Distancia de Rebase (m)	Tasa de curvatura vertical K de diseño
30	120	17
40	140	23
50	160	30
60	180	38
70	210	51
80	245	69
90	280	91
100	320	119
110	355	146
120	395	181
130	440	224

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

Para las distancias visuales de adelantamiento mínimas de la Tabla No.37, las longitudes mínimas de curvas verticales convexas son sustancialmente más largas que las de distancias visuales de detención. La magnitud de la diferencia es evidente por los valores de K, o longitud de curva vertical en m por 1% de cambio de A, para las distancias visuales de adelantamiento de la Tabla No.37.

Generalmente, no es práctico diseñar curvas verticales en cresta para proveer distancia de visibilidad de adelantamiento, debido a los altos costos que puede involucrar y la dificultad de acomodar las largas curvas verticales resultantes al terreno natural, especialmente en carreteras de alta velocidad.

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

- El primero se basa en la distancia 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.

En atención a la diferencia de longitudes de curva que se obtienen aplicando los criterios mencionados, se recomienda diseñar curvas verticales en columpio utilizando el primer criterio descrito, dando especial consideración al drenaje cuando K es mayor de 51.

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 No.38** que se muestra a continuación.

Tabla No.38: Control de Diseño para Curva Vertical en Columpio.

Velocidad de Diseño (km/h)	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa 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

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

5.17.1 Elementos Geométricos de las Curvas Verticales

Longitud (L): longitud suficiente para mantener la visibilidad, comodidad y una buena estética. La longitud es la distancia medida horizontalmente entre el PCV y el PTV.

$$L = K \times A$$

Donde:

L = Longitud de la curva vertical.

A = $(P2 - P1)$, en %.

P1 = Pendiente de entrada (%).

P2 = Pendiente de salida (%).

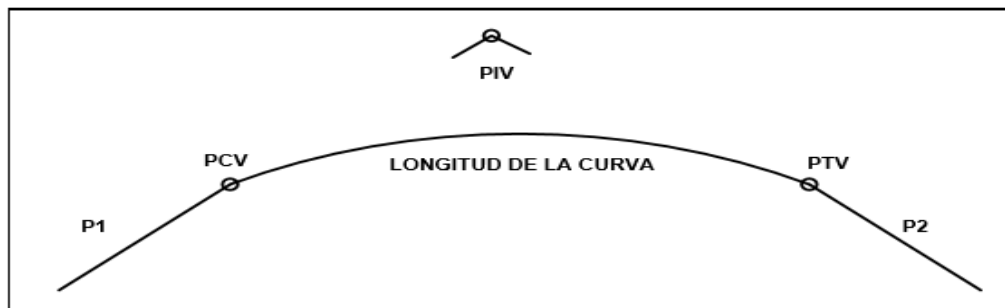
K = Factor que establece condiciones óptimas de visibilidad y drenaje en el sector de la curva.

PCV = Principio de curva vertical.

PIV = Punto de intersección vertical.

PTV = Punto final de la curva vertical.

Figura No.32 Elementos Geométricos de una Curva Vertical



Fuente: Elaboración Propia.

5.18 Normas Generales para el Perfil Longitudinal.

a. **A = $(P2 - P1) > 0.5\%$** para que se pueda realizar el diseño, ya que pendientes menores a esta son tan pequeñas que se pierden en la construcción.

b. **Criterio de Seguridad:** Se aplica a curvas verticales en cresta y en columpio. La longitud de la curva debe ser mayor o igual a la distancia de visibilidad de

parada.

c. **Criterio de Comodidad:** Se aplica al diseño de curvas verticales en columpio, en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección se suma al peso propio del vehículo. Generalmente queda englobado siempre por el criterio de seguridad.

d. **Criterio de drenaje:** Se aplica al diseño de curvas verticales en crestas y en columpio. Para advertir la necesidad de modificar las pendientes longitudinales de las cunetas.

5.18.1 Secciones Transversales

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

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

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

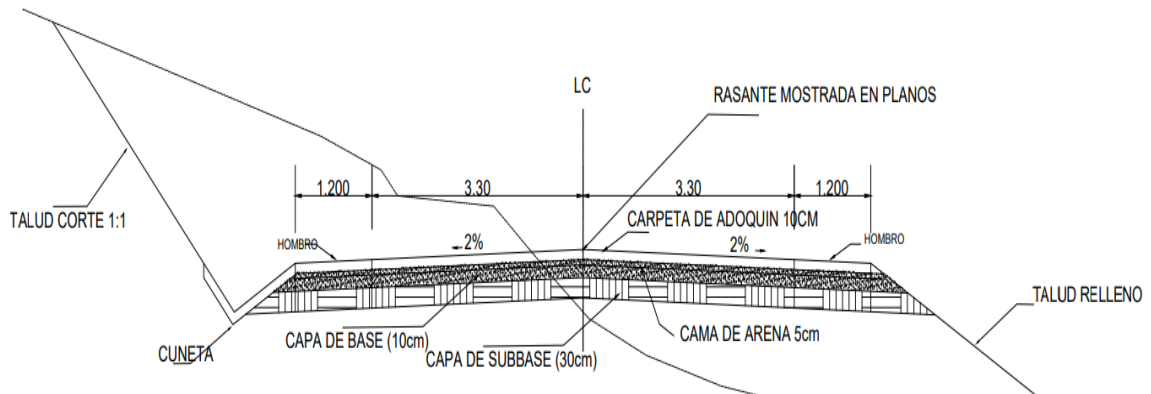
5.19.1 Sección Transversal Típica

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

Se realiza unas secciones típicas, de acuerdo a las condiciones y limitantes que posee el camino que une a las dos comunidades.

A como se menciona en el inciso 5.6, Pág.46. Los carriles de calle para mover el tránsito de preferencia deben ser 3 a 3,3 m de ancho. Cuando el ancho de zona de camino disponible o alcanzable impone graves limitaciones, su ancho de carril varía dependiendo la geometría del lugar.

Figura No.33 Sección Típica Transversal



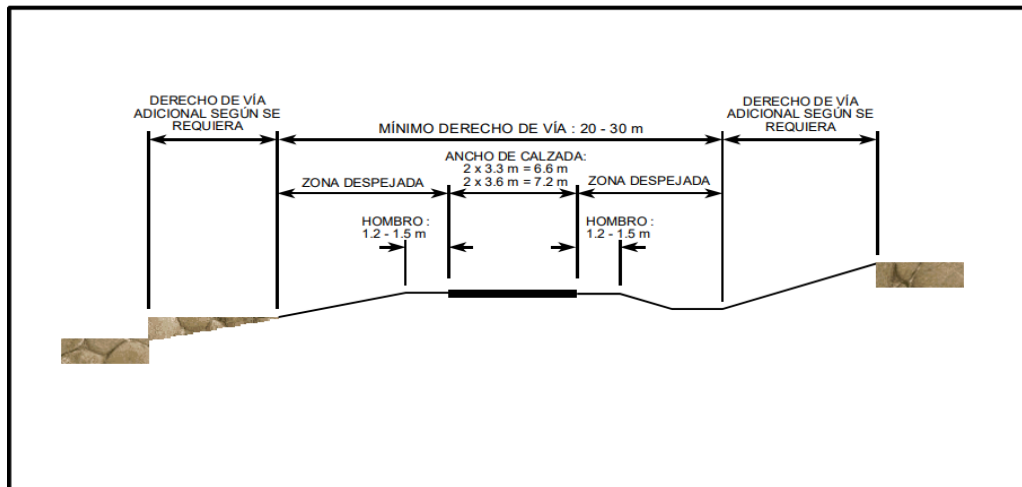
Fuente: Elaboración Propia.

5.19.2 Derecho de Vía

El derecho de la vía es la franja del terreno que adquiere el dueño de una carretera, normalmente el Estado, para la construcción de la misma, incluyendo dentro de sus límites el diseño bien balanceado de la calzada con sus carriles proyectados, los hombros interiores y exteriores, las medianas y todos los demás elementos que conforman normalmente la sección transversal típica de ese tipo de instalaciones, conforme su clasificación funcional.

Para las carreteras colectoras, ubicadas en el rango inferior de la clasificación funcional de la red de carreteras regionales, se considera suficiente disponer de un derecho de vía de 20 metros de ancho.

Figura No.34 Derecho de Vía de una Carretera Colectora Rural



Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2004, Pág. 172.

5.19.3 Elaboración del Diseño en Civil 3d

Para la realización del diseño geométrico, se utilizó el software AutoCAD Civil 3D 2020, en donde se aplicaron todos los parámetros de diseño definidos en este documento, en los anexos estarán reflejado lo que son planos de curvas de nivel, alineamiento horizontal, cuadro de curvas horizontales, perfil longitudinal y secciones transversales.

5.20 Curvas Horizontales

5.20.1 Memoria De Cálculo.

Consideraciones a tomar: Para seleccionar el radio ha considerado la topografía del terreno, también se han respetado los linderos de las propiedades privadas aledañas. Para elaborar el diseño se consideró un peralte máximo de 8% por ser una zona ondulada (SIECA) y una pendiente transversal (bombeo) de 2.0%. El valor de f se determinó mediante la interpolación de los datos de la tabla No.32.

Se presentará un ejemplo de curvas horizontales donde el total de datos estará en la **tabla No.39 (Ver anexo Pág. XVII)** de curvas horizontales.

CURVA No. 1

$$PI = 7+778.34$$

$$\text{Deflexión } (\Delta) = 55^{\circ} 24'21''$$

$$e_{\text{Max}} = 8\%$$

$$f = 0.17$$

$$V_{\text{Diseño}} = 60 \text{ km/h}$$

1. Radio mínimo

$$R_{\text{MIN}} = \frac{V^2}{127(e_{\text{max}} + f)}$$

$$R_{\text{MIN}} = \frac{60^2}{127(0.8 + 0.17)} = 113.358 \text{ m}$$

2. Radio de diseño

$$R_{\text{DISEÑO}} = \frac{T}{\tan \frac{\Delta}{2}}$$

$$R_{\text{DISEÑO}} = \frac{60.38}{\tan \frac{55^{\circ}24'21''}{2}} = 115 \text{ m}$$

$$R_{\text{DISEÑO}} > R_{\text{MINIMO}} \text{ OK}$$

3. Longitud de Desarrollo de la curva

$$LC = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

$$LC = \frac{\pi * 115\text{m} * 55^{\circ}24'21''}{180} = 111.21 \text{ m}$$

4. Cuerda Máxima

$$CM = 2R \text{Sen} \left(\frac{\Delta}{2} \right)$$

$$CM = 2(115) \operatorname{Sen}\left(\frac{55^{\circ}24'21''}{2}\right) = 106.92 \text{ m}$$

5. Mediana.

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

$$M = 115\left(1 - \cos\left(\frac{55^{\circ}24'21''}{2}\right)\right) = 13.18 \text{ m}$$

6. Externa

$$E = \frac{R}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)} - R$$

$$E = \frac{115}{\cos\left(\frac{55^{\circ}24'21''}{2}\right)} - 115 = 14.889 \text{ m}$$

7. Estacionamientos de los puntos notables

$$PC = PI - T = (6 + 778.34) - 60.384 = 6 + 717.96$$

$$PT = PC + LC = (6 + 717.96) + 111.21 = 6 + 829.16$$

8. Grado de curvatura

$$G_{max} = \frac{145,692.26 * (e_{max} + f)}{V^2}$$

$$G_{max} = \frac{145,692.26 * (0.08 + 0.17)}{(60)^2}$$

$$G_{max} = 10^{\circ} 7' 3.06''$$

$$G_c = \frac{1145.92}{R}$$

$$G_c = \frac{1145.92}{115} = 9^{\circ}57'52.28''$$

9. Peralte requerido:

$$e_{\text{req}} = \frac{0.08}{(10^{\circ}7'3.06'')^2} (2(10^{\circ}7'3.06'') - 9^{\circ}57'52.28'') * 9^{\circ}57'52.28''$$

$$e_{\text{req}} = 0.0796 = 7.96\%$$

$$7.96\% \approx 8.00\%$$

$$L_t = m * a * e$$

$$m = 1.5625 * V_{\text{Diseño}} + 75$$

$$m = 1.5625 * 60 + 75 = 168.75$$

$$L_t = 168.75 * 3.30 * 8\% = 44.55 \text{ m}$$

$$N = a * b * m = 3.3 * 2 * 168.75 = 11.138 \text{ m}$$

$$A = PC - LT - N = 6+717.96 - 44.55 - 11.138 = 6+662.27$$

$$B = A + N = 6+662.27 + 11.138 = 6+673.41$$

$$C = B + N = 6+673.41 + 11.138 = 6+684.55$$

$$D = PC = 6+617.96$$

$$E = PT = 6+829.16$$

$$F = PT + LT - N = 6+829.16 + 44.55 - 11.138 = 6+862.57$$

$$G = PT + LT = 6+829.16 + 44.55 = 6+813.71$$

$$H = PT + LT + N = 6+829.16 + 44.55 + 11.138 = 6+884.85$$

5.21 Calculo Para Curvas Verticales

Se presentará un ejemplo de curvas verticales donde el total de datos estará en la **tabla No.40 de curvas verticales (Ver Anexo Pag XVIII)**.

Curva No. 1

$$K = 15$$

$$P_1 = 2.57\%$$

$$P_2 = 9.22\%$$

$$PIV = 6+722.74$$

$$A = P_2 - P_1 = 9.22\% - 2.57\% = 6.65\%$$

Longitud de la curva

$$L = k * A = 15 * 6.65 = 99.75m$$

Mayor que la distancia mínima de parada donde se cumple la condición de seguridad donde $L > D_p$

99.75 > 75-85 ok

Tabla No.41 Parámetros del Diseño del Proyecto

PARAMETRO	UNIDAD	CANTIDAD
Tipo de terreno	Ondulado	Colector Rural
Derecho de vía	m	20-30
Velocidad de diseño	kph	60
Número de carriles	u	2
Ancho de carril	m	3.30
Ancho de rodamiento	m	6.60
Ancho de hombros	m	1.20
Ancho de corona	m	9
Vehículo de diseño	C2	SU
Distancia entre ejes	m	6.1
Coefficiente de fricción lateral	-	0.17
Radio mínimo	M	113
Grado máximo de curvatura	Gms	10° 08'
Peralte máximo	%	8
Desarrollo del peralte	Método AASHTO	-
Bombeo	%	2
Pendiente longitudinal máxima	%	8
Pendiente longitudinal mínima	%	0.50
Distancia de visibilidad de parada	m	75-85

Fuente: Elaboración propia.

Los parámetros de diseño seleccionados anteriormente fueron obtenidos por las Normas para el diseño geométrico de carreteras Regionales CIECA 2004 pagina No. 13.

CAPÍTULO VI

DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO



6.1 Introducción

En el diseño de Pavimento articulado se tomará el mismo procedimiento del pavimento flexible que consiste en determinar los espesores de las capas que constituyen la estructura del mismo, con el propósito de obtener un número estructural del pavimento que pueda soportar el nivel de carga esperado.

Para el cálculo de espesores se utilizó la Guía de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993, se eligió el mencionado método porque a diferencia de otros introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario, seguidamente se utilizaron los nomogramas de la AASHTO 93. Un pavimento es una estructura conformada por diferentes capas, de diferentes espesores.

Así mismo el método toma en cuenta el Estudio de suelo, el cual tiene la finalidad de proporcionar las características físico - mecánicas del sub-suelo a lo largo de la ruta, lo que se consigue efectuando ensayos de laboratorio (Granulometría, Límites de Atterberg y CBR) y análisis de la información obtenida.

Las cargas que recibe la capa superior, las distribuye, a la capa inmediatamente inferior. Por lo tanto, cuanto más alejada de la rasante o superficie de rodamiento menor es la carga que recibe.

Los pavimentos articulados o de adoquín tienen una superficie de rodadura conformada por adoquines de concreto de 10 cm de espesor, colocados sobre una capa de arena con un espesor requerido de 3 a 5 cm, con un sello de arena entre sus juntas, luego una base de material granular y una sub-base dependiendo si el diseño así lo amerita.

6.2 Método para el Diseño de Pavimento Articulado (AASHTO-93).

El diseño para el pavimento según la AASHTO está basado en la determinación del Número Estructural “SN” que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto, el cual está relacionado con la determinación del número de ejes equivalentes de 18 kip en el carril de diseño.

El método de la AASHTO 93, contempla la implementación de modelos matemáticos donde se involucran variables que condicionan el desarrollo de estos. Es el más usado y cuenta con dos técnicas de diseño para estructuras de pavimento: rígido y flexible. En el caso de pavimentos articulados, la AASHTO 93 recomienda usar en principio los mismos criterios de diseño utilizados para el diseño de pavimento flexible.

El método requiere información basada en las características y propiedades de los materiales que conforman los suelos de cada capa de la estructura, así como la composición vehicular que someterá la estructura de pavimento a las cargas variables de tránsito.

6.2.1 Los Criterios que considera el método AASHTO 93 para cálculo de espesores son:

1. Determinar el número de Ejes Equivalentes (ESAL'S).
2. Obtener las Variables de diseño:
 - ✓ Factores Equivalente de Carga.
 - ✓ Peso por ejes.
 - ✓ Confiabilidad deseada
 - ✓ Desviación Estándar
 - ✓ Serviciabilidad.
 - ✓ Módulo de Resiliencia.

3. Establecer las Propiedades de los materiales de cada capa, representada por los coeficientes estructurales (a_i).
4. Calcular los espesores del pavimento considerando el esfuerzo a la compresión de cada capa.

El método utilizado para efectuar el diseño, es el de la AASHTO-93, el cual recomienda que para pavimentos con adoquín aplicar los mismos criterios de diseño establecidos para pavimentos flexibles

6.3 Variables a considerar en el Método de diseño AASHTO 93.

Para el diseño de la estructura de pavimento articulado se deben de tomar en cuenta los siguientes parámetros:

6.3.1 Confiabilidad (R).

De acuerdo con la clasificación funcional de la guía de la AASHTO 1993, recomienda diferentes niveles de confiabilidad. El tramo en estudio está clasificado como colectora porque moviliza el tránsito de la zona hacia vías principales y clasificada como Zona Rural porque está vinculada al campo donde se desarrolla la agricultura y el ganado, dada la ubicación en la que se encuentra la vía en estudio, se asume un valor de confiabilidad (R) de 85 % que corresponde a un valor recomendado, para clasificación de zona rural y para tipo de caminos colectores.

Tabla No.42 Niveles de Confiabilidad Recomendado por la AASHTO, Para Clasificaciones Funcionales Diferentes

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rurales interestatales y autopistas	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 137.

6.3.2 Desviación estándar (S0)

La desviación estándar depende también de la confiabilidad (R), es necesario seleccionar un valor S_0 de acuerdo a las condiciones locales particulares, tomando en cuenta posibles variaciones en el comportamiento de la estructura y en la proyección del tránsito si se tiene la información necesaria; de no ser así, la siguiente tabla muestra algunos valores que se pueden utilizar, los cuales fueron desarrollados por medio de un análisis que existía en el AASHO Road Test y en base a predicciones futuras del tránsito:

Tabla No.43: Desviación estándar para pavimentos flexibles

Condiciones de diseño	Desviación estándar
Para pavimento flexible	0.40 – 0.50
En construcción nueva	0.35 - 0.40
En sobre capas	0.50

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento SIECA. Capítulo 7, página 5 135

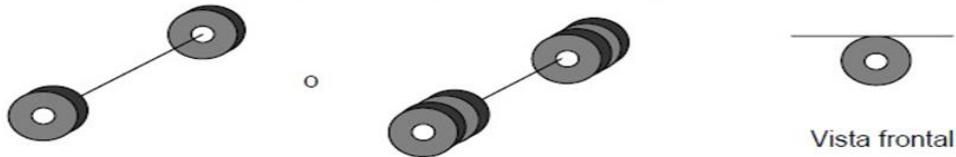
En el presente estudio se utilizará un valor de desviación estándar de **$S_0 = 0.45$** para este diseño.

6.3.3 Análisis de Cargas y ejes equivalentes para el Diseño de Pavimento

Definiremos como ESAL'S de diseño a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de 8.2 toneladas, 18 kips ó 18, 000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento, haciendo uso del factor de equivalencia de carga, 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 Anexo Figura No.35 Pág. XIX**).

Figura No.36 Tipos de Ejes

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



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



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



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

Para el cálculo de ejes equivalentes (ESAL'S) existe un factor correspondiente que se obtienen de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes sencillos y dobles, para cada eje de los vehículos la cual a su vez sugiere utilizar el valor de SN 5, el cual transforma la carga por eje a un número de ejes equivalentes.

Los ejes equivalentes se obtienen conociendo el tránsito de diseño y los factores de equivalencia, mediante la siguiente expresión:

$$ESAL'S \text{ ó } W18 = TD * Factor \text{ ESAL'S}$$

Ecuación No.24

Para realizar el cálculo del ESAL'S de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularán por el camino durante el período 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 tránsito menor y un coeficiente estructural de carga SN = 5. **Ver en anexo Tabla No.44,45,46 Pag, XXIII, XXIV, XXV)** Calculamos el factor equivalente de carga (LEF) para cada tipo de vehículo según su peso por eje.

Para un jeep, el eje delantero y el eje trasero pesan lo mismo, según el diagrama de carga de vehículos livianos. El peso del eje es: 2,200 Lbs= 2.2 Kips. Para pavimento articulado, con ejes simples y una serviciabilidad $P_t = 2$, con un $SN=5$ se tiene que:

Peso	SN = 5
$2 = 2,000$	0.0002
$4 = 4,000$	0.002
$4,000 - 2,000 = 2,000$	
$0.002 - 0.0002 = 0.0018$	

Como el peso del jeep es de 2,200 Lbs hacen falta 200 Lbs, por lo que se realiza la siguiente regla de tres.

$$\begin{array}{r} 2,000 \quad 0.0018 \\ 200 \quad X \\ X = (200 \times 0.0018) / 2,000 \\ X = 0.00018 \end{array}$$

Entonces tenemos que el factor equivalente de carga para 2,200 Lbs va a ser: $0.0002 + 0.00018 = \mathbf{0.00038 = \text{Factor ESAL'S}}$.

De igual forma se realizan las demás interpolaciones para los otros tipos de vehículos. Para obtener el ESAL'S de diseño para cada tipo de vehículo sustituimos la **ecuación No.25**

$$\mathbf{ESAL'S \acute{o} W18 = TD * \text{Factor ESAL'S Ecuaci3n No.25}}$$

$$\mathbf{ESAL 'S \acute{o} W18 (jeep) = 64,205.00 * 0.00038}$$

$$\mathbf{ESAL 'S \acute{o} W18 (jeep) = 24 Veh}$$

En la siguiente tabla se presentan los valores de coeficientes de carga ESAL'S de dise1o para cada tipo de veh3culo.

Tabla No.47 Cálculo de Ejes Equivalentes de 18 kips (8.2 Ton)

<i>Calculo ESAL'S del carril de diseño</i>						
<i>Tipo de vehiculos</i>	<i>Peso X eje(Ton.me)</i>	<i>Peso X eje (Kips)</i>	<i>Tipo de eje</i>	<i>TD</i>	<i>Factor ESAL</i>	<i>ESAL de diseño</i>
AUTOMOVILES	1.00	2.20	Simple	192,617.49	0.00038	73
	1.00	2.20	Simple		0.00038	73
JEEP	1.00	2.20	Simple	64,205.83	0.00038	24
	1.00	2.20	Simple		0.00038	24
CAMIONETAS	1.00	2.20	Simple	281,517.87	0.00038	107
	2.00	4.40	Simple		0.0034	957
MICRO BUS < 15 P	2.00	4.40	Simple	4,938.91	0.0034	17
	4.00	8.80	Simple		0.0502	248
MINI. BUS 15-30 P	4.00	8.80	Simple	4,938.91	0.0502	248
	8.00	17.60	Simple		0.9206	4547
Bus > 30 P	5.00	11.00	Simple	49,389.10	0.1265	6248
	10.00	22.00	Simple		2.35	116064
C2 - LIV 2-5 ton	5.00	8.80	Simple	59,266.92	0.1265	7497
	10.00	17.60	Simple		0.9206	54561
C2 > 5 ton	4.50	9.90	Simple	24,695	1.1265	27818
	10.00	22.00	Simple		2.35	58032
C3	5.00	11.00	Simple	64,206	0.1265	8122
	16.50	36.30	TANDEM		1.437	92264
T3-S3	5.00	11.00	Simple	4,938.91	0.1265	625
	16.00	35.20	TANDEM		1.38	6816
	20.00	44.00	TRIDEM		0.686	3388
Total ESAL'S de diseño (W18)						387,754

Fuente: Elaboración propia

ESAL'S o W18 = 387,754.00 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.

6.3.4 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, ρ_0 , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción y la serviciabilidad final o terminal, ρ_t , es función de la categoría del camino y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHTO Road Test:

1. **Serviciabilidad inicial:**

$p_o = 4.5$ para pavimentos rígidos.

$p_o = 4.2$ para pavimentos flexibles.

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 de la 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_o).

Tabla No.48 Valor de la Serviciabilidad Final

Característica de la vía	Valor de (P_t)
Autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico	2.5 - 3.1
Autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas	2.0 - 2.5
Vías locales, ramales, secundarias y agrícolas	1.8 - 2.1

Fuente: Manual AASHTO – 93.

p_o (Serviciabilidad Inicial) = 4.2 Para pavimentos flexibles.

p_t (Serviciabilidad Final) = 2.0 Para vías de tráfico normal.

6.3.5 Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)

La pérdida de la serviciabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final. (Diseño de pavimentos AASHTO 93. Edición 2006. Página 172).

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = p_o - p_t$$

Ecuación No.26

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

6.3.6 Determinación del CBR de diseño (En suelos)

En la selección del CBR de diseño se utilizó el criterio del Instituto del Asfalto, quien recomienda tomar un valor tal que el 60, 75 ó el 87.5% de los valores individuales sea mayor o igual que él, de acuerdo con el tránsito que se espere circule por el pavimento.

Tabla No.49 Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar El CBR de Diseño.

Límites para Selección de Resistencia.	
Número de ejes de 8.2 ton en el Carril de diseño (n)	Percentil a seleccionar para hallar la resistencia
< 10 ⁴	60
10 ⁴ a 10 ⁶	75
> 10 ⁶	87.5

Fuente: Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Segunda Edición 2001. Página 68.

En base a la tabla anterior el valor percentil para el ESAL's calculado de 387,754.00 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño, es de 75%, ya que se encuentra entre el rango de 10,000 y 1,000,000 ESAL's.

El procedimiento para la selección del CBR de diseño a utilizar, consiste en:

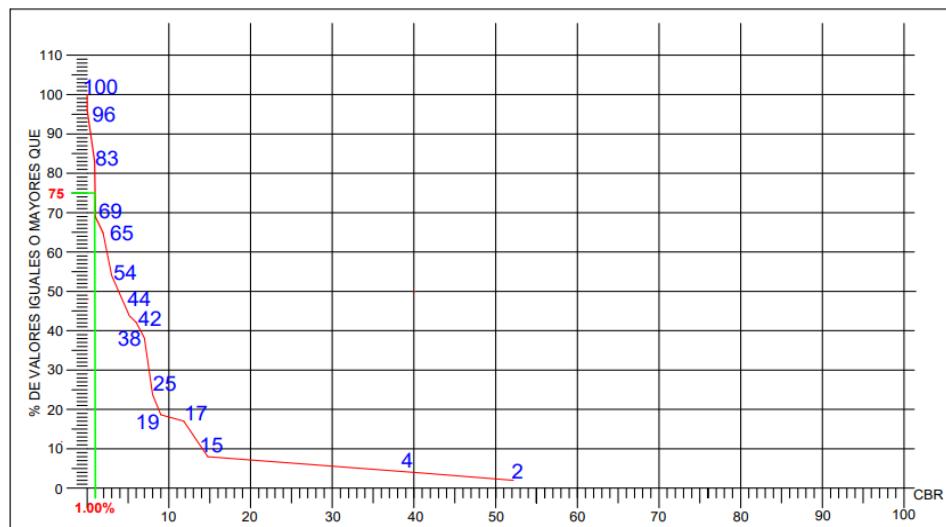
- 1) Ordenar los valores de CBR obtenidos de menor a mayor.
- 2) Para cada valor numérico diferente de CBR, comenzando desde el menor, se calcula el número y el porcentaje de valores de CBR que son mayores o iguales que él.
- 3) Se dibujan los resultados en un gráfico CBR vs Porcentaje de valores mayores o iguales y se unen con una curva.
- 4) El CBR de diseño es el correspondiente a un valor en las ordenadas de 60, 75 y 87.5%, según el tránsito de la vía objeto del estudio.

Tabla No.50 Valores de CBR para diseño

CLASIFICACION		CBR 95%	FRECUENCIA	CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES	% CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES
AASTHO	SUCS				
A-7-5	MH	0	2	48	100
A-7-6	ML-CL	0	6	46	96
A-7-5	MH-ML	1	7	40	83
A-7-6	CL-CH	1	2	33	69
A-7-6	ML-CL	2	5	31	65
A-7-5	MH-ML	3	5	26	54
A-4	ML	5	1	21	44
A-5	ML	6	2	20	42
A-6	ML-CL	7	6	18	38
A-6	ML-CL	8	3	12	25
A-6	CL	9	1	9	19
A-4	ML-CL	12	4	8	17
A-4	ML	15	2	4	8
A-1-b	GM	40	1	2	4
A-2-4	SM	52	1	1	2
			48		

Fuente: Elaboración propia.

Figura No.37: Cálculo del CBR de Diseño.



Fuente : Elaboracion propia.

Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 75% obtenemos el CBR de diseño para la sub-rasante igual a 1 %. Este porcentaje refleja una muestra representativa de los valores del CBR encontrados en la línea.

En este caso de que el CBR de diseño tiene un porcentaje muy bajo, se procedió a estimar el CBR de diseño con respecto a la correlación aproximada entre la clasificación de suelos relacionada con parámetros de resistencia del suelo obteniendo un CBR de 2% debido a que el material que más presencia tiene por debajo de la línea tomada como sub rasante a una profundidad de 0.30 m es el suelo A-7-5 (Ver anexo figura No.38 pág, XX)

6.3.7 Módulo de Resiliencia de la subrasante (Mr).

Es la propiedad utilizada para caracterizar el suelo de la fundación del camino y otras capas, está en función de la sub rasante para cuantificar la capacidad de soporte del pavimento, en este caso articulado. La guía de diseño AASHTO establece la correlación para determinar el MR usando el CBR con la siguiente ecuación:

Tabla No.51 Ecuaciones para el Cálculo de Modulo de Resiliencia

Valor de CBR	Ecuación de correlación
CBR < 10%	$Mr = 1500 \times CBR$ (Ecuación No. 27)
CBR > 10%	$Mr = 4326 \times \ln(CBR) + 241$ (Ecuación No.28)

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93.

De acuerdo con el Gráfico No. 4 (capítulo III), el CBR de diseño de la sub-rasante resultante es de 2.00%, por tanto, el módulo de Resiliencia se determina mediante la ecuación No.27:

$$MR = 1500 \times CBR$$

Ecuación No.27

Donde:

MR: Modulo Resiliente.

CBR: California Bearing Ratio

$$MR = 1500 \times 2.00 \%$$

$$\underline{MR \text{ Sub - rasante} = 3,000 \text{ PSI}}$$

6.3.8 Módulo de Resiliencia de la Base (Mr).

El proceso para determinar el módulo de resiliencia de la base está determinado haciendo uso del nomograma de relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes estructural, 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 de 86% obtenido del material extraído del banco de materiales No. 2 El Machete , se proyecta ese valor de CBR mediante un aline horizontal de modo que intercepten las dos líneas verticales del nomograma. Lo cual indica que en la primera línea vertical costado izquierdo del nomograma representa el coeficiente estructural a_2 y la línea vertical derecha representa el módulo resiliente (Mr) de ese material, al interceptar el valor del CBR del banco de materiales, se obtienen los valores para de $a_2 = 0.132$, del mismo nomograma, podemos obtener el valor del módulo resiliente de la base, siendo el valor de $MR = 27,800$ PSI (**ver anexo figura No.39 Pág, XXI**)

6.3.9 Coeficiente de drenaje

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

Tabla No.52 Coeficientes de Drenaje para Pavimentos Flexibles

Calidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	> 1%	1 – 5 %	5 – 25%	< 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.70	0.40

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 148.

El valor asumido en este diseño fue del 1.00, ya que se considera que el tiempo que el pavimento está expuesto a la humedad es menor al 25%.

6.4 Coeficientes de las capas estructurales.

Además del coeficiente de drenaje, existen otros factores estructurales que involucran las características y propiedades de los diferentes materiales que formarán parte del paquete estructural. El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_n), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal del pavimento flexible. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), 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 siguiente simbología:

a1: Para la carpeta de rodamiento (**Adoquín**).

a2: Para la base granular (**Banco N°2**),

- (Est 10+850 El Machete A-1-b)

a3: Para la Sub-base (**Banco N°1**)

- (Est 7+150, Mal Paso A-2-4)

6.4.1 Coeficiente estructural de la carpeta de rodamiento (adoquín de concreto) a1.

La capa de rodamiento estará conformada por elementos uniformes compactos de concreto, denominados adoquines, que se colocan ensamblados y que, debido a su entrelazado y a la conformación de sus caras laterales, permiten una transferencia de cargas desde el elemento que las recibe hacia varios de sus adyacentes, trabajando sólidamente y sin posibilidad de desmontaje individual.

Cuando se utiliza adoquín como carpeta de rodamiento el coeficiente estructural será de **$a_1 = 0.45$** , valor tomado del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Capítulo 7, Diseño de espesores con adoquín, Método AASHTO, página 107.

El adoquín a utilizarse será tipo tráfico cuya resistencia será de 3500 PSI, como mínimo.

6.4.2 Coeficiente estructural para base granular a_2

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados (ab) (tal como es el caso de las bases de piedra picada, grava triturada, grava cernida, macadam hidráulico, etc.), se determina, a partir del Módulo Resiliente.

El coeficiente estructural a_2 es 0.132 con un módulo resiliente de $MR = 27,800 \text{ L/Pulg}^2$ el cual se obtiene del nomograma para bases granulares no-tratadas de la AASHTO-93. **(Ver gráfico No.39 en anexo Pag XXI)**

6.4.3 Coeficientes Estructural a_3 .

El valor de CBR usado para el cálculo de la Sub-Base es igual a **54%** que corresponde al Banco de **Préstamo #1, (Mal Paso)** clasificado como un material **A-2-4 (0) con índice de grupo cero**, de acuerdo a la línea trazada en el nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de **$a_3 = 0.127$** y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **$Mr = 18,000 \text{ PSI}$** . **(Ver anexo Figura No.40 Pag, XXII)**

6.5 Número Estructural.

También conocido como valor de soporte de suelo, es un número asignado para poder representar la capacidad de soporte de un pavimento. Este número indica

la cantidad de espesores o capas que requiere un pavimento para soportar las cargas a las que será sometido durante su vida útil.

Para cada capa se consideran coeficientes relativos que dependen del material que las conforman, por lo tanto, podemos decir que el pavimento tendrá mayor capacidad de soporte mientras mayor sea el número estructural y viceversa. El número estructural (SN) se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$SN = SN_1 + SN_2 = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 = a_1 \times m_1 + a_2 \times m_2 \quad \text{Ecuación No.29}$$

Dónde:

D1, 2, 3= espesores de capas asfálticas, base y sub-base respectivamente en (pulgadas).

ai= coeficiente estructural de capa i, dependiente de su módulo

mi= coeficientes de drenaje para capas no estabilizadas, dependiente del tiempo requerido para drenar y del tiempo en que la humedad se encuentre en niveles cercanos a la saturación.

6.6 Cálculo de Espesores de la Estructura de Pavimento Números estructurales (SN).

Es la capacidad que posee la estructura de soportar las cargas bajo las condiciones de diseño.

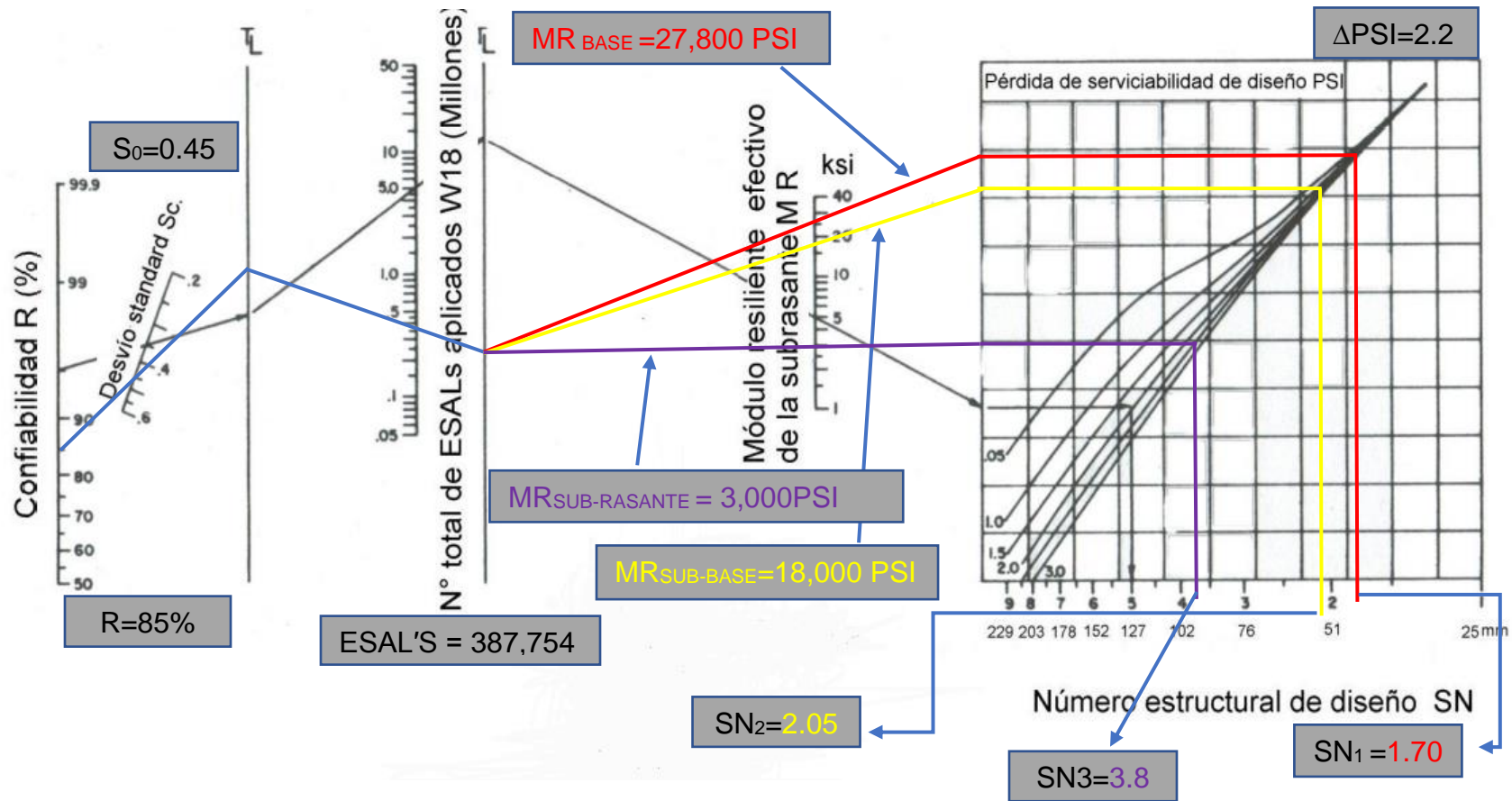
Para obtener los números estructurales (SN), se hará uso del ábaco de diseño para pavimentos flexibles propuesto por la AASHTO, donde se deben tener en cuenta ciertas variables como: Confiabilidad, desviación estándar, ESAL'S de diseño, el módulo resiliente de la capa inferior a la que se pretende calcular y la pérdida de serviciabilidad (Δ PSI).

Valores empleados para el cálculo de los números estructurales:

- Cálculo de espesores
- Tenemos los valores encontrados anteriormente.
- Ejes equivalentes ESALs: 387,754.00 ejes equivalentes por carril de diseño.

- Confiabilidad (%) R: 85.
- Desviación Estándar So: 0.45
- Serviciabilidad Inicial Po: 4.2
- Serviciabilidad final Pt: 2.0
- Pérdida de serviciabilidad: 2.2
- Propiedades de los materiales
- ✓ Módulo Resiliente Sub – Rasante: 3,000 PSI
- ✓ Módulo Resiliente Sub – Base: 18,000 PSI
- ✓ Módulo Resiliente Base: 27,800 PSI
- ✓ Coeficiente Estructural Sub Base a3: 0.127
- ✓ Coeficiente Estructural Base a2: 0.132
- ✓ Coeficiente Estructural Carpeta Adoquín a1: 0.45
- Drenaje (mi): 1.0

Figura No.41 : Ábaco de diseño AASTHO para pavimentos flexibles



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, pág. 174.

6.7 Cálculo del número estructural (SN) y espesores de capas (D)

Para el cálculo de SN; utilizamos el nomograma para resolver la ecuación AASHTO (ver página No.102) Obteniendo un resultado de SN₃ para

Sub-base = 2.05 y SN₂ para base = 1.70

El espesor D1 para nuestro caso está definido, debido que se utilizará adoquín como carpeta de rodamiento, por lo tanto, **D1= 4** pulgadas y el coeficiente estructural **a1: 0.45**.

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

$$SN1 = a1 * D1 \quad \text{Ecuación No.30}$$

$$SN1 = (0.45) * (4.00)$$

$$SN1=1.8$$

Calculo para el espesor de la base (D2):

$$SN = SN2 - SN1 \quad \text{Ecuación No.31}$$

$$D2 = (SN2 - SN1) / (a3 * m1)$$

$$D2 = (2.05 - 1.8) / (0.132 * 1)$$

$$D2 = 1.89 \text{ pulgadas.}$$

Las 1.89 pulgadas fue el espesor calculado D2 (Base), no obstante, este espesor no cumple con el espesor mínimo sugeridos por la AASHTO para la capa base, así que se hizo necesario utilizar el recomendado en la Tabla 36 para el ESAL's de diseño de 387,754.00. El espesor mínimo de la base granular es 4.00 pulgadas (10 centímetros).

Tabla No.53 Espesores Mínimos Sugeridos por Capa

Número de ESALs	Concreto Asfáltico	Base Granular
Menos de 50,000	2.5 cm	4
50,000 – 15,000	5,0 cm	4
150,000 – 500,000	6.5 cm	4
500,000 – 2,000,000	7.5 cm	6
2,000,000 – 7,000,000	9.0 cm	6
Más de 7,000,000	10.0 cm	6

Fuente: Guía de Diseño AASTHO 93, Capítulo 3, pág. 35

Se corrige el número estructural SN₂: utilizando espesor mínimo de 4" pulgadas

$$SN^*_2 = a_2 * D_2 * m_2$$

Ecuación No.32

$$SN^*_2 = (0.132) * (4.00) * (1.00)$$

$$SN^*_2 = 0.53$$

Cálculo del espesor para la Sub-base (D3):

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2 + SN^*_1)}{a_3 * m_3}$$

Ecuación No.33

$$D_3 = \frac{3.8 - (1.80 + 0.53)}{0.127 * 1.00}$$

$$D_3 = 11.57 \text{ pulgadas} = 12 \text{ pulg}$$

Verificación tenemos la formula siguiente:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Ecuación No. 34

$$3.8 = (0.45 \times 4") + (0.132 \times 4" \times 1) + (0.127 \times 12" \times 1)$$

$$3.8 = 1.8 + 0.53 + 1.52$$

$$3.8 = 3.85 \text{ ok}$$

Comprobación:

$$SN_1 + SN_2 \geq SN \text{ Requerido}$$

Ecuación No.35

$$1.8 + 0.53 + 1.52 \geq 3.81$$

$$3.85 > 3.81 \text{ ok}$$

6.8 Comprobación mediante el del Software WinPAS

Para comparar y comprobar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se determinan los espesores de las diferentes capas de pavimentos utilizando el software “WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4)”, que está basado en la guía para el diseño de estructuras de pavimento de la AASHTO ya que resulta una herramienta útil que agiliza y facilita los cálculos para el diseño. A continuación, se muestran los Parámetros de entrada para el programa WinPAS.

Tabla No.54: Datos de Entrada en WinPAS

Datos Para Utilizar en WinPAS.	
Confiabilidad (R)	85%
Capacidad de Servicio Inicial (Po)	4.2
Capacidad de Servicio Final (Pt)	2.0
Pérdida de Serviciabilidad Δ PSI	2.2
Número de Ejes Equivalentes (ESAL's)	387,754.00
C.B.R. de Diseño	2.0%
Módulo Resiliente Sub-rasante (MRSr)	3,000 PSI
Coeficiente de Drenaje (m _{1,23})	1.00
Coeficiente de Capa a1	0.45
Coeficiente de Capa a2	0.132
Coeficiente de Capa a3	0.127

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Figura No. 42: Software de diseño WinPAS.

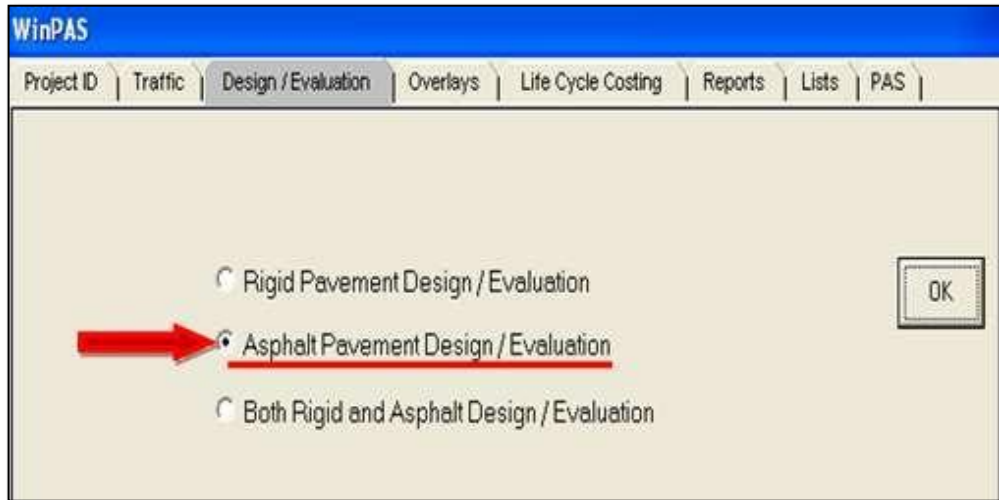


Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

El primer paso es seleccionar la pestaña de diseño/evaluaciones, donde se nos abrirá una nueva ventana que nos mostrará tres opciones de diseño, donde en

este caso se tendrá que elegir la opción 2 de diseño/evaluaciones de pavimento asfáltico.

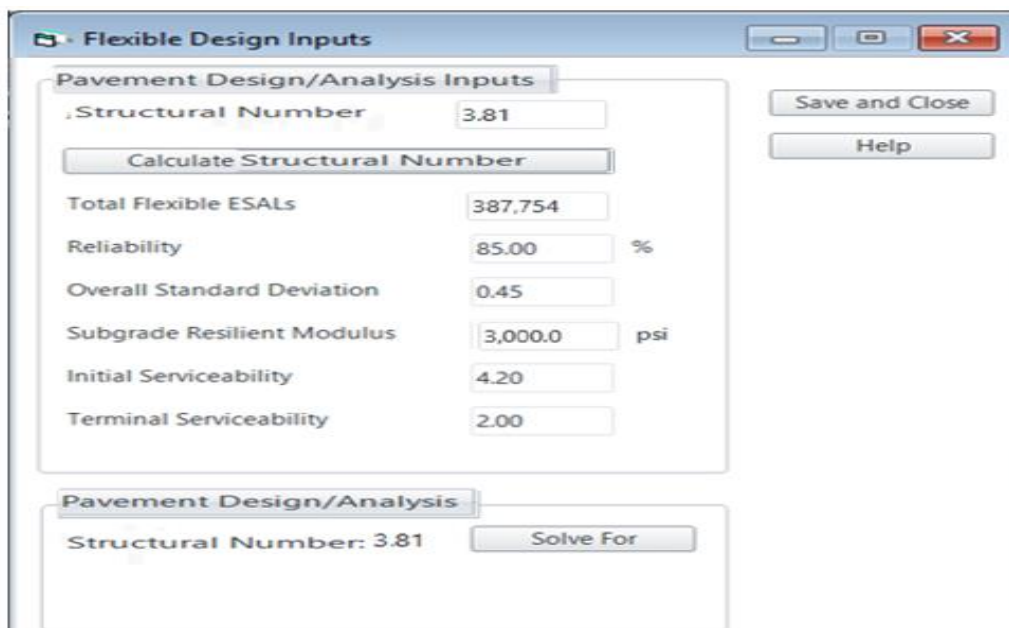
Figura No.43: Selección del Tipo de Pavimento a diseñar.



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

Luego se abrirá otra ventana que es donde se deben introducir los datos iniciales para el diseño:

Figura No.44: Calculo de SN requerido en WinPAS.



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

Después de haber dado click en la pestaña *resolver (Solve for)*. Según el software WinPAS se requiere un **SN=3.81**.

Lo siguiente será proponer la estructura de pavimento, entrando en la pestaña Calculate Structural Number.

Se procede a introducir los coeficientes estructurales (a_1 , a_2 , y a_3) los coeficientes de drenaje (m_1 , m_2 y m_3) y por último los espesores (D_1 , D_2 y D_3) Se puede observar que, al proponer los espesores calculados manualmente, estos cumplen, ya que $\Sigma SN=3.85$, es mayor que el **SN requerido=3.81**.

Figura No.45: Introducción de Layers de Diseño.

Layer Material	Layer Coefficient, a	Drainage Coefficient, m	Layer Thickness	Layer Struct No, SNi	Additional Thickness
	0.45	1	4	1.8	-0.09
	0.132	1	4	0.53	-0.3
	0.127	1	12	1.52	-0.31
	0	0	0	0	-0.31
	0	0	0	0	-0.31
	0	0	0	0	-0.31

Sum of SN: 3.85
SNRequired: 3.81

Buttons: Save and Close, Help, OK (circled in red)

Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

6.9 Espesores finales de Diseño

El tramo de carretera Comunidad El Pino III – Comunidad San Luis (4.5 kilómetros), será de **4 pulgadas** ya que en este caso se utilizará adoquín y la base granular será de **4 pulgadas**, en este diseño no es necesario la capa Sub-base, a continuación, se detallan son los siguientes espesores de diseño:

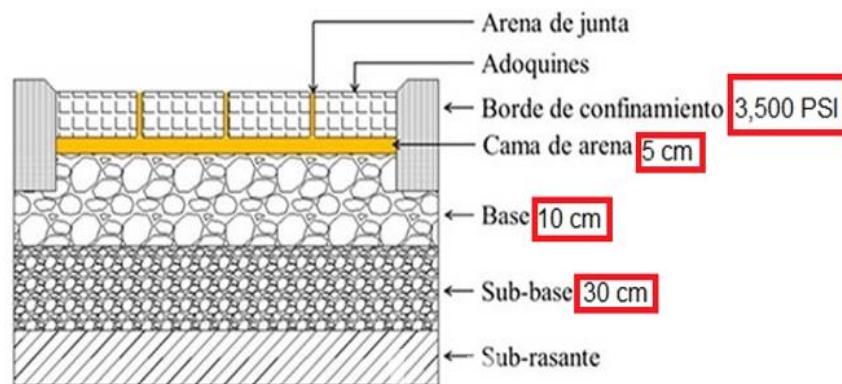
Tabla No.55 Espesores del diseño de pavimento

Capas	Espesor	
	Pulgadas	Centímetros
Capa de rodamiento (Adoquín)	4	10
Capa de arena	2	5
Base granular	4	10
Sub-base	12	30
Espesor Total Requerido	22"	55 cm

Fuente: Elaboración propia.

A como se observa en la tabla anterior, al utilizar adoquín como carpeta de rodamiento, el espesor de 5 centímetros de arena no es tomado en cuenta en la suma total del espesor requerido, dado que se considera que el lecho de arena no tiene ningún aporte estructural. Tal y como se muestra en la **Figura No.46** la estructura total es de **22 pulgadas** o **55 centímetros**.

Figura No.46: Estructura Final de Pavimento



Fuente: Elaborado por Sustentante

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

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

1. **Estudio Topográfico:** En este capítulo se desarrolló en base a la información obtenida por la alcaldía de San Juan de Limay en conjunto con la empresa constructora COICSA, Así mismo se realizó el reconocimiento del terreno, se estableció el BM geodésico, posteriormente con una Estación Total TOPCON se realizó el levantamiento tomando las coordenadas de cada punto (x, y, z) cada 20 m, iniciando el recorrido en la estación 6+650 ubicada en la comunidad El Pino III.
2. **Estudio Geotécnico:** se analizaron un total de 19 sondeos manuales con profundidades máximas de 1.50 metros los cuales evidencian que superficialmente existe una capa de rodamiento de 10 a 30 cm de espesor compuestos en su mayoría de grava arena y del tipo A-1-a y A-2-4. Los suelos por debajo de la línea de subrasante propuesta están conformados por arcillas negras de alta plasticidad, que clasifica como A-6, A-7-5 y A-7-6 que se considera de mala calidad para subrasante. El cálculo del CBR de la Sub-Rasante resulto de **2%**, este cálculo se realizó tomando un percentil de 75%.
3. Se concluye que los 2 bancos de préstamos identificados para este proyecto de adoquinado, de acuerdo a la sección II del Artículo 1003.23 de la NIC 2000, **el banco No. 1 (Mal Paso)** cumplen con un CBR de 54% Proctor Modificado, esta fuente de material para ser utilizado como Subbase granular, rellenos y terracería, aunque no cumplen para ser usados como base. Para base granular, rellenos, sub base, terracería se utilizó **el banco No. 2 (El Machete)** con un CBR de 86% Proctor Modificado.

4. **Estudio de tránsito:** Para la proyección del tránsito se utilizaron los factores de ajuste de la estación de corta duración (ECD) N.º 2402, (Villa 15 de Julio – Empalme Villanueva) ,y para determinar la tasa de crecimiento se utilizaron variables del Producto Interno Bruto(PIB), Datos históricos de tránsito ECD y crecimiento poblacional (POB) ,para posteriormente determinar las tasas de crecimiento de cada una de estas variables, con la finalidad de realizar un promedio entre las tasas de crecimiento de las tres variables en análisis, obteniendo a si una tasa de crecimiento final de 3.07%, una vez determinada la tasa de crecimiento se procede a calcular el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL's) de 387,754.00 en un periodo de 20 años trabajando con un $P_o=4.2$, $P_T=2.0$, $\Delta\psi=2.2$ y un $SN=5$.
5. En el Diseño geométrico, expone resultados que corresponden al establecimiento o definición de la Geometría Vial del tramo de (4.5 kilómetros), adoptando las Normas de Diseño del Proyecto mostradas en Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA, 2da Edición 2004), El tramo de carretera se diseñó con calzada de 6.6 metros, bordillos longitudinales de 0.15*0.30 metros a cada lado, para un total de sección típica de 6.6 metros. Se definieron los parámetros tal como; coeficiente de fricción longitudinal (0.17), radio de curvatura máximo (25.47 metros), pendiente transversal (2%), distancia de visibilidad de parada (75-85 metros) y rebase (180 metros); en función de la velocidad de diseño (60 km/h).
6. En el **Diseño de Pavimento** se utilizó el conjunto de datos calculados anteriormente como lo son ESAL'S 387,754.00, CBR de diseño de 2%, $MR_{sub-rasante}=3,000$ psi, $MR_{base}= 27,800$ psi, $MR_{Subbase}= 18,000$ psi $a_1=0.45$, $a_2=0.132$, $a_3=0.127$, $P_o=4.2$, $P_T=2.0$, $\Delta\psi=2.2$, SN requerido=3.8 $SN_2=2.20$ para luego calcular los espesores de la estructura de pavimento, siendo los espesores resultantes son de **4.00** pulgadas para la carpeta de rodamiento (adoquín), **2.00** pulgadas de arena y **4.00** pulgadas para la base granular.

RECOMENDACIONES

1. Los materiales para revestimiento serán provenientes de la explotación de bancos de material selecto. El material deberá estar libre de sustancias deletéreas o talcosas, teniendo propiedades ligantes tales que permitan una buena compactación y contribuyan a formar una capa de base bien ligada y densa.
2. Se recomienda realizar un estudio de estabilización con cal hidratada para reducir los índices de plasticidad en los bancos.
3. En los tramos, donde hay presencia de arcilla de alta plasticidad, se recomienda extraer dicho material y reponerlo con material del sitio de preferencia con materiales de los bancos estudiados y compactar al 100% del Proctor Estándar.
4. Realizar pruebas de densidad en compactación cada 20 metros para una mejor estabilización.
5. En la elaboración de la capa base, se debe constatar que el material no esté contaminado, que esté libre de cualquier otro material, ya sea bolsas, trozos de árboles o rocas muy grandes, ya que esto disminuirá la resistencia de la estructura y provocaría hundimientos en la estructura de rodamiento.
6. Utilizar adoquín tipo tráfico y que este cumpla con su resistencia de 3,500 PSI según la NIC 2000.
7. Los Adoquines de concreto deberán cumplir con las especificaciones de la norma NTON 12009-10 para Adoquines de concreto para pavimento.
8. La estructura final de pavimento articulado debe cumplir con los espesores de diseño que en este caso son, 12 pulgadas de sub base, 4 pulgadas de base granular, 2.00 pulgadas de Arena y adoquín de 4 pulgadas.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

AASHTO. (2011). Política sobre Diseño Geométrico de Caminos y Calles 6th Edición Libro verde. AASHTO.

AASHTO, e. a. (93). Diseño de Pavimentos AASHTO 93 (3ra edición). San Juan: instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.

Ayllón Acosta, J. (2004). Guia de pavimentos de concreto Asfaltico. Cochabamba Bolivia: Cochabamba.

Agudelo Ospina, J.J. (2002). Diseño Geométrico de Vías. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Conesa Fdez, V. (2010). Guia Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Fonseca, A. M. (2011). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras 2da.

Hoel, N. J. (2005). Ingeniería de Tránsito y carreteras. México: International Thomson Editores, S.A. de C.V.

MTI. (2018). Normas NIC 2018, División II, Especificación de calidad de los materiales.

SIECA. (2004). Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales . Centro América.

SIECA. (2011). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.

ANEXOS

Tabla No.6 Sondeos efectuados y resultados de ensayos

N°	Estación km	PROFUNDIDAD Capas en cms	GRANULOMETRIAS													LIMITES		CLASIFICACION			PROCTOR		CBR 95%	DESCRIPCION
			3"	2.5"	2"	1.5"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	LL	IP	AASHTO	IG	SUCS	MDS	Wopt			
			MANTO ROCOSO																					
1	6+750	0 - 30	92	100	100	84	76	68	57	45	35	28	20	14	37.44	6.7	A-2-4	0	GM	2059	6.3	51.5	Grava limosa con arena	
		30 - 80	100	100	100	100	100	100	100	100	94	83	78	75	75	38.9	13.7	A-6	10	CL	1326	17.2	8	Limo de baja plasticidad con arena
		80 - 125	100	100	100	100	100	95	95	91	89	85	82	79	37.22	12	A-6	9	CL	Limo de baja plasticidad con grava				
		125 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	99	94	91	87	44.1	18.7	A-7-6	18	ML	1188	16.3	1	Arcilla de media plasticidad	
2	7+000	0 - 12	88	100	100	80	73	65	55	47	37	28	20	16	40	8.6	A-2-4	0	GM	2059	6.3	51.5	Grava limosa con arena	
		12 - 43	99	100	100	96	92	90	86	86	82	79	75	71	41.77	9.9	A-5	7	ML	1347	15.9	6	Limo de baja plasticidad con grava	
		43 - 120	100	100	100	100	100	100	100	100	90	83	76	73	57.48	17.5	A-7-5	15	MH	1188	16.3	3	Limo de alta plasticidad con arena	
		120 - 130	100	100	100	100	97	92	88	86	83	79	73	69	NP	NP	A-4	0	ML	1206	16.4	5	Limo de baja plasticidad con grava	
3	7+250	130 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	84	78	74	58.24	18.2	A-7-5	16	MH	1180	16.3	3	Limo de alta plasticidad con arena	
		0 - 12	100	100	100	85	75	64	55	49	36	25	22	17	37.39	13.1	A-2-6	0	GC	1815	10.3	30	Grava arcillosa con arena	
		12 - 51	100	100	100	100	97	94	90	88	84	79	75	72	57	15.2	A-7-5	14	MH	1248	19.6	1	Limo de alta plasticidad con grava	
		51 - 100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	94	90	87	60.08	17	A-7-5	21	MH				Limo de alta plasticidad	
100 - 124	85	100	100	81	78	71	67	67	67	59	55	54	NP	NP	A-4	0	ML	1305	13.7	12	Limo de baja plasticidad gravoso			
4	7+500	124 - +	MANTO ROCOSO																					
		0 - 12	100	100	100	88	81	70	65	60	49	43	38	35	32.41	13.1	A-2-6	1	GC	1815	10.3	30	Grava arcillosa	
		12 - 65	100	100	100	96	92	83	80	76	72	68	64	62	69.17	11.2	A-7-5	10	MH	1248	19.6	1	Limo de alta plasticidad gravoso	
		65 - 75	100	100	100	96	93	90	87	84	80	75	72	70	71.42	10.8	A-7-5	13	MH				Limo de alta plasticidad gravoso	
75 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	89	77	71	62.24	17.8	A-7-5	16	MH	Limo de alta plasticidad con arena						
5	7+750	0 - 8	100	100	100	88	79	68	60	54	46	38	34	30	31.24	17.9	A-2-6	1	GC	1815	10.3	30	Grava arcillosa con arena	
		8 - 100	100	100	100	96	95	92	89	84	81	76	72	70	44.68	10	A-5	8	ML	1347	15.9	6	Limo de baja plasticidad gravoso	
		100 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	88	84	76	65.84	15.3	A-7-5	17	MH	1188	16.3	3	Limo de alta plasticidad con arena	
6	8+000	0 - 7	100	100	100	89	478	69	65	57	49	42	36	33	33.59	11.3	A-2-6	0	GC	1815	10.3	30	Grava arcillosa con arena	
		7 - 14	100	100	100	98	95	90	87	83	81	77	72	69	43.75	15.2	A-7-6	10	ML	1227	18.2	1	Limo de baja plasticidad gravoso	
		14 - 150	100	100	100	96	93	89	85	85	81	77	72	70	56.57	15.2	A-7-5	13	MH	1188	16.3	3	Limo de alta plasticidad gravoso	
7	8+250	0 - 9	100	100	100	93	83	75	71	64	57	50	42	35	33.39	11.1	A-2-6	0	GC	1801	10.9	28	Grava arcillosa con arena	
		9 - 54	100	100	100	97	95	91	88	84	82	79	74	72	37.31	6.8	A-4	5	ML	1412	9.6	12	Limo de baja plasticidad con grava	
		54 - 89	100	100	100	100	89	89	82	82	79	73	71	68	32.79	14	A-6	6	CL	1189	15	9	Arcilla de media plasticidad gravosa	
		89 - 99	100	100	100	100	94	90	82	82	79	79	68	66	47.06	18.1	A-7-6	11	ML	1182	15.7	0	Limo de baja plasticidad con grava	
8	8+500	99 - 150	100	100	100	100	100	100	100	95	93	90	87	42.79	13.38	A-7-5	14	MH	1180	16.3	3	Limo de baja plasticidad		
		0 - 20	100	100	100	96	90	81	74	66	58	50	38	34	37.74	15.4	A-2-6	1	GC	1801	10.9	28	Grava arcillosa con arena	
		20 - 54	100	100	100	698	96	94	90	86	82	79	72	68	30.42	8.9	A-4	4	ML	1412	9.6	12	Arcilla de media plasticidad gravosa	
		54 - 60	100	100	100	100	100	91	87	87	82	73	61	58	44.34	21.9	A-7-6	10	ML	1188	16.3	0	Arcilla de media plasticidad con arena	
		60 - 82	100	100	100	100	100	96	96	94	89	81	80	42.09	14.8	A-7-6	13	ML	Limo baja plasticidad arenoso					
		82 - 95	100	100	100	100	100	100	100	100	97	93	85	83	42.53	15.9	A-7-6	14	ML	Limo baja plasticidad arenoso				
9	8+750	95 - 150	100	100	100	91	77	58	48	35	27	23	19	16	NP	NP	A-1-b	0	GM	1768	8.4	40	Grava limosa	
		0 - 7	100	100	100	96	90	81	74	66	58	50	38	34	37.74	15.4	A-2-6	1	GC	1801	10.9	28	Grava arcillosa con arena	
		7 - 50	100	100	100	98	94	91	88	83	80	75	72	70	30.69	9.5	A-4	5	ML	1412	9.6	12	Arcilla de media plasticidad gravosa	
10	9+000	50 +	MANTO ROCOSO																					
		0 - 10	100	100	100	96	92	84	77	68	54	46	34	30	NP	NP	A-2-4	0	GM	1826	11	52.3	Grava limosa con arena	
		10 - 60	100	100	100	100	100	100	98	94	91	83	75	71	42.44	16.7	A-7-6	11	ML	1227	18.2	1	Arcilla media plasticidad con arena	
		60 - 100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	96	92	90	35.2	14.7	A-6	13	CL	1189	15	8	Arcilla media plasticidad	
100 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	92	89	49.05	24.11	A-7-6	24	ML	1182	15.7	0	Arcilla alta plasticidad			

Fuente: Icavielca, Laboratorio de Suelos y Materiales (Consultoría y Diseño)

Tabla No.7 Sondeos efectuados y resultados de ensayos

N°	Estación km	PROFUNDIDAD	GRANULOMETRIAS												LIMITES		CLASIFICACION			PROCTOR		CBR	DESCRIPCION	
		Capas en cms	3"	2.5"	2"	1.5"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	LL	IP	AASHTO	IG	SUCS	MDS	Wopt	95%		
11	9+250	0 - 10	100	100	100	96	92	85	77	67	55	46	36	32	NP	NP	A-2-4	0	GM	1826	11	52.3	Grava limosa con arena	
		10 - 50	100	100	100	100	100	100	100	98	95	92	87	80	77	39	13	A-6	10	ML	1313	15.7	7	Limo de baja plasticidad con arena
		50 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	91	83	57	24	A-7-5	23	MH	1188	16.3	0	Limo de alta plasticidad con arena
12	9+500	0 - 19	100	100	100	97	92	88	83	75	60	48	36	31	NP	NP	A-2-4	0	GM	1826	11	52.3	Grava limosa con arena	
		19 - 59	100	100	100	100	100	100	98	95	92	87	80	77	37	13	A-6	10	CL	1313	15.7	7	Arcilla de media plasticidad con arena	
		59 - 123	100	100	100	100	100	94	90	80	77	75	70	67	48	26	A-7-6	16	ML	1194	15.8	2	Arcilla de media plasticidad gravosa	
		123 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99	96	94	45	15	A-7-5	18	MH	1182	15.7	1	Limo de baja plasticidad	
3	9+750	0 - 10	100	100	100	98	93	86	82	73	63	51	38	33	NP	NP	A-2-4	0	GM	1826	11	52.3	Grava limosa con arena	
		10 - 150	100	100	100	100	100	100	98	95	91	86	78	75	39	8.1	A-4	7	ML	1455	10.3	15	Limo de baja plasticidad con arena	
14	10+000	0 - 5	100	100	100	98	94	86	81	73	61	51	38	34	NP	NP	A-2-4	0	GM	1820	11.1	51.6	Grava limosa con arena	
		5 - 30	100	100	100	100	100	100	98	95	91	86	80	76	40	10	A-4	8	ML	1455	10.3	15	Limo de baja plasticidad con arena	
		30 - 80	100	100	100	100	100	93	85	81	81	79	78	74	50	23	A-7-6	18	ML	1194	15.8	2	Arcilla de media plasticidad con grava	
		80 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	99	95	88	80	43	12	A-7-5	11	MH	1182	15.7	1	Limo baja plasticidad arenoso	
15	10+250	0 - 15	100	100	98	96	93	86	78	69	59	49	36	32	NP	NP	A-2-4	0	GM	1820	11.1	51.6	Grava limosa con arena	
		15 - 30	100	100	100	100	100	100	99	96	90	84	79	76	39	18	A-6	13	CL	1313	15.7	7	Arcilla media plasticidad con arena	
		30 - 75	100	100	100	100	95	95	87	83	83	81	77	73	45	18	A-7-6	13	ML	1194	15.8	2	Limo de baja plasticidad con grava	
		75 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	99	98	96	91	52	20	A-7-5	22	MH	1181	16.5	0	Limo alta plasticidad	
16	10+500	0 - 40	100	100	98	95	91	85	76	68	59	51	38	35	NP	NP	A-2-4	0	GM	1820	11.1	51.6	Grava limosa con arena	
		40 - 150	100	100	100	100	100	100	98	94	89	83	76	74	39	16	A-6	11	CL	1313	15.7	7	Arcilla media plasticidad con arena	
17	10+750	0 - 10	100	100	96	92	82	77	69	61	52	44	34	30	NP	NP	A-2-4	0	GM	1820	11.1	51.6	Grava limosa con arena	
		10 - 54	100	100	100	100	100	100	96	94	89	84	77	73	40	16	A-6	11	CL	1313	15.7	7	Arcilla media plasticidad con arena	
		54 - 100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	91	87	44	15	A-7-6	15	ML	1194	15.8	2	Limo de baja plasticidad	
		100 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	86	71	67	45	22	A-7-6	14				ML	Arcilla de media plasticidad arenosa
18	11+000	0 - 39	100	100	96	92	83	75	65	55	48	40	36	33	NP	NP	A-2-4	0	GM	1820	11.1	51.6	Grava limosa	
		39 - 100	100	100	100	100	100	100	95	91	86	82	78	75	38	12	A-4	9	ML	1455	10.3	15	Limo de baja plasticidad con grava	
		100 - +	MANTO ROCOSO																					
19	11+250	0 - 32	100	100	100	97	97	97	97	97	96	93	65	53	34	7	A-4	2	ML	1649	13.4	8	Limo baja plasticidad arenoso	
		32 - 50	100	100	86	77	77	77	71	66	62	60	56	54	39	15	A-6	6	CL	1313	15.7	7	Arcilla de media plasticidad gravosa	
		50 - 70	100	100	100	100	100	100	87	78	65	48	36	28	NP	NP	A-2-4	0	SM	1786	10	52	Arena limosa con grava	
		70 - 105	100	100	100	100	100	100	100	100	98	94	93	88	40	14	A-6	13	ML	1176	15.3	7	Limo de baja plasticidad	
		105 - 150	100	100	100	100	100	100	100	97	94	90	86	83	42	17	A-7-6	15	CL	1116	16.9	0	Arcilla de media plasticidad arenosa	

Fuente: Icavielca, Laboratorio de Suelos y Materiales (Consultoría y Diseño)

Tabla No.11 Clasificación de suelos, según AASHTO

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

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

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

Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejo, pág. 46

Figura No.10 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Jueves)

Estación No. 1	Tramo: Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis							Día	Jueves 23/07/2020		Sentido		Norte-Sur		
Ubicación Km	6+650 - 11+150							Horas	12				Sur-Norte		
HORA	VEHICULOS DE PASAJEROS							VEHICULOS DE CARGA					EQUIPO PES		Total Veh
	Moto	Automoviles	Jeeps	Camionetas	Microbus < 15 Personas	Mini. Bus (15 - 30 Personas)	Bus(> 30 Personas)	C2 (2-5 Ton)	C2 (> 5 Ton)	C-3	T3-S3	V.A.	V.C.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
6:00-7:00	3	4	0	3	0	0	1	1	1	2	0	0	0	15	
7:00-8:00	7	2	2	7	0	1	1	0	0	0	0	0	0	20	
8:00-9:00	8	1	1	4	0	0	2	0	0	1	2	0	0	19	
9:00-10:00	5	3	2	6	1	0	0	3	0	0	0	0	0	20	
10:00-11:00	11	5	0	5	1	0	0	2	1	0	0	0	0	25	
11:00-12:00	8	2	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	14	
12:00-1:00	5	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	15	
1:00-2:00	4	0	0	4	0	0	0	4	0	1	0	0	0	13	
2:00-3:00	7	1	1	4	0	0	0	1	1	2	0	0	0	17	
3:00-4:00	3	5	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	12	
4:00-5:00	4	2	2	2	0	0	0	1	1	1	0	0	0	13	
5:00-6:00	10	3	0	6	0	0	2	2	1	4	0	0	0	28	
Total	75	31	10	48	3	2	7	16	6	11	2	0	0	211	

Fuente: Elaboracion propia.

Figura No.11 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (viernes)

Estación No. 1		Tramo: Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis						Día		Viernes 24/07/2020		Sentido		Norte-Sur							
Ubicación Km		6+650 - 11+150						Horas		12				Sur-Norte							
VEHICULOS DE PASAJEROS															VEHICULOS DE CARGA				EQUIPO PES		Total Veh
HORA	Moto	Automoviles	Jeeps	Camionetas	Microbus < 15 Personas	Mini. Bus (15 - 30 Personas)	Bus(> 30 Personas)	C2 (2-5 Ton)	C2 (> 5 Ton)	C-3	T3-S3	V.A.	V.C.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14								
6:00-7:00	4	0	2	6	0	0	1	2	0	0	1	0	0	16							
7:00-8:00	8	1	1	3	0	0	1	1	0	2	0	0	0	17							
8:00-9:00	3	4	0	4	0	0	1	3	0	0	0	0	0	15							
9:00-10:00	7	5	1	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	17							
10:00-11:00	5	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13							
11:00-12:00	9	2	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	17							
12:00-1:00	2	1	0	8	0	0	2	0	2	1	0	0	0	16							
1:00-2:00	5	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12							
2:00-3:00	8	2	0	7	0	0	0	1	0	0	1	0	0	19							
3:00-4:00	11	5	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	20							
4:00-5:00	3	0	2	8	0	0	1	0	1	3	0	0	0	18							
5:00-6:00	7	4	0	10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	22							
Total	72	34	8	57	1	0	10	8	3	7	2	0	0	202							

Fuente: Elaboracion propia.

Figura No.12 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Sábado)

Estación No. 1		Tramo: Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis						Día		Sabado 25/07/2020		Sentido		Norte-Sur							
Ubicación Km		6+650 - 11+150						Horas		12				Sur-Norte							
VEHICULOS DE PASAJEROS															VEHICULOS DE CARGA				EQUIPO PES		Total Veh
HORA	Moto	Automoviles	Jeeps	Camionetas	Microbus < 15 Personas	Mini. Bus (15 - 30 Personas)	Bus(> 30 Personas)	C2 (2-5 Ton)	C2 (> 5 Ton)	C-3	T3-S3	V.A.	V.C.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14								
6:00-7:00	2	9	3	7	0	0	1	0	1	2	0	0	0	25							
7:00-8:00	6	6	2	5	0	0	1	0	2	0	0	0	0	22							
8:00-9:00	6	1	5	9	1	0	2	0	1	0	0	0	0	25							
9:00-10:00	5	9	0	6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	22							
10:00-11:00	9	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14							
11:00-12:00	3	2	0	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	10							
12:00-1:00	7	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11							
1:00-2:00	3	1	0	6	0	0	0	2	0	2	0	0	0	14							
2:00-3:00	4	5	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	11							
3:00-4:00	4	1	2	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	10							
4:00-5:00	7	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15							
5:00-6:00	2	2	0	4	0	0	1	3	1	0	0	0	0	13							
Total	58	43	15	50	1	0	6	7	8	4	0	0	0	192							

Fuente: Elaboracion propia.

Figura No.13 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Domingo)

Estacion No. 1	Tramo: Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis						Dia	Domingo 26/07/2020	Sentido		Norte-Sur							
Ubicación Km	6+650 - 11+150						Horas	12			Sur-Norte							
VEHICULOS DE PASAJEROS														VEHICULOS DE CARGA		EQUIPO PES		Total Veh
HORA	Moto	Automoviles	Jeeps	Camionetas	Microbus < 15 Personas	Mini. Bus (15 - 30 Personas)	Bus(> 30 Personas)	C2 (2-5 Ton)	C2 (> 5 Ton)	C-3	T3-S3	V.A.	V.C.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
6:00-7:00	3	1	3	1	0	0	1	2	0	2	0	0	0	13				
7:00-8:00	11	4	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	19				
8:00-9:00	2	3	0	7	0	1	1	0	0	0	0	0	0	14				
9:00-10:00	3	0	2	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8				
10:00-11:00	6	4	1	6	0	0	1	0	1	0	0	0	0	19				
11:00-12:00	2	2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	7				
12:00-1:00	8	6	0	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	20				
1:00-2:00	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8				
2:00-3:00	0	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4				
3:00-4:00	5	3	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	11				
4:00-5:00	9	0	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	14				
5:00-6:00	5	1	0	5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	13				
Total	60	24	9	35	0	3	8	6	2	3	0	0	0	150				

Fuente: Elaboracion propia.

Figura No.14 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Lunes)

Estacion No. 1	Tramo: Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis						Dia	Lunes 27/07/2020	Sentido		Norte-Sur							
Ubicación Km	6+650 - 11+150						Horas	12			Sur-Norte							
VEHICULOS DE PASAJEROS														VEHICULOS DE CARGA		EQUIPO PES		Total Veh
HORA	Moto	Automoviles	Jeeps	Camionetas	Microbus < 15 Personas	Mini. Bus (15 - 30 Personas)	Bus(> 30 Personas)	C2 (2-5 Ton)	C2 (> 5 Ton)	C-3	T3-S3	V.A.	V.C.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14					
6:00-7:00	10	4	2	5	0	0	1	4	0	2	0	0	0	28				
7:00-8:00	7	3	0	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	16				
8:00-9:00	9	7	2	6	1	0	2	0	0	0	1	0	0	28				
9:00-10:00	6	6	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	15				
10:00-11:00	3	5	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12				
11:00-12:00	10	2	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	15				
12:00-1:00	4	6	1	5	0	0	2	0	2	0	0	0	0	20				
1:00-2:00	13	2	0	0	1	0	0	3	3	2	0	0	0	24				
2:00-3:00	6	5	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	15				
3:00-4:00	8	5	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	18				
4:00-5:00	7	9	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	20				
5:00-6:00	9	5	1	0	0	0	2	3	0	1	1	0	0	22				
Total	92	59	11	26	2	0	10	15	8	7	3	0	0	233				

Fuente: Elaboracion propia.

Figura No.15 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Martes)

Estacion No. 1	Tramo: Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis						Dia	Martes 28/07/2020	Sentido				Norte-Sur							
Ubicación Km	6+650 - 11+150						Horas	12					Sur-Norte							
VEHICULOS DE PASAJEROS															VEHICULOS DE CARGA				EQUIPO PES	Total Veh
HORA	Moto	Automoviles	Jeeps	Camionetas	Microbus < 15 Personas	Mini. Bus (15 - 30 Personas)	Bus (> 30 Personas)	C2 (2-5 Ton)	C2 (> 5 Ton)	C-3	T3-S3	V.A.	V.C.							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14							
6:00-7:00	9	3	0	8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	21						
7:00-8:00	11	4	2	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	22						
8:00-9:00	2	1	1	3	0	1	2	0	0	0	0	0	0	10						
9:00-10:00	5	7	1	6	0	0	0	1	1	0	0	0	0	21						
10:00-11:00	3	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6						
11:00-12:00	12	2	2	6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	24						
12:00-1:00	8	2	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	15						
1:00-2:00	7	5	0	4	0	0	1	3	0	0	0	0	0	20						
2:00-3:00	8	2	1	5	0	0	1	1	1	1	0	0	0	20						
3:00-4:00	6	1	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	11						
4:00-5:00	5	3	0	6	0	0	0	1	1	1	0	0	0	17						
5:00-6:00	4	2	0	7	0	0	0	2	0	2	0	0	0	17						
Total	80	34	7	55	0	1	7	8	6	5	1	0	0	204						

Fuente: Elaboracion propia.

Figura No.16 Conteo vehicular del tramo Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis (Miércoles)

Estacion No. 1	Tramo: Comunidad El Pino III - Comunidad San Luis						Día	Miercoles 29/07/2020	Sentido		Norte-Sur			
Ubicación Km	6+650 - 11+150						Horas	12			Sur-Norte			
VEHICULOS DE PASAJEROS														
VEHICULOS DE PASAJEROS														
VEHICULOS DE PASAJEROS														
HORA	Moto	Automoviles	Jeeps	Camionetas	Microbus < 15 Personas	Mini. Bus (15 - 30 Personas)	Bus(> 30 Personas)	C2 (2-5 Ton)	C2 (> 5 Ton)	C-3	T3-S3	V.A.	V.C.	Total Veh
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
6:00-7:00	8	2	3	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	16
7:00-8:00	5	4	0	4	0	0	1	0	2	0	0	0	0	16
8:00-9:00	7	5	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	16
9:00-10:00	4	3	4	7	0	0	0	1	0	1	0	0	0	20
10:00-11:00	9	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
11:00-12:00	5	2	0	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	12
12:00-1:00	2	1	0	8	2	0	2	1	0	1	0	0	0	17
1:00-2:00	5	2	0	5	0	0	0	3	0	0	1	0	0	16
2:00-3:00	7	5	1	3	0	0	0	0	0	2	1	0	0	19
3:00-4:00	6	3	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	13
4:00-5:00	3	2	1	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	10
5:00-6:00	4	0	4	2	0	0		4	0	2	0	0	0	16
Total	65	33	14	39	2	0	8	12	4	6	2	0	0	185

Fuente: Elaboracion propia.

Figura No.22 Estación de Corta Duración asociada al tráfico que circula por la comunidad San Luis.



MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION
DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL
OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS
TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTORICO POR TIPO DE VEHICULO
AÑO 2018

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA			
167	NIC-24B	2402	ECD	Villa 15 de Julio - Emp.Villanueva	Chinandega	2017	407	188	90	492	113	4	121	134	83	26		476			6	1	27	2,168			
						2012	195	134	102	364	115	5	142	104	72	20		609			1	3			28	1,894	
						2010	135	77	86	252	66	1	120	85	44	12	1	464					1		10	1,354	
						2009	109	124	79	320	48	25	120	107	75	21		422				1		1		8	1,459
						2006	26	81	67	246	41		100	45	80	11	28	359						2		12	1,099
						2002	50	62	71	215	69	15	114	37	76	18	0	340						4		9	1,079
						1999	23	71	92	315	100		105	75	147	53	0	343				0	8	0	13	1,347	
						1997	30	61	58	217	15	2	106	27	88	11	1	232						15		20	883
						1996	25	63	63	198	2	22	88	28	79	10		185						15		8	786
						EMC: 2400																					
Tasa Crecimiento:						6.44%																					
						2018	433	200	96	524	120	4	129	143	88	28		507			6	1	29	2,308			

Fuente: Anuario de Aforos de tráfico, año 2018. Pág. 160.

Figura No.19 Factores correspondientes para obtener TPDA asociada a la estación de mayor cobertura No. 2400, Rotonda Chinandega – Ranchería.



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

ESTACION DE MAYOR COBERTURA 2400
ROTONDA CHINANDEGA - RANCHERÍA
FACTORES - 2018



Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

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	1.30	1.23	1.23	1.23	1.19	1.40	1.27	1.23	1.26	1.33	1.00	1.39	1.00	1.00	1.07	1.00	1.17
Factor Semana	1.04	1.03	0.98	0.94	1.00	1.19	0.93	0.91	0.88	0.91	1.00	0.94	1.00	1.00	0.81	1.00	1.01
Factor Fin de Semana	0.91	0.93	1.05	1.20	1.01	0.71	1.21	1.30	1.49	1.33	1.00	1.18	1.00	1.00	2.32	1.00	0.97
Factor Expansión a TPDA	0.87	0.95	0.94	0.97	1.00	0.77	1.03	1.01	0.87	1.57	1.00	1.01	1.00	1.00	0.61	1.00	0.68

Fuente: Anuario de Aforos de tráfico, año 2018. Pág. 390

Figura No.24 Producto Interno Bruto expresados en millones de córdobas, periodo comprendido del 2006-2018

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

Cuadro - Table I-1

Producto interno bruto: enfoque de la producción - Gross domestic product: production approach

(millones de córdobas constantes - millions of 2006 cordobas)

Conceptos - Concepts	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016 ^{1/}	2017 ^{1/}	2018 ^{1/}
Producto interno bruto - Gross domestic product	118,837.7	124,870.3	129,160.5	124,907.7	130,416.3	138,654.2	147,661.4	154,936.8	162,351.3	170,131.6	177,894.9	186,212.4	179,107.0
Más - Plus: Impuestos netos a los productos - Net taxes on products	11,248.0	12,069.1	12,352.6	12,049.3	12,186.8	13,385.7	14,561.4	14,973.4	15,643.0	16,986.3	17,884.3	18,725.2	17,053.3
Total industrias - All industries													
Agricultura - Agriculture	9,495.3	10,693.4	10,068.2	10,481.3	10,754.8	11,580.4	11,852.9	11,534.4	11,495.9	11,518.9	12,486.6	13,267.3	13,703.3
Pecuario - Livestock	7,067.9	7,932.3	8,787.6	8,403.2	8,610.0	8,897.6	8,207.6	8,022.7	8,322.8	8,241.9	8,412.9	9,473.7	8,962.5
Silvicultura y extracción de madera - Forestry	1,440.4	1,485.6	1,518.1	1,504.0	1,513.9	1,602.6	1,632.8	1,643.5	1,658.8	1,659.6	1,619.4	1,640.5	1,570.8
Pesca y acuicultura - Fishing	891.2	1,008.6	1,178.3	1,344.0	1,415.8	1,358.6	1,523.5	1,601.7	1,883.6	1,752.3	1,711.8	1,901.5	2,180.8
Explotación de minas y canteras - Mining and quarrying	1,089.1	1,048.9	1,013.0	978.7	1,483.5	1,864.6	2,068.4	2,531.6	2,541.1	2,533.8	2,740.8	2,492.4	2,535.2
Industrias manufactureras - Manufacturing	16,153.7	16,758.0	16,988.3	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	6,932.3	6,559.7
Propiedad de vivienda - Housing	9,881.6	10,042.5	10,149.3	10,325.0	10,234.2	10,379.0	10,527.1	10,853.7	11,129.6	11,479.8	11,850.6	12,188.6	12,041.2
Administración pública y defensa - Public administration and defense	6,081.4	6,332.7	6,974.9	7,329.6	7,671.6	8,052.7	8,392.4	8,867.5	9,250.9	9,560.3	10,189.3	10,765.3	10,756.5
Enseñanza - Education	5,329.9	5,458.9	5,706.9	5,730.4	5,744.8	5,916.0	6,105.0	6,197.6	6,327.7	6,557.3	6,792.5	7,042.8	7,250.4
Salud - Health	2,817.5	2,980.7	3,078.4	2,972.3	2,981.4	2,999.7	3,154.2	3,571.7	3,642.2	3,859.3	4,045.1	4,184.0	4,295.4
Otros servicios - Other services	10,600.8	11,193.1	12,567.9	12,621.0	13,787.0	13,497.9	14,353.1	15,105.5	16,610.8	17,349.2	18,209.6	18,968.8	18,563.4

Figura No.25 Tasa de crecimiento del PIB, periodo 2007-2018

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

Cuadro - Table I-2

Producto interno bruto: enfoque de la producción - Gross domestic product: production approach

(tasas de crecimiento - Growth rate)

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

Figura No.23 Proyecciones poblacional del 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
ESTELÍ			
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	125 661	59 560	66 101
2019	126 006	59 727	66 279
2020	126 457	59 891	66 566
Tasa de Crecimiento			
2005 - 2010	0.5	0.4	0.6
2010 - 2015	0.3	0.3	0.3
2015 - 2020	0.3	0.3	0.4

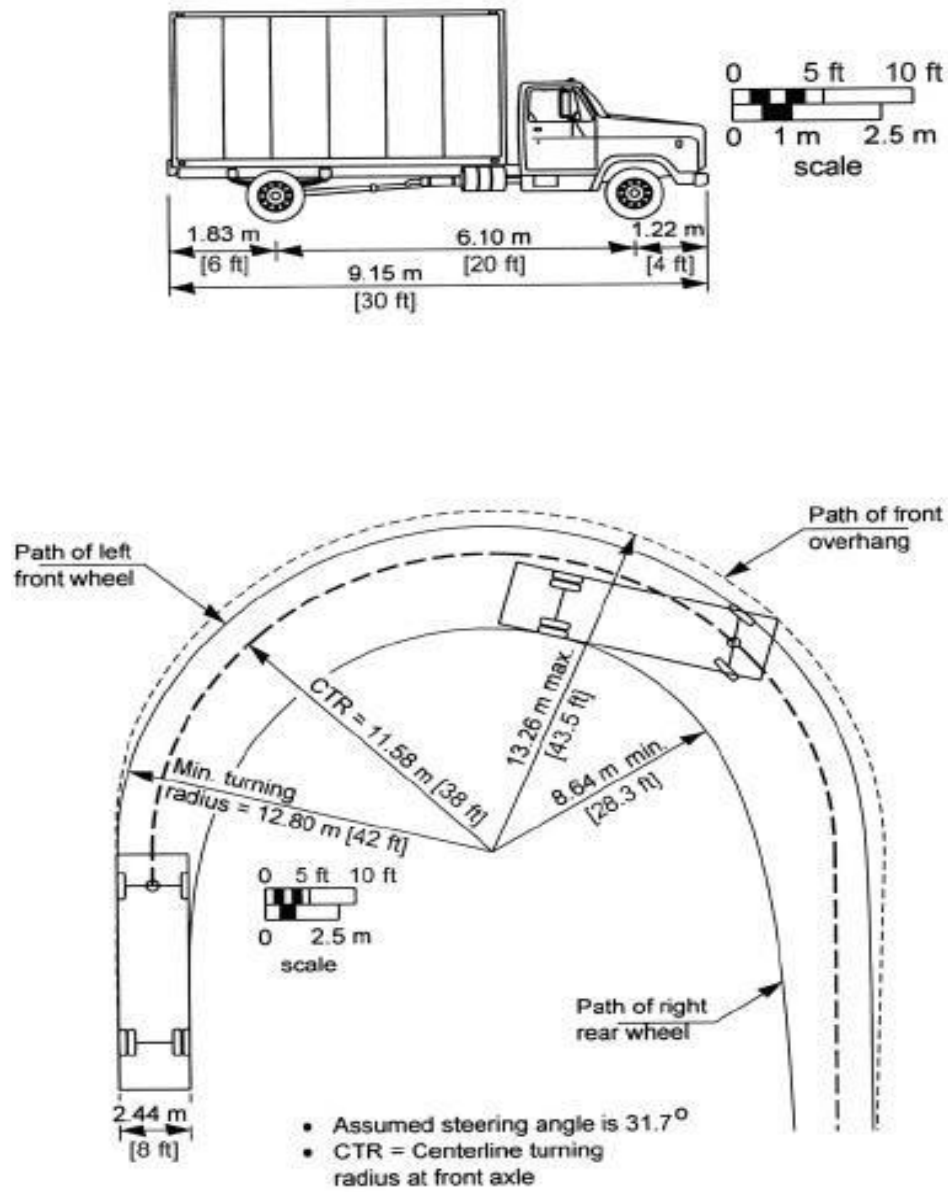
Fuente: Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) pág. 48.

Tabla No.8 Banco de material investigado

NOMBRE Y UBICACIÓN	VOLUMEN DISPONIBLE (M ³)	MATERIAL Y POSIBLE USO	COORDENADAS	
			Lat.	Long.
Banco Mal Paso, se localiza en la estación 7+190, aproximadamente a 300 mts a la derecha.	81,850	Este material de forma natural puede ser usado para subbase, terracería mejorada y rellenos.	13°13'44.46" N	86°33'24.25" O
Banco El Machete, se localiza en la estación 10+850, aproximadamente a 90 mts a la derecha.	127,000	Puede ser usado para capa de subbase, rellenos y como base granular.	13°13'40.67" N	86°15'58.22" O

Fuente: Icavielca, Laboratorio de Suelos y Materiales (Consultoría y diseño)

Figura No.27 Características Estructurales Funcionales-Operativas del Vehículo de Diseño C2.



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

Tabla No.57 Distancia de Visibilidad de Parada en Caminos con pendiente.

Velocidad (km/h)		20	30	40	50	60	70	80
Pendiente En Ascenso (+G)	12	17	29	41	56	72	90	110
	11	17	29	42	57	73	91	111
	10	17	29	42	57	74	92	112
	9	18	29	43	58	75	93	114
	8	18	30	43	58	75	94	115
	7	18	30	43	58	76	95	117
	6	18	30	44	59	77	97	118
	5	18	30	44	60	78	98	119
	4	18	30	44	60	79	99	121
	3	19	31	45	61	80	100	123
	2	19	31	45	62	81	102	125
	1	19	31	46	63	82	103	127
Pendiente En Descenso (-G)	1	20	32	47	64	85	106	131
	2	20	32	48	65	85	108	133
	3	20	32	50	66	87	110	136
	4	20	33	50	67	88	112	138
	5	20	33	50	68	90	114	141
	6	20	35	50	70	92	116	144
	7	20	35	51	71	93	119	147
	8	20	35	52	72	95	121	151
	9	20	35	53	74	97	124	154
	10	21	36	53	74	97	124	154
	11	21	36	54	77	102	131	163
	12	21	37	56	78	105	134	167

Fuente: Manual Centroamericano de Diseño de Carreteras (SIECA)

Tabla No.36 Control de Diseño para Curva Vertical en Cresta para Distancia de Visibilidad de Parada.

Velocidad de Diseño (km/h)	Distancia visual 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
130	285	123.4	124

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

Tabla No.39: T Resumen de Alineamiento Horizontal

No Curva	Radio (R) m	Angulo de deflexion de las tangentes Δ (m)	Grado de Curvatura (Gc)	Tangente (m)	Longitud de la curva Lc (m)	Externa (E)	Media (M)	Sa(m)
1	115.00	55°24'21"	09°57'46.92"	60.38	111.21m	14.89 m	13.18	0.60
2	280.00	21°14'10"	4°05'33"	52.49	103.779m	4.78 m	4.79	0.00
3	115.00	92°30'52"	9°27'52"	120.16	185.69	51.32 m	35.49	0.60
4	115.00	48°41'48"	9°57'52"	52.04	97.74	11.23 m	10.23	0.60
5	120.00	13°45'21"	9°32'57"	14.48	28.81	0.87 m	0.86	0.60
6	140.00	19°15'02"	08°11'07"	23.74	47.04	1.99 m	1.97	0.40
7	115.00	21°16'08"	09°57'52"	21.59	42.69	1.75 m	1.98	0.60
8	140.00	20°14'13"	08°11'07"	24.96	49.45	2.21 m	2.18	0.40
9	200.00	20°49'52"	05°43'47"	36.76	72.715m	3.35 m	3.3	0.40
10	180.00	31°16'29"	06°21'58"	50.38	98.253m	6.92 m	6.66	0.40
11	113.00	16°38'54"	10°08'27"	16.53	32.83	1.20 m	1.19	0.60
12	113.00	35°46'33"	10°08'27"	36.47	70.56	5.74 m	5.46	0.60
13	140.00	20°10'26"	08°11'07"	27.43	54.181m	2.66 m	2.16	0.40
14	113.00	23°42'59"	10°08'27"	23.73	46.77	2.46 m	2.41	0.60
15	120.00	34°30'30"	09°32'58"	37.27	72.274m	5.66 m	5.4	0.60
16	120.00	06°47'16"	09°32'58"	7.12	14.22	0.21 m	0.21	0.60
17	113.00	52°16'19"	10°08'27"	55.45	103.09	12.87 m	11.55	0.60
18	113.00	62°39'06"	10°08'27"	68.78	123.56	19.28 m	16.47	0.60
19	140.00	19°00'02"	08°11'07"	23.43	46.43	1.95 m	1.92	0.10
20	140.00	22°44'47"	08°11'46"	28.16	55.58	2.80 m	2.75	0.40
21	113.00	43°35'49"	10°08'27"	45.19	85.98	8.70 m	8.08	0.60
22	113.00	32°51'24"	10°08'27"	33.32	64.8	4.81 m	4.61	0.60

Fuente:Elaboracion propia.

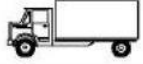










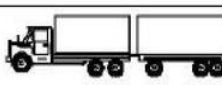
Tabla No.40. Resumen de Alineamiento Verticales

No. de curva	Tipo de curva	Pendiente de entrada (P1) %	Pendiente de salida (P2) %	Diferencia de Pendiente (%)	Valor K	Longitud de la curva (m)
1	Crest	9.22%	2.57%	-6.65%	11	73.218m
2	Sag	2.57%	6.57%	4.00%	18	72.031m
3	Crest	6.57%	-2.26%	-8.83%	11	97.109m
4	Sag	-2.26%	1.10%	3.36%	18	60.422m
5	Crest	1.10%	-7.15%	-8.25%	12.082	99.613m
6	Sag	-7.15%	-0.87%	6.28%	18	113.001m
7	Crest	-0.87%	-14.62%	-13.75%	11	151.213m
8	Sag	-14.62%	-9.99%	4.63%	18	83.267m
9	Sag	-9.99%	-5.81%	4.18%	18	75.336m
10	Sag	-5.81%	-1.74%	4.07%	54.488	221.797m
11	Crest	-1.74%	-7.79%	-6.05%	26.431	160.000m
12	Sag	-7.79%	11.77%	19.56%	11.214	219.352m
13	Crest	11.77%	-1.74%	-13.51%	11.205	151.407m
14	Sag	-1.74%	10.15%	11.89%	19.626	233.402m
15	Crest	10.15%	4.08%	-6.07%	11	66.813m
16	Sag	4.08%	10.65%	6.57%	17.06	112.078m
17	Crest	10.65%	1.99%	-8.66%	11.517	99.722m
18	Sag	1.99%	4.22%	2.23%	18	40.146m
19	Crest	4.22%	-8.33%	-12.55%	11.908	149.418m
20	Crest	-8.33%	-10.63%	-2.30%	11	25.306m
21	Sag	-10.63%	-7.73%	2.90%	27.627	80.000m
22	Crest	-7.73%	-12.15%	-4.42%	18.128	80.000m
23	Sag	-12.15%	-3.85%	8.30%	19.374	160.673m
24	Sag	-3.85%	1.29%	5.14%	21.229	109.114m
25	Crest	1.29%	-5.17%	-6.46%	14.071	90.863m

Fuente:Elaboracion propia.

Figura No.35 Pesos máximos permisibles por tipo de vehículo

**DI AGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES
PESOS MAXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHICULOS**

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Máximo Total (1) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2 I1		4.50	9.00					13.50
C3 I2		5.00	16.00					21.00
			8.00	8.00				
C4 Tx-Sx<4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1 Tx-Sx<4		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2 Tx-Sx<4		5.00	9.00	16.00				30.00
			8.00	8.00				
T2-S3 Tx-Sx>5		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1 Tx-Sx<4		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2 Cx-Rx<4		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2 Cx-Rx<4		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2 Cx-Rx>5		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3 Cx-Rx>5		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

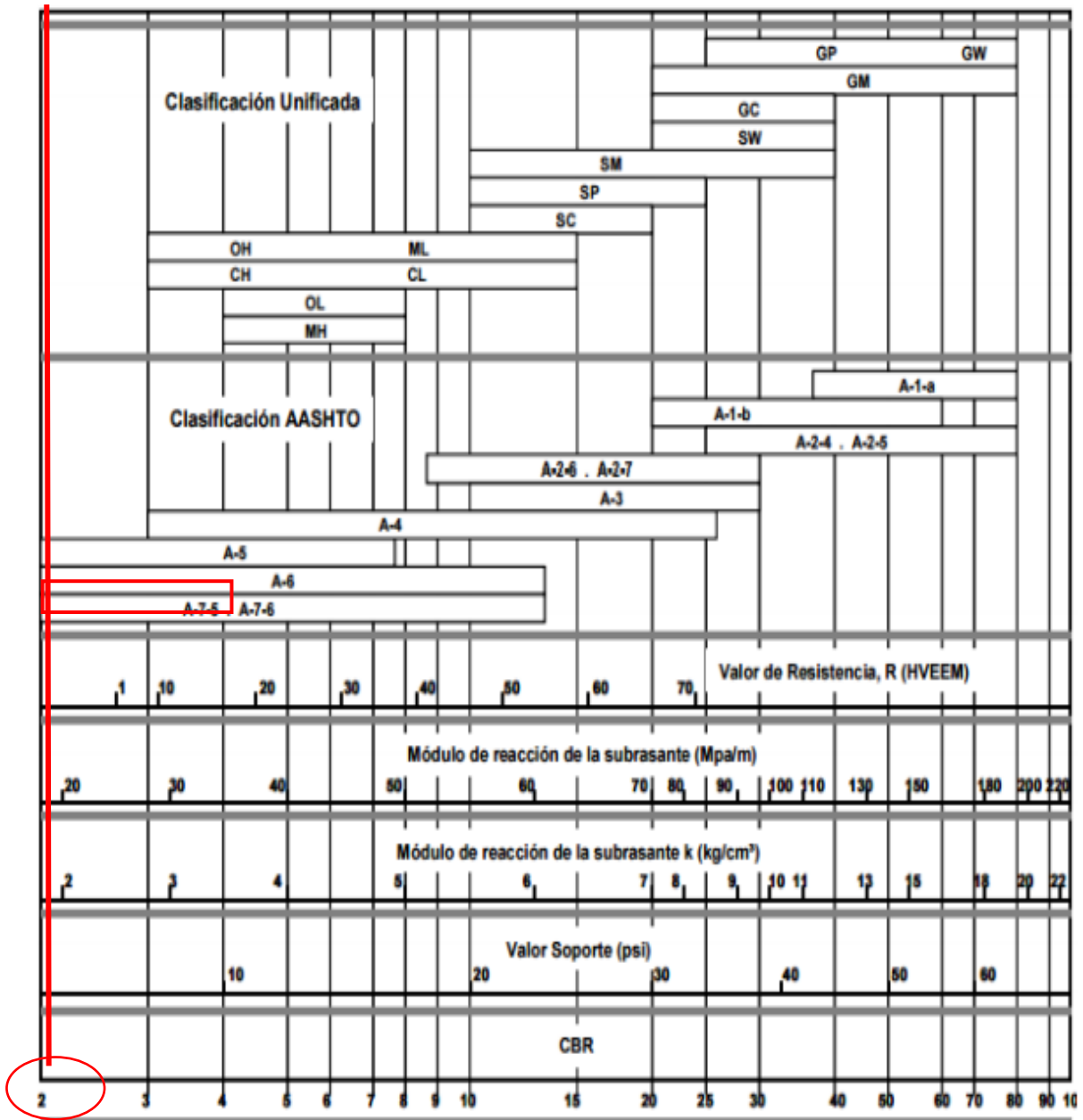
NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

a : Eje sencillo llanta sencilla.

b : Eje sencillo llanta doble.

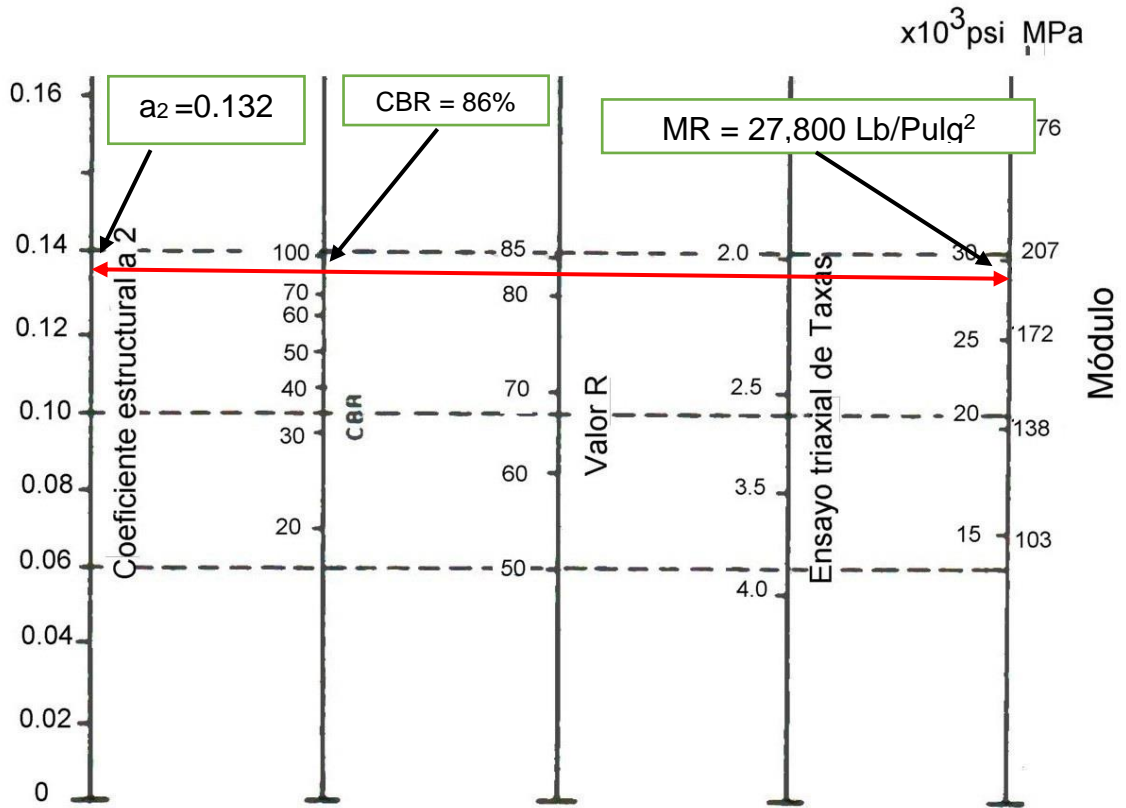
Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, DGP-DAV.

Figura No.38 Clasificación de suelos relacionada con parámetros de resistencia.



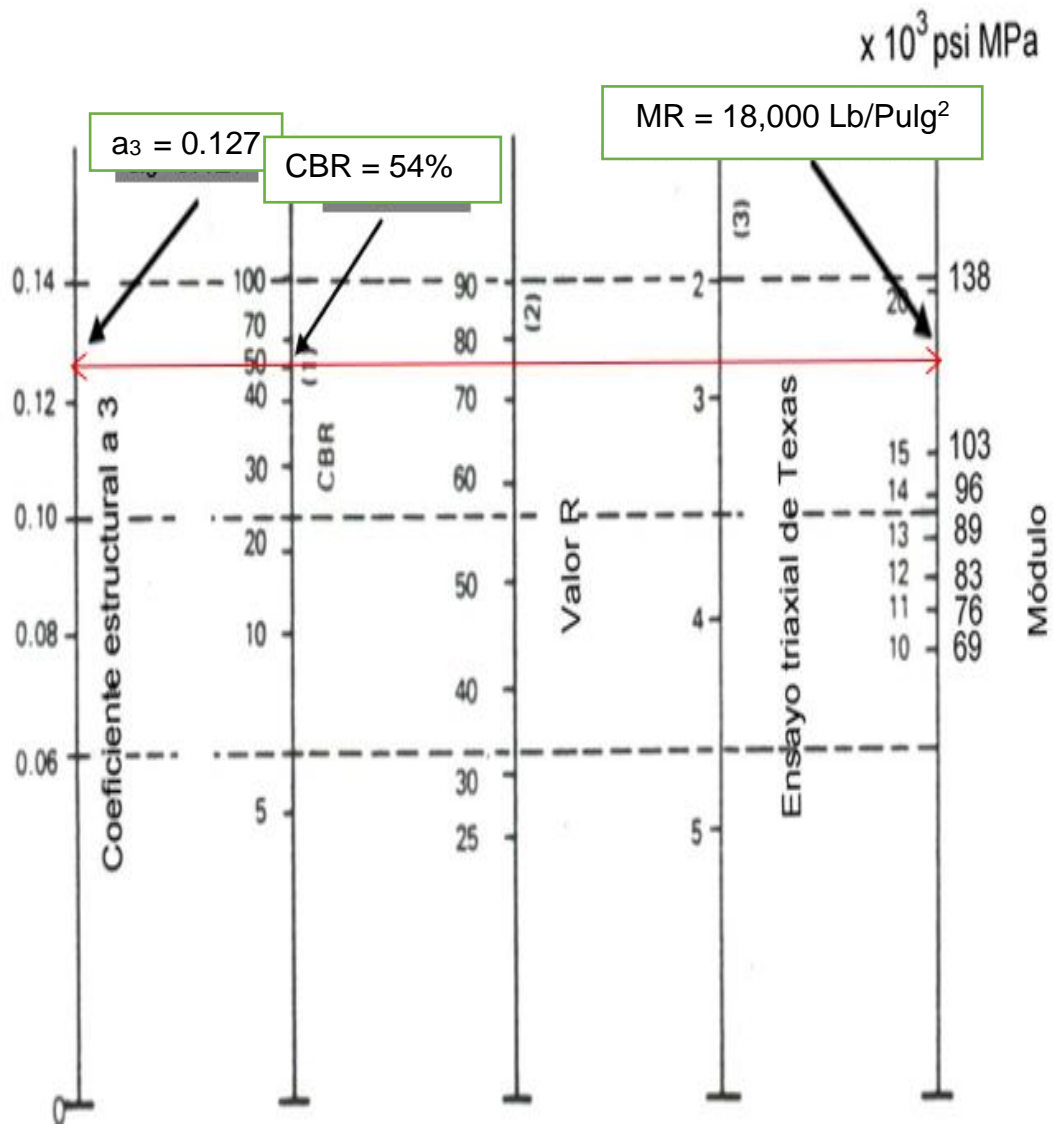
Fuente: Guia de Diseño de Pavimento AASHTO-93 pag.No. 66

Figura No.39: Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Base Granular y distintos Parámetros Resistentes



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

Figura No.40: Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para Sub-Base Granular y distintos Parámetros Resistentes.



Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

Tabla No.44: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt=2.

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

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

Tabla No.45: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, Pt=2.

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

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2004 Capítulo 3, Pág.7.

Tabla No.46: Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes trídem, Pt=2

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: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2004 Capítulo 3, Pág.8.

PLANOS

SECCION TIPICA

PLANTA - PERFIL

SECCIONES TRANSVERSALES