

Facultad de Tecnología de la Construcción

“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO Y GEOMÉTRICO VIAL DE 2.13 KM DEL TRAMO SÉBACO VIEJO - HACIA MOLINO SUR, UBICADO EN EL MUNICIPIO DE SÉBACO, DEPARTAMENTO DE MATAGALPA, POR EL MÉTODO DE AASHTO 93”.

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil.

Elaborado por:

Tutor:

Br. Indira de los
Ángeles Blandón
Rodríguez
Carnet: 2013-0455N

Br. María Elena
López Medina
Carnet: 2013-0122N

Br. Norvin José
Moreno Cruz
Carnet: 2013-0382N

Ing. Jimmy Sierra
Mercado

14 de noviembre de 2023
Managua, Nicaragua

RESUMEN EJECUTIVO

En el siguiente documento monográfico presenta el diseño estructural de pavimento Articulado (Adoquinado) y geométrico vial de 2.13 km de longitud del tramo Sébaco viejo hacia la comunidad Molino sur, Municipio de Sébaco departamento de Matagalpa, el tramo antes mencionado tiene las coordenadas UTM siguientes: iniciales **(X 598681.39, Y 1420707.77)** finales **(X 600861.902, Y 1420227.924)**

Estructura del contenido.

- I. Generalidades.
- II. Estudio de Tránsito.
- III. Estudio Geotécnico.
- IV. Diseño Estructural de Pavimento.
- V. Estudio Topográfico.
- VI. Diseño Geométrico Vial

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.

Este capítulo se aborda las generalidades del proyecto, ubicación del tramo en estudio, introducción, antecedentes, justificación sobre la importancia del diseño de 2.2 Km de adoquinado y objetivos planteados necesarios para lograr con éxito su diseño mediante el método AASHTO 93 y Las Normas Centroamericanas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA 2004.

CAPÍTULO II: ESTUDIO DE TRÁFICO.

Se basó en analizar la condición actual del tráfico sobre el tramo de carretera en estudio y su respectiva proyección; tomando como parámetro los volúmenes de tránsito obtenidos mediante aforos en el sitio de estudio, ya que el tráfico es uno de los aspectos más significativos a considerar en el diseño de pavimentos.

El aforo vehicular se realizó durante 7 días consecutivos, sobre la vía durante 12 horas diurnas (TPDIS), luego se obtuvo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de **402** vehículos por día. Se estimó una tasa de crecimiento del **4.92%**, tomando en cuenta los datos históricos del TPDA de la estación de conteo vehicular más cercana a la vía (Estación 300), se realizaron las correlaciones del TPDA-PIB y del TPDA-Población.

Al proyectar el tráfico actual, considerando un periodo de diseño de 15 años, se obtuvo el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL's) o $W_{18}=679,867.00$
= 6.80E+05

CAPÍTULO III: ESTUDIO GEOTÉCNICO.

Se hicieron 12 sondeos manuales sobre el camino a diseñar resultando 27 muestras, con el objetivo de identificar las propiedades y clasificación de los diferentes estratos existentes hasta una profundidad máxima de 1.50 metros, de dichos resultados obtenidos los materiales que predominan superficialmente son suelos granulares del tipo A-2-6 (0), A-2-7(2), y suelos arcillosos A-7-6(2).

El banco de préstamo **(La Talavera)**, está conformado por materiales granulares, compuestos por fragmentos de Grava fina a gruesa, que según el sistema de clasificación AASHTO son suelos del tipo A-1-a con índice de grupo 0, con un CBR al 95% de 85%, según las especificaciones NIC-2000, son suelos de excelente calidad para Base y Sub-base.

La información necesaria del banco de material disponible cerca de la zona fue facilitada por la Alcaldía Municipal de Sébaco con créditos de ENIC (Empresa Nicaragüense de Construcción).

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO.

Una vez conocidas las propiedades del suelo y una vez realizada las proyecciones del tráfico se procedió a calcular los espesores del paquete estructural utilizando los nomogramas y se finalizó haciendo uso del software WinPAS (Pavement Analysis Software versión (1.0.4), para verificar los cálculos realizados de forma manual con los resultados del programa, obteniendo una comparativa satisfactorios con respecto a los datos del diseño.

Se diseñó una alternativa de pavimento articulado aplicando la metodología AASHTO 93.

El paquete estructural para el tramo dio como resultado: una capa de rodamiento de **4.00 pulgadas** (espesor estándar del adoquín de concreto) y una base granular de **6.00 pulgadas**. Obteniendo un total de 25 centímetros para la estructura del pavimento. Este paquete cumple con los requerimientos mínimos establecidos por la AASHTO 93.

CAPÍTULO V: ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

Este estudio fue realizado por el área de proyectos de la municipalidad como parte de los procesos de los avances en los estudios de este tramo, entre los alcances del proyecto comprendieron realizar el levantamiento de 2.2 Km de camino iniciando en el barrio Sébaco viejo hasta el puente la Calabazas hacia la comunidad de Molino sur.

CAPÍTULO VI: DISEÑO GEOMÉTRICO.

Comprende el diseño óptimo de la línea definitiva, la cual estará sujeta a las alineaciones vertical, horizontal y al derecho de vía, además del criterio del ingeniero diseñador y de las especificaciones establecidas para la misma.

NORMAS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES

Este Diseño está regido según las normas American Association of State Highway and Transportation Officials (**AASHTO**) en su publicación fundamental para ingeniería civil (*A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*) y el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (**SIECA 2004**), así como los criterios particulares de los autores y de la dirección de obras públicas de la alcaldía de Sébaco.

En el Diseño Geométrico en su alineamiento horizontal y vertical basados en el relieve natural del camino dio como resultado: seis curvas verticales, (3 en columpio y 3 cresta) siete curvas horizontales.

Para la elaboración del diseño geométrico del proyecto se utilizó la herramienta CivilCAD® 2015, creado por ARQCOM, es el software diseñado para crear funciones adicionales que automatizan y simplifican las tareas dentro de AutoCAD 2015. Con la rutina integrada dentro del programa Civilcad llamada “Modulo de Carreteras SCT”, se definieron el trazo, curvas verticales y horizontales

ÍNDICE

CAPÍTULO I GENERALIDADES

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

CAPÍTULO II ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.1 Generalidades.....	5
2.2. Recopilación de datos.	5
2.2.1. Tipos de vehículos.....	6
2.2.2. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.....	7
2.3. Procesamiento de información.	7
2.4. Análisis de la información obtenida.	7
2.5 Recopilación de la información.....	7
2.6 Procesamiento de datos.	8
2. 6. 1 Resumen del aforo vehicular.....	8
2. 7 Composición Vehicular.....	12
2. 7. 1 Determinación de tasas.....	12
2. 7. 2 Tasas de crecimiento.	13
2. 7. 3 Análisis del Producto Interno Bruto (PIB).	14
2. 7. 4 Análisis de Población (POB).	15

2. 7. 5 Proyección de tráfico.	16
2. 7. 6 Cálculo de Proyección de tráfico.	20
2. 8 Análisis de la información obtenida.	22
2. 9 Tráfico de diseño.....	23
2. 9. 1 Factor de Crecimiento.	24
2. 9. 2 Período de Diseño (PD).	24
2. 9. 3 Factor Distribución Por Dirección (FD).	25
2. 9. 4 Factor Distribución Por Carril (FC).	25
2. 9. 5 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po).	26
2. 9. 6 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt).	26
2. 9. 7 Pérdida de Serviciabilidad (Δ PSI).	26
2. 9. 8 Número Estructural Asumido (SN).	27
2. 9. 10 Factor de Equivalencia (FESAL).	27
2. 10 Ejes Equivalentes (ESAL o W18).....	27

CAPÍTULO III ESTUDIO GEOTÉCNICO

3.1. Metodología.	30
3.2. Ensayos de Suelos en Línea.	31
3.2.1. Resultados de Ensayes a Muestras de Sondeos de Línea.	31
3.3. Resultados de Ensayes a Muestras de Fuentes de Materiales.	32
3.4. Banco de materiales propuesto para la capa Base.	34
3.5. Determinación del CBR de Diseño.....	35
3.5.1. Identificación de la Subrasante.	36

CAPÍTULO IV DISEÑO DE PAVIMENTO

4.1. Generalidades.....	39
--------------------------------	-----------

4.2. Consideraciones del Diseño AASHTO 93.....	39
4.1.1. Carga de Ejes Simples Equivalentes.....	39
4.1.2. Confiabilidad.....	40
4.1.3. Desviación Estándar.....	41
4.1.4. Serviciabilidad.	42
4.1.5. Coeficiente de drenaje.....	42
4.1.6. Cálculo del CBR de diseño.....	43
4.1.7. Módulo de Resiliencia (MR).	43
4.1.9. Número Estructural.	47
4.2. Calculo de Espesores.	47
4.2.1. Cálculo del espesor de la base (D ₂).	50
4.2.2. Espesores finales de Diseño.	51
4.3. Uso del programa WinPAS.	52

CAPÍTULO V ESTUDIO TOPOGRÁFICO

5.1 Metodología	56
5.2 Metodología empleada para procesar los datos.....	57
5.2.1. Perfil Longitudinal.	57
5.2.2. Altimetría.	57
5.2.3. Elaboración de Planos.....	58

CAPÍTULO VI DISEÑO GEOMÉTRICO

6.1. Diseño Geométrico del Camino.	59
6.1.1. Metodología.....	59
6.1.2 Uso del Software Civilcad Para el diseño geométrico vial.....	59

6.2. Criterios y Normas para el Diseño Geométrico.	60
6.3. Distancias de visibilidad en carreteras.	66
6.3.1. Distancia de visibilidad.	66
6.3.2. Distancia de visibilidad de parada.	67
6.3.2. Distancia de visibilidad de adelantamiento.	67
6.3.3. Distancia de visibilidad en curvas horizontales.	69
6.3.3. Criterios para medir la distancia visual.	69
6.4. Justificación de los Parámetros de diseño	70
6.4.1. Velocidad de diseño	71
6.5. Memoria de cálculo de las curvas horizontales.....	73
6.3.1. Diseño de curvas horizontales	73
6.3.2. Replanteo de curvas circulares.	78
6.6. Diseño del alineamiento vertical.	80
6.6.1. Generalidades.	81
6.6.2. Rasante y pendientes.....	82
6.6.3. Carriles de ascenso.....	83
6.6.4. Tipos de curvas verticales.	84
6.6.5. Tipos de curvas verticales.	85
6.6.6. Longitud de curva cuando esta es mayor que distancia de visibilidad. ..	86
6.6.7. Longitud de curva es menor que distancia de visibilidad.....	87
6.6.8. Casos para el cálculo de distancias de adelantamiento.	89
6.6.9. Criterios para determinar longitud de curva vertical en columpio.	89
6.7. Elementos de la curva vertical.	90
6.7.1. Curvas verticales simétricas.....	94
6.7.2. Curvas verticales asimétricas.....	95

6.8. Criterios para el diseño del alineamiento vertical.	96
6.8.1. Criterios para el diseño vertical según AASHTO.	97
6.9. Memoria de cálculo de las curvas verticales.	99
CONCLUSIONES.....	103
RECOMENDACIONES.	105
BIBLIOGRAFÍA.....	107
GLOSARIO.	XIX
PLANOS DEL PROYECTO	XXIV

A decorative horizontal band with a dark gray background, featuring a solid yellow line at the top and bottom, and a series of white dashed lines in the center.

ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCION.

El tramo de estudio se encuentra ubicado en el municipio de Sébaco, el cual comunica a las comunidades Los Encuentros, El Atillo, Las Pozas y Molino Sur. Según Corea y Asociados S.A (CORASCO), en el estudio Red de Diagnostico Vial Para el municipio de Sébaco, es una red vial clasificada como troncal secundaria **(Ver Anexos Imagen 16 y 17, pág. I-II).**

Hoy en día el tramo en estudio se encuentra en mal estado debido a la falta de mantenimiento periódico en los últimos años, de esta manera se propone rehabilitar con la propuesta de diseño de pavimento articulado utilizando adoquín, ya que este tipo de carpeta de rodamiento es una solución bastante económica debido a su bajo costo de mantenimiento.

Para la elaboración del trabajo monográfico se realizó el aforo vehicular actual siete días para el tramo Sébaco – Hacia Comunidad Molino Sur, los ejecutores de este documento se ubicarán en la estación 0+000 con el objeto de determinar el tránsito vehicular existente que posibilite estimar la repetición de ejes equivalentes de carga para el diseño apropiado de la estructura de pavimento articulado de adoquín tipo cruz que es de mayor uso por le MTI, FOMAV y Alcaldías por sus múltiples ventajas, dicho diseño de pavimento se realizara aplicando el método AASHTO-93, ya que es uno de los métodos que proporcionara variables como lo son coeficientes de drenaje, módulos de resiliencia de las capas, índice de serviciabilidad entre otros. También se elaborará el diseño geométrico del camino basándonos en los criterios de las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004).

Se analizarán ensayos de suelos proporcionados por la alcaldía de Sébaco con el objetivo de conocer las características físico-mecánicas de los materiales existentes en dicho tramo a través de la clasificación por el método ASSHTO-93.

1.2 ANTECEDENTES.

Según el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), la red vial de Nicaragua tiene aproximadamente 17,490.2 km, de los cuales actualmente no tiene un estándar de seguridad vial adecuada, debido al rápido crecimiento de la flota vehicular y la mezcla del tráfico entre vehículos, peatones y animales.

El proceso de urbanización que ha experimentado esta ciudad en las últimas décadas ha demandado espacio físico para su crecimiento y el mejoramiento de la infraestructura vial. En años anteriores la alcaldía municipal, ha hecho grandes esfuerzos por mejorar las condiciones del tramo en estudio, invirtiendo en el mantenimiento, no así en las condiciones básicas que debe cumplir su estructura de pavimento.

Con la carencia de un buen revestimiento de este tramo, los pobladores se ven doblemente afectados. El tramo Sébaco viejo hacia Molino Sur se ha convertido en un sitio de mucha importancia para la economía del municipio por diferentes razones, la más importante es que las comunidades que se comunican por ese tramo son las que más producen chayote, berenjena, cilantro entre otros rubros que se venden en el Mercado Mayoreo de la capital.

Esto no ha sido suficiente para que las autoridades presten real importancia a la problemática que viven los pobladores que tienen que viajar diariamente por este tramo, el cual actualmente está revestido con material selecto, no obstante, presenta un desgaste en la capa de rodadura debido a la erosión por falta de obra de drenaje menor.

1.3 JUSTIFICACION.

Los usuarios de esta red vial, Sébaco Viejo hacia Molino Sur se ven afectados por que la carretera se encuentra en mal estado. En este proyecto, se pretende diseñar una estructura de pavimento con adoquín en un tramo de 2.13 kilómetros.

La falta de una buena vía de acceso hacia la comunidad Molino Sur, se debe a la inexistencia de un camino en óptimas condiciones que permita terminar con la problemática de comunicación que tienen que enfrentar constantemente tanto en el invierno como en verano los habitantes de dicho lugar y el resto de comunidades que atraviesa el camino.

El diseño de la vía en estudio, permitió mejorar las condiciones de accesibilidad (a viviendas y centros de trabajo). Se reducirán los tiempos de viajes, dándoles mayor seguridad y comodidad a los usuarios de la vía. También se incrementarán las actividades socio-económicas, por la integración e interrelación entre el municipio de Sébaco y las 18 comunidades que se comunican por medio de este tramo, con el resto de los municipios del norte de nuestro país.

Asimismo, la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) , publicó en 2010 un informe según el cual cada dólar invertido en mantener una carretera en buen estado evita que se gasten entre 6 y 14 dólares más adelante para rehabilitar o reconstruir esa misma vía una vez que se ha deteriorado apreciablemente.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo General.

- ✚ Realizar el diseño de estructura de pavimento articulado y geométrico vial de un tramo vial de 2.13 km, como vía de acceso de Sébaco Viejo hacia la comunidad Molino Sur, Ubicado en el municipio de Matagalpa por el Método de la AASHTO 93.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- ✚ Realizar el estudio de tránsito del tramo en estudio para determinar el TPDA y el ESALS de diseño.
- ✚ Evaluar las propiedades físico-mecánicas de los suelos existentes a lo largo del tramo y de los bancos de materiales para obtener el CBR de diseño de la subrasante.
- ✚ Determinar los espesores de la estructura de pavimento de adoquín, mediante el método de la AASHTO-93 empleando el Software WinPAS 1.04
- ✚ Realizar un levantamiento topográfico para conocer las características geométricas del tramo en estudio, así como su relieve.
- ✚ Realizar el diseño geométrico vial del tramo en estudio aplicando el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA 2004).

CAPITULO II

ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.1 Generalidades.

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

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

Para la elaboración de este capítulo se dividió en las siguientes etapas:

2.2. Recopilación de datos.

Se realizó por medio de Conteo Vehicular, que consiste en medir el volumen de tráfico que transita durante un período de tiempo equivalente a 12 horas diurnas. La recolección de datos se realizó durante 7 días consecutivos, una semana, en las fechas del 03 de diciembre hasta el 09 de diciembre del año 2018, entre las 06:00 horas y las 18:00 horas, a fin de evaluar las condiciones de tráfico normales, basándonos para esto en la tipología y descripción vehicular que brinda la Revista Anuario de Tráfico del Ministerio de Transporte 2017. Para realizar el aforo, se utilizó el Formato mostrado en **Anexos, Tabla 47 pág. III.**

Los datos de Tráfico Promedio Diario Anual, (TPDA) así como los factores de ajuste estacional, el número promedio de ejes y otros parámetros, fueron obtenidos de los datos de campo y de los cálculos de gabinete, la estación de Conteo Vehicular fue ubicada en una zona con adecuada visibilidad y con amplitud en los hombros, logrando captar el cien por ciento de los vehículos en ambos sentidos de la vía. Los resultados del conteo y clasificación por tipo de vehículo (12.0 horas) del tramo en estudio se muestran en los anexos. **(Ver Tablas 48 a 54, págs. III a VI).**

2.2.1. Tipos de vehículos.

Para el levantamiento de la información de campo es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, en nuestro país actualmente hay una gran variedad de vehículos, en total el MTI presenta una clasificación vehicular compuesta por 17 tipos de vehículos, por lo que es conveniente agruparlos en cuatro categorías. **(Ver Anexo, Tabla 55, pág. VII).**

2.2.1.1. Motocicletas.

Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados, en esta categoría incluyen scooter, motonetas, motonetas y otros triciclos a motor.

2.2.1.2. Vehículos Livianos.

Son los vehículos automotores de cuatro ruedas que incluyen, los Automóviles, Camionetas, Pick – Ups y Jeep.

2.2.1.3. Vehículos Pesados de Pasajeros.

Son los vehículos destinados al Transporte Público de Pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los Microbuses Pequeños (hasta 15 Pasajeros) y Microbuses Medianos (hasta 25 pasajeros) y los Buses medianos y grandes.

2.2.1.4. Vehículos Pesados de Carga.

Son vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores o iguales a tres toneladas tienen seis o más ruedas en dos, tres, cuatro, cinco y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2) mayores o iguales de tres Toneladas, los camiones de tres ejes (C3), los camiones combinados con remolque del tipo (C2R2), los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3) y otros tipos de vehículos especiales, presenta la Tipología y Descripción Vehicular.

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

La diversidad de vehículos que circulan sobre un pavimento durante su periodo de diseño trae como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, con diferentes distancias entre ejes, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura. Se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de sus ejes de la forma que se muestra en el diagrama de cargas permisibles. **(Ver Anexo, Tablas 56 y 57, pág.VIII).**

2.3. Procesamiento de información.

Es la etapa de trabajo de gabinete en la cual procesamos toda la información obtenida de los conteos mediante el Software Microsoft Excel, esto con el fin de obtener los mejores resultados, basándonos para esto en la Revista Anuario de Tráfico del Ministerio de Transporte 2017.

2.4. Análisis de la información obtenida.

En este proceso se usó los criterios basándonos en la (Guía AASHTO- 93) para comprender de una mejor manera los resultados obtenidos

2.5 Recopilación de la información.

Se realizó la ubicación de la estación de control, a fin de ejecutar los conteos de volumen de tráfico vehicular, con la finalidad de determinar el volumen vehicular en un punto específico de la vía. La estación de conteo se ubicó en la estación 0+000 del tramo en estudio que permitió captar el 100% del tráfico en el tramo en estudio. **(Ver Imagen 1, pág. 8)**

Imagen 1. Ubicación del punto de conteo vehicular



Fuente: Elaboración propia, Google Earth

2.6 Procesamiento de datos.

La tabulación de la información corresponde directamente al trabajo de gabinete, luego de haberse realizado el trabajo de campo, siendo este procesado en el Software Microsoft Excel, mediante hojas de cálculo. De la información recogida de los conteos, se obtuvo el volumen de tráfico en el tramo de estudio por día y tipo de vehículo.

En la Tabla 2, se muestran los conteos de tránsito diarios, composición vehicular; así como el promedio del período de evaluación en consolidado para ambos sentidos del tramo en estudio.

2. 6. 1 Resumen del aforo vehicular.

Para obtener resultados adecuados, se contó y clasificó el cien por ciento de los vehículos que circularán en ambas direcciones de la estación de conteo y clasificación vehicular. Al finalizar el conteo de tránsito de 7 días consecutivos durante 12 horas en la Est 0+000 (Inicio del tramo) y posteriormente se realizó el consolidado en Microsoft Excel, donde pudimos tener una perspectiva amplia de

cómo se comporta el tránsito, obteniendo un **TPDIS de 298 vehículos.**

Para obtener el Tráfico Promedio Diurno Semanal (TPDIS) fue necesario aplicar la **ecuación1**:

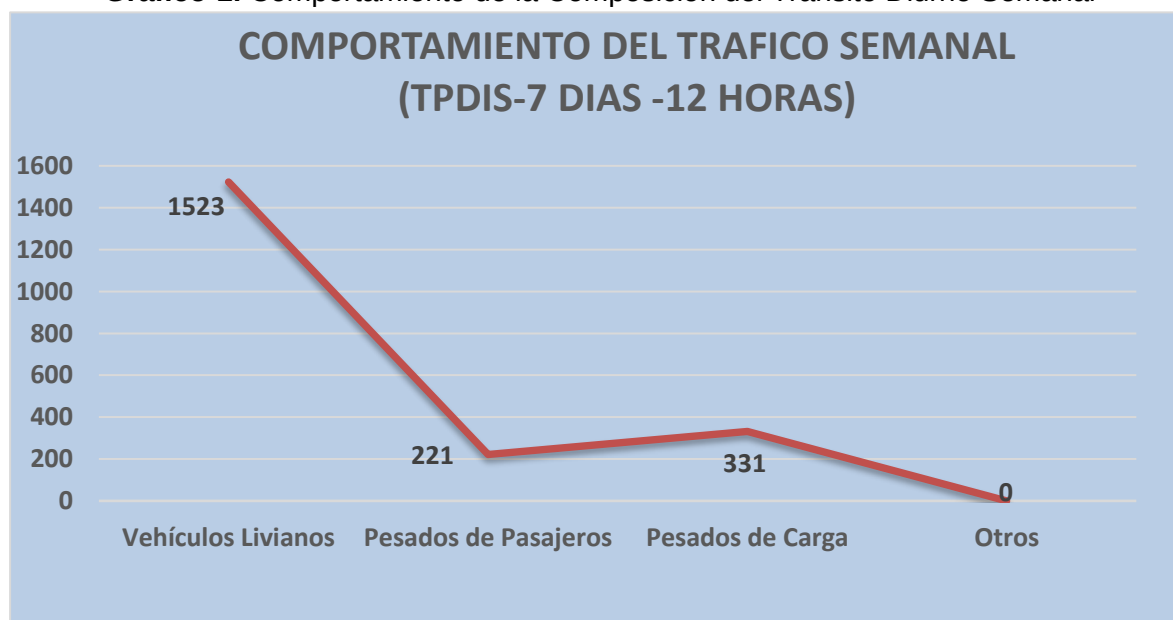
$$\text{TPDIS} = \frac{\text{TotalDiurnoSemanal}}{7\text{días}} \quad \text{Ec.1.}$$

Tabla 1. Tráfico Promedio Diurno Semanal (TPDIS)

Días	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga			Otros	TOTAL
	Motos	Autos	Jeep	Cta	Mbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3		
Lunes	88	34	15	43	3	8	8	22	16	4	0	241
Martes	94	33	34	83	15	11	8	15	22	7	0	322
Miércoles	88	37	38	69	14	12	11	16	17	8	0	310
Jueves	85	24	21	78	10	11	11	23	20	7	0	290
Viernes	85	24	21	78	10	11	11	23	20	7	0	290
Sábado	84	26	25	80	12	12	11	24	35	6	0	315
Domingo	98	32	35	71	10	12	10	17	16	6	0	307
Total	622	210	189	502	74	77	70	140	146	45	0	2075
TPDIS(Vehiculos/12 hrs)	89	30	27	72	11	11	10	20	21	7	0	298

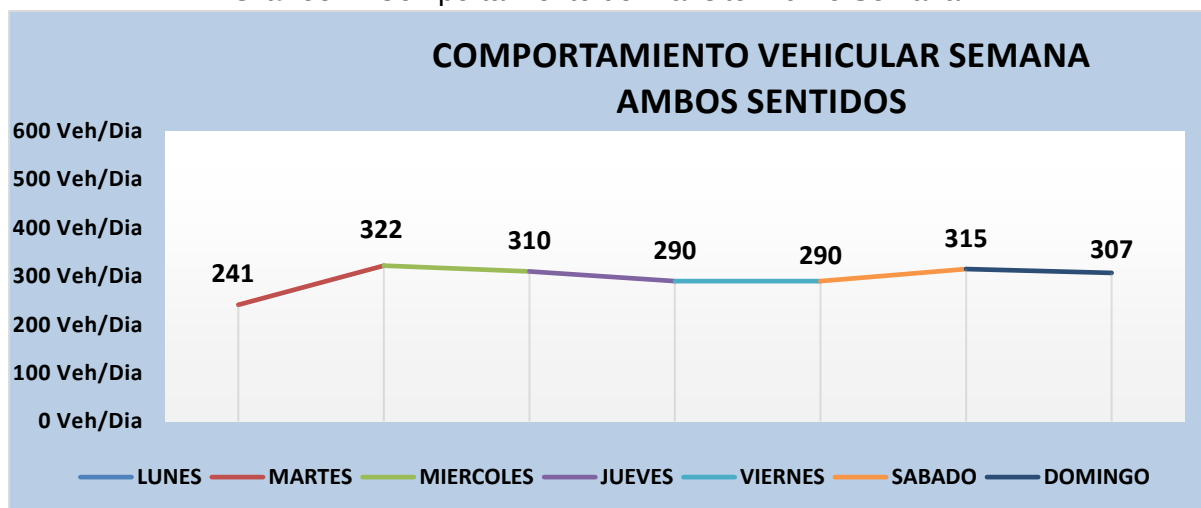
Fuente: Sustentantes.

Gráfico-1. Comportamiento de la Composición del Tránsito Diurno Semanal



Fuente: Sustentante

Gráfico-2. Comportamiento de Tránsito Diurno Semanal.



Fuente: Sustentantes.

En el **Gráfico-1** podemos observar claramente, el comportamiento del tránsito Diurno Semanal con respecto a su composición vehicular, predominando en este caso los Vehículos Livianos, seguido de los vehículos pesados de carga luego los vehículos de pasajero.

En el **Gráfico-2** se muestra el comportamiento del tránsito vehicular donde se aprecia que los días de mayor demanda son los días lunes, y sábado manteniendo los demás días un flujo vehicular bastante constante, luego tenemos días de menor demanda, que son lunes y jueves. El resto de los días mantienen un tránsito bastante estable de vehículos.

De Acuerdo con el Anuario de Tráfico 2017, el tramo de carretera en estudio Sébaco – Molino sur, dependen de la estación permanente de conteo 300 NIC-3 Sébaco - Quebrada Honda, ya que este tramo pertenece a dicha estación, esta nos proporcionaría su composición vehicular y comportamiento de crecimiento.

Por lo antes expuesto, se realizó el estudio del crecimiento histórico de esta estación y se usaron los factores correspondientes a esta estación en la determinación del Tránsito Promedio Diario Anual del tramo en estudio. Se dispuso a realizar una correlación entre ambas estaciones para así determinar con cual estación trabajaremos. **(Ver gráfico 4 y 5 pág. 18)**

La expansión de tránsito promedio diario de 12.0 horas (TPDI), se realizó en base a los factores de la Estación N°.300 (Sébaco – Quebrada Honda), se multiplicó el (TPDI) por el factor día, luego se multiplicó por el factor expansión, para pasar de un Tránsito Promedio Diario de 24.0 horas a Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). **(Ver Tabla 2 a continuación)**

Tabla 2. Factores de Ajuste a Utilizados Estación No. 300
Sébaco-Quebrada Honda.

Factor / Tipo de Vehículo	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga			Otros
	Moto	Autos	Jeep	Camionetas Pick UPs	Micbus	MB >15 P	Bus	C2 Liv 2 5 ton	C2 > 5 ton	C3	
Factor Día	1.3	1.32	1.37	1.31	1.36	1.3	1.2	1.33	1.6	1.48	1.22
Factor Expansión	0.98	1.01	1.02	1.00	0.99	1.10	1.03	0.97	0.93	1.16	1.12

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico, MTI (Año 2017).

Para calcular el Tránsito Promedio Diario Anual se utilizó la **ecuación 2:**

$$\text{TPDA} = \text{TD}_{12\text{H}} * \text{Fd} * \text{Ft} \quad \text{Ec.2.}$$

Donde:

TD₁₂: Tránsito promedio diario 12 horas.

Fd: Factor día.

Ft: Factor temporada (Expansión a TPDA).

Tabla 3. Tránsito Promedio Diario Anual, Aplicando Factores de Ajuste

Factor / Tipo de Vehículo	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga			Otros	total
	Moto	Autos	Jeep	Cta	Micbus	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3		
TPDS	89	30	27	72	11	11	10	20	21	7	0	298
FACTOR DIA	1.3	1.32	1.37	1.31	1.36	1.3	1.2	1.33	1.6	1.48	1.22	14.79
FACTOR EXPANSION	0.98	1.01	1.02	1	0.99	1.1	1.03	0.97	0.93	1.16	1.12	11.31
TPDA	114	40	38	95	15	16	13	26	32	13	0	402
% TPDA	28.4%	10.0%	9.5%	23.6%	3.7%	4.0%	3.2%	6.5%	8.0%	3.2%	0.0%	100.0%
% TPDA Veh. Livianos	71.4%											
% TPDA Veh. Pasajeros	10.9%											
% TPDA Veh. Pesados	17.7%											
% TPDA Veh. Otros.	0.0%											

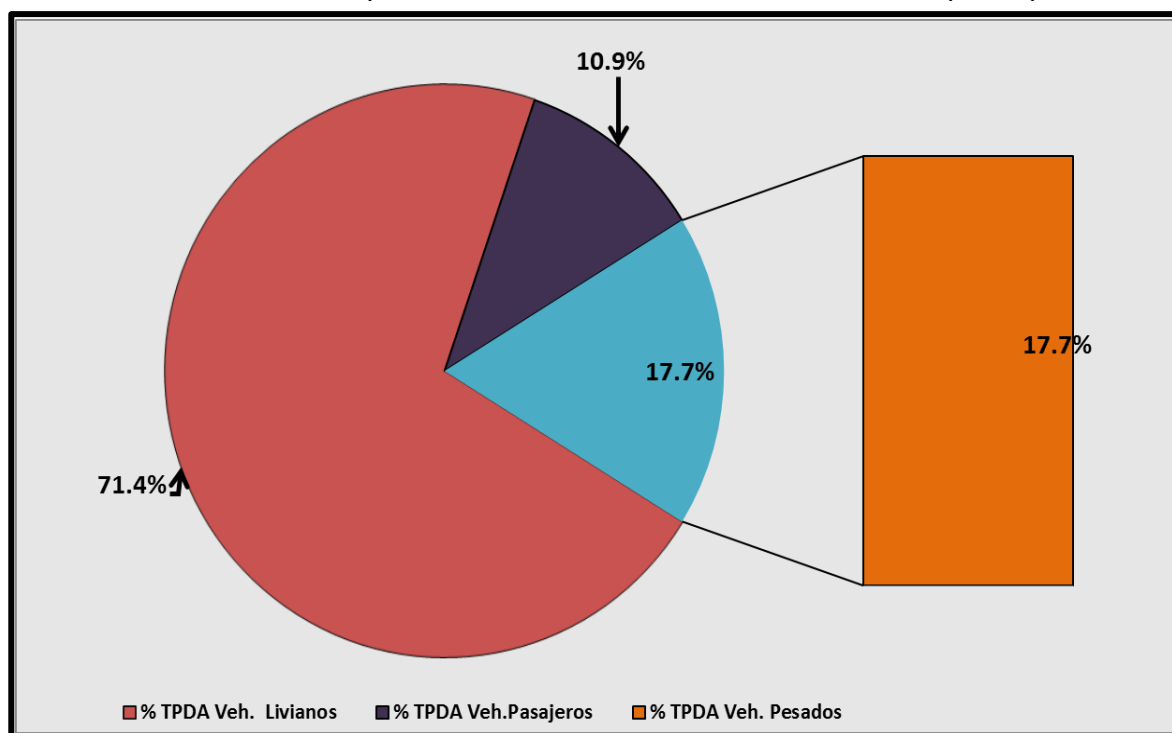
Fuente: Sustentantes.

El cálculo para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) correspondiente al tramo de estudio resulta de **402** vehículos por día

2. 7 Composición Vehicular.

A partir de los resultados obtenidos de clasificación vehicular de campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra la cual está conformada de la siguiente manera: vehículos livianos **71.4%**, vehículos pesados **17.7%**, de vehículos de pasajeros **10.9%**. (Ver el siguiente Gráfico 3 a continuación)

Gráfico3. Composición Vehicular del Tránsito Diario Anual (TPDA)



Fuente: Sustentantes.

2. 7. 1 Determinación de tasas.

Para determinar las tasas de crecimiento vehicular para el tramo en estudio, se realizaron correlaciones entre los registros históricos del tránsito promedio diario anual "TPDA" y el producto interno bruto "PIB", así como con la población, a fin de estimar una tasa diferenciada de crecimiento basado en datos históricos.

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del Producto interno Bruto (PIB) de los últimos 9 años **(Ver Tabla 4)**, donde se aprecia el comportamiento histórico del PIB, desde el año 2009 al año 2017.

Tabla 4. Registros históricos del PIB, TPDA y Población.

AÑO	TPDA	PIB (Miles \$)	POB(miles)
2009	3403.0	8,298.7	5850.5
2010	3538.0	8,758.6	5923.1
2011	3701.0	9,774.3	5996.6
2012	4203.0	10,532.5	6071.0
2013	4042.0	10,983	6134.3
2014	4500.0	11,880.4	6198.2
2015	5321.0	12,611.1	6262.7
2016	6496.0	13,184.30	6327.9
2017	6128.0	13,814.20	6393.8

Fuente: Banco Central de Nicaragua (año 2017).

2. 7. 2 Tasas de crecimiento.

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

Las tasas de crecimiento interanual se calcularon usando la **ecuación 3**:

$$TC = \left[\left(\frac{Año_n}{Año_{n-1}} \right) - 1 \right] * 100 \quad \text{Ec.3.}$$

Donde:

TC: Tasa de crecimiento.

Año n: Año actual.

Año n– 1: Año anterior.

Tabla 5. Evolución TPDA de la Estación 300. (Sébaco- Quebrada Honda)

Año																	TPDA	
2017	898	1102	428	1989	151	14	231	480	482	132	1	208					12	6,128
2016	900	1126	516	2100	160	16	234	516	570	139	1	206			1		11	6,496
2015	700	887	420	1760	93	15	222	394	515	102		199			1		13	5,321
2014	472	746	371	1,487	59	19	216	422	442	77	1	171	8				9	4,500
2013	389	688	327	1,348	58	16	206	368	382	74		178					8	4,042
2012	419	681	335	1,410	59	15	217	391	406	64		195					11	4,203
2011	345	536	327	1,258	50	11	201	355	398	55	2	151					12	3,701
2010	287	517	362	1,209	45	10	207	354	345	66	1	132	0		0		3	3,538
2009	260	518	368	1,134	60	12	198	335	351	50		107					9	3,403
2008	189	426	292	978	25	9	202	294	328	40		131					4	2,917
2007	113	314	279	893	29	10	232	266	338	43	4	101				1	4	2,629
2006	103	344	294	899	29	9	232	241	346	27		97					6	2,627
2005	93	407	317	964	25	10	211	236	301	27	3	77					5	2,677
2004	103	402	319	912	23	10	204	227	338	38		72					2	2,649
2003	94	397	329	969	34	9	198	217	316	39		71	1				3	2,678
2002	99	391	328	947	33	3	192	209	325	35	1	67	6	1		1	6	2,642
2001	101	324	325	1001	23	5	194	178	376	52	1	79	1				4	2,664
2000	94	315	348	1052	24	7	182	193	351	45	1	94	1		0		6	2,712
1999	99	289	354	1048	17	7	181	194	366	51	1	100		0	1		5	2,710
1998	80	348	333	995	15	4	131	127	297	46	2	94					5	2,477
1997	77	267	291	830	7	2	122	106	252	35		70					4	2,063
1996	61	259	259	786	12	29	116	94	258	43	3	54		1			1	1,976

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2017,(MTI– DAV).

2. 7. 3 Análisis del Producto Interno Bruto (PIB).

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del PIB de los últimos 8 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2009 al año 2017.

El PIB promedio de 11,118 Millones de dólares, con una tasa de crecimiento promedio de 1.13% **Ver Tabla No. 6 a continuación.**

Tabla 6. Datos Históricos del PIB

AÑO	PIB/Millones	T.C
2009	8,298.7	-1.30%
2010	8,758.6	4.30%
2011	9,774.3	11.60%
2012	10,532.5	7.96%
2013	10,983	4.28%
2014	11,880.4	8.17%
2015	12,611.1	7.30%
2016	13,184.30	3.78%
2017	13,814.2	4.41%
Promedio	11,118	1.13%

Fuente: Banco Central –Indicadores Económicos 2017.

2. 7. 4 Análisis de Población (POB).

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del POB de los últimos 8 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2009 al año 2017, la POB promedio es de **6128.7** Miles de habitantes, con una tasa de crecimiento promedio de **1.13%**. A continuación **(Ver Tabla 7).**

Tabla 7. Datos Históricos del POB

AÑO	POB/Miles	T.C
2009	5850.5	1.24%
2010	5923.1	1.24%
2011	5996.6	1.24%
2012	6071.0	1.24%
2013	6134.3	1.04%
2014	6198.2	1.04%
2015	6262.7	1.04%
2016	6327.9	1.04%
2017	6393.8	1.04%
Promedio	6128.7	1.13%

Fuente: Banco Central – Indicadores Económicos 2017.

2. 7. 5 Proyección de tráfico.

El cuadro siguiente, presenta el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB), de los últimos 8 años (período 2009 – 2017), y posterior se muestra la correlación del TPDA de la Estación N° 300 (Sébaco – Quebrada Honda), con el Producto Interno Bruto, una vez que se realizó la correlación se procede a realizar una segunda aplicando logaritmo natural.

Tabla 8. Correlación TPDA Vs PIB.

AÑO	TPDA vs PIB(miles)		LNTPDA vs LNPIB	
	TPDA	PIB (Miles \$)	LNTPDA	LN PIB
2008	2917	8491.4	7.98	9.05
2009	3403	8380.7	8.13	9.03
2010	3538	8741.3	8.17	9.08
2011	3701	9755.6	8.22	9.19
2012	4203	10532.5	8.34	9.26
2013	4042	10983	8.30	9.30
2014	4500	11880.4	8.41	9.38
2015	5321	12747.7	8.58	9.45
2016	6496	13230.1	8.78	9.49
2017	6128	13814.2	8.72	9.53

Fuente: Sustentantes.

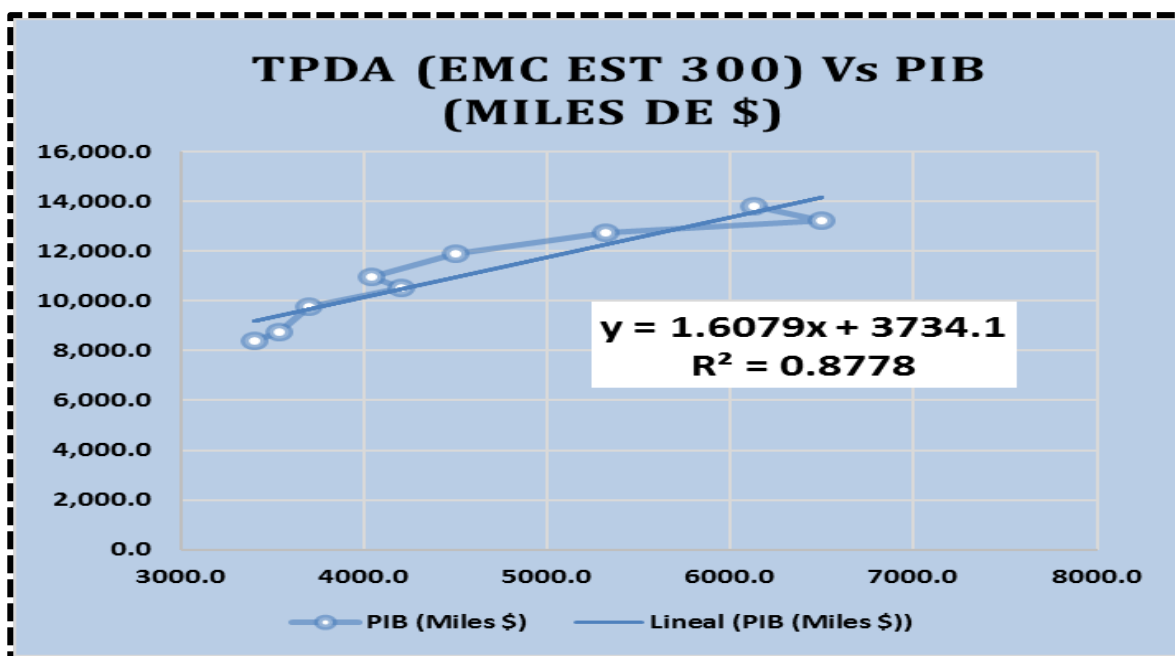
El cuadro siguiente, presenta el comportamiento del TPDA – Población, en el período 2009 – 2017 y la representación gráfica con la ecuación de correlación del TPDA vs POB de la Estación N° 300 (Sébaco – Quebrada Honda). **Ver siguiente Tabla 9.**

Tabla 9. Correlación TPDA Vs POB

AÑO	TPDA vs POB		LN TPDA vs LN POB	
	TPDA	POB (miles)	LN TPDA	LN POB
2009	3403.0	5,850.5	8.13	8.67
2010	3538.0	5,923.1	8.17	8.69
2011	3701.0	5,996.6	8.22	8.70
2012	4203.0	6,071.0	8.34	8.71
2013	4042.0	6,134.3	8.30	8.72
2014	4500.0	6,198.2	8.41	8.73
2015	5321.0	6,262.7	8.58	8.74
2016	6496.0	6,327.9	8.78	8.75
2017	6128.0	6,393.8	8.72	8.76

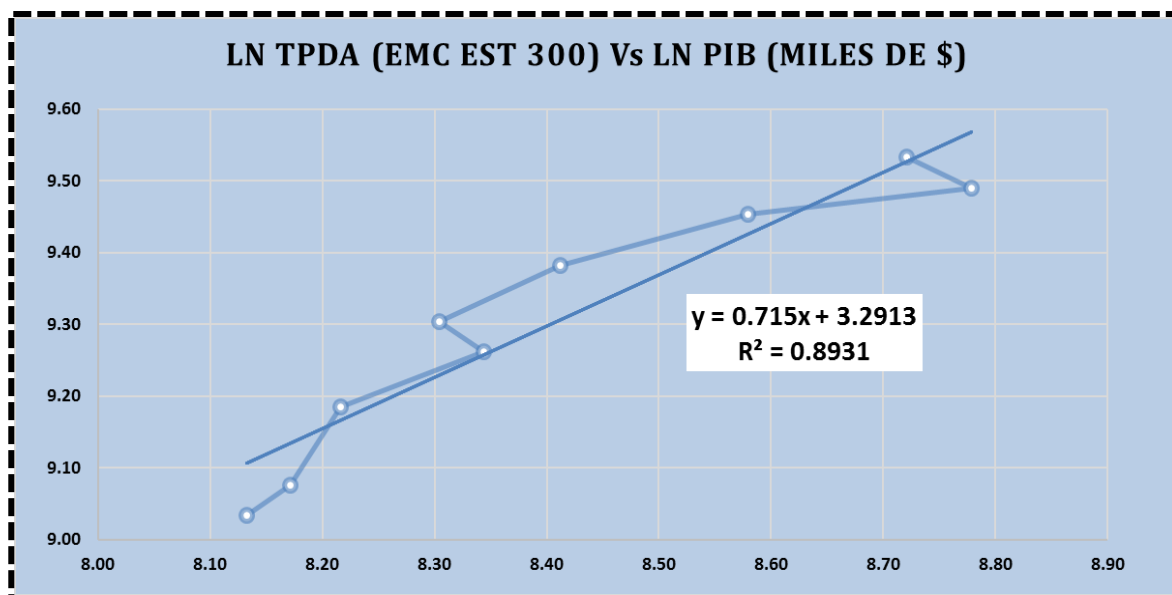
Fuente: Sustentantes.

Gráfico 4. Correlación TPDA Vs PIB



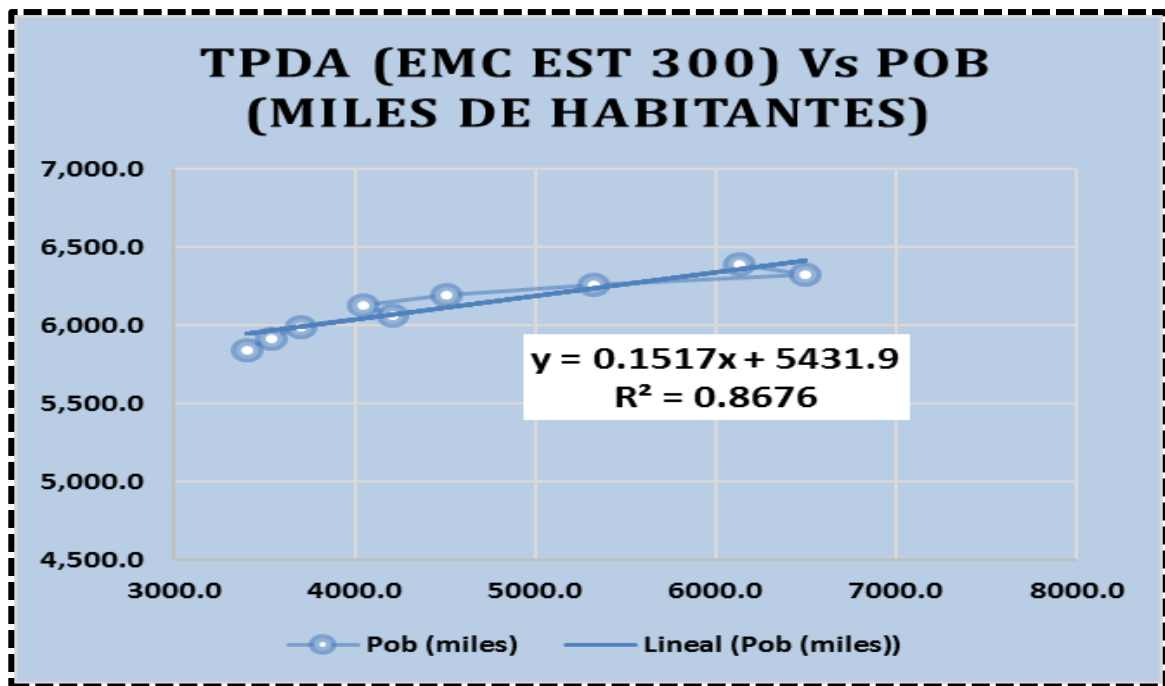
Fuente: Sustentantes

Gráfico 5. Correlación LN TPDA Vs LN PIB



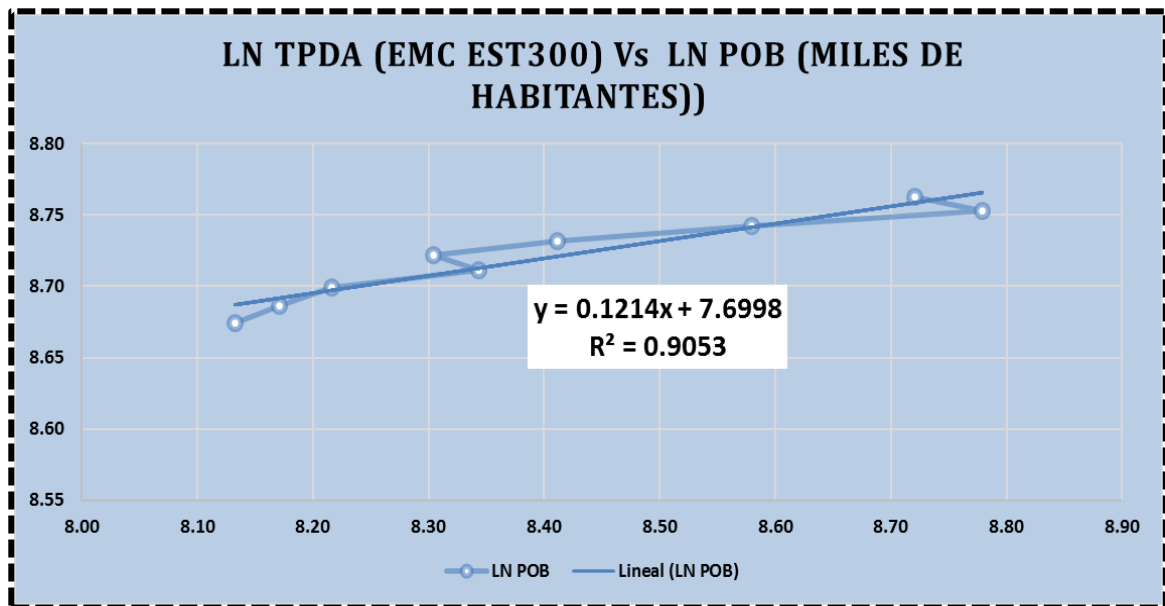
Fuente: Sustentantes.

Gráfico 6. Correlación TPDA Vs POB



Fuente: Sustentantes.

Gráfico 7. Correlación LN TPDA Vs LN POB



Fuente: Sustentantes.

La correlación de las variables TPDA Vs PIB genera un coeficiente de determinación (R^2) igual a **1.608** y la correlación de las variables Logaritmo Natural TPDA Vs Logaritmo Natural PIB genera un coeficiente de determinación (R^2) igual a **0.7150**. En este caso utilizaremos el valor (R^2) igual a **1.608** el cual fue mejorado con (LN), ya que poseen un coeficiente (R^2), mayor a **0.7150**, por tanto, se escoge el primer dato por tener un valor más alto y confiable, para determinar las tasas de crecimiento del tráfico de carga, que son los vehículos de transporte que mueven la mayor cantidad de población hacia los diferentes destinos.

2. 7. 6 Cálculo de Proyección de tráfico.

Las tasas de crecimiento para PIB y POB serán afectados por las elasticidades que se escogieron de las correlaciones realizadas anteriormente, elasticidades que se tomaron en base a los (R^2), de mayor confiabilidad. Procedemos a calcular las tasas de crecimiento utilizando los datos históricos de TPDA, PIB, POB, para cada uno de ellos. **(Ver Tabla 10 Y 11 a continuación).**

Tabla 10: Elasticidades Resultantes de las Correlaciones.

CORRELACIÓN	ELASTICIDAD	CORRELACIÓN	ELASTICIDAD
TPDA Vs PIB	1.608	LN TPDA-PIB	0.7150
TPDA Vs POB.	0.1517	LN TPDA-POB	0.1254

Fuente: Sustentantes.

Tabla 11. Datos Históricos (TPDA, PIB, POB)

AÑO	TPDA	PIB (Miles \$)	POB (miles)
2009	3403.0	8380.7	5850.5
2010	3538.0	8,758.6	5923.1
2011	3701.0	9,774.3	5996.6
2012	4203.0	10,532.5	6071.0
2013	4042.0	10,983	6134.3
2014	4500.0	11,880.4	6198.2
2015	5321.0	12,611.1	6262.7
2016	6496.0	13,184.30	6327.9
2017	6128.0	13,814.2	6393.8

Fuente: Sustentantes.

A partir de estas series históricas, se procede a calcular la tasa de crecimiento para cada variable aplicando la siguiente expresión matemática:

$$TC_{TPDA} = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100 \quad \underline{\text{Ec4.}}$$

Donde:

TPDA_i: Tráfico Promedio Diario Actual.

TPDA₀: Tráfico Promedio Diario Actual del año base.

N: La diferencia de años.

Las tasas de crecimiento calculadas son:

$$TC_{TPDA} = \left[\left(\frac{3,403}{6,128} \right)^{1/9} - 1 \right] * 100 = \mathbf{6.75\%}$$

$$TC_{PIB} = \left[\left(\frac{8,380.7}{13,814.2} \right)^{1/9} - 1 \right] * 100 = \mathbf{5.71\%}$$

$$TC_{POB} = \left[\left(\frac{5,850.5}{6393.8} \right)^{1/9} - 1 \right] * 100 = \mathbf{0.99\%}$$

2. 8 Análisis de la información obtenida.

Producto Interno Bruto: para conocer el valor de tasa de crecimiento promedio para el producto interno bruto se obtiene mediante la **ecuación 4**.

$$TC_{PIB} = 5.71 \% \times 1.608(\text{Elasticidad}) = \mathbf{9.181\%}$$

Para la población: aplicando la **ecuación 4**, luego se multiplicó por su elasticidad quedando con una tasa de **0.707%** para el crecimiento poblacional.

$$TC_{POB} = 0.99\% \times 0.1517(\text{Elasticidad}) = \mathbf{0.707\%}$$

Tabla 12. Evolución del TPDA EMC 300 y ECD 317.

						Año	TPDA
33	NIC-3	300	EMC	Sébaco - Quebrada Honda	Matagalpa	2017	6,128
						2016	6,496
						2015	5,321
						2014	4,500
						2013	4,042
						2012	4,203
						2011	3,701
						2010	3,538
						2009	3,403
						2008	2,917
						2007	2,629
34	NIC-3	317	ECD	Quebrada Honda - Ent. El Guayacán	Matagalpa	2012	5,175
						2011	4,191
						2010	4,510
						2009	3,601
						2005	3,048
						2002	2,881
						2000	2,868
EMC: 101B							
Tasa Crecimiento:						4.92%	
						2017	6,580

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2017,(MTI– DAV).

La tasa de crecimiento del TPDA para una diferencia de nueve años tomando como referencia los años 2009 a 2017 de la estación de mayor cobertura (EMC 300) nos da como resultado de **6.75%**, no obstante, la tasa de crecimiento para la estación de corta duración (ECD 317) es de **4.92%** y la tasa del PIB es de **9.18%**. Dado que las tasas de **6.75%** y **9.18%** podrían resultar un poco altas con respecto a la tasa suministrada por el MTI para la estación ECD 317 y daría como consecuencia incremento en los costos para la construcción de la estructura de pavimento para este tipo de camino, se decidió utilizar la tasa de crecimiento vehicular de **4.92%** para todo el tráfico, lo cual el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) resulta aceptable con relación al registro histórico de las Estación de corta duración.

2. 9 Tráfico de diseño.

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

Este se obtiene a partir de la información básica suministrada por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el Factor de Crecimiento (FC), Factor de Distribución (FD) y Factor Carril (fc). Se calcula mediante la siguiente **Ecuación5:**

$$TD = TPDA * FC * FD * fc * 365 \quad \text{Ec.5.}$$

2. 9. 1 Factor de Crecimiento.

(FC): Este se obtiene a partir del periodo de diseño y está en dependencia del grado de importancia de la vía, y la tasa anual de crecimiento del tránsito. Se determina mediante la siguiente **Ecuación 6:**

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad \text{Ec.6.}$$

Donde:

FC: Factor de Crecimiento.

i: Tasa anual de Crecimiento.

n: Periodo de Diseño.

$$FC = \frac{(1 + 0.0492)^{15} - 1}{0.0492} = 21.45$$

2. 9. 2 Período de Diseño (PD).

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. De acuerdo con las características geométricas de la vía y al volumen actual de tránsito que circula por ella, se eligió **15 años** para su período de diseño, ya que se tiene un TPDA de **402 Vehículos/día**.

Tabla 13. Período de Diseño.

TIPO DE CARRETERA	PERÍODO DE DISEÑO
Gran volumen de Tránsito Urbano	30 – 50 años
Gran volumen de Tránsito Rural	20– 50 años
Bajo volumen pavimentado	15– 25 años

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO-93

2. 9. 3 Factor Distribución Por Dirección (FD).

Este valor se puede deducir del estudio de tránsito (conteo), es la relación entre la cantidad de vehículos que viajan en una dirección y la cantidad de vehículos que viajan en la dirección opuesta, por lo general es 0.5 ya que la cantidad de vehículos es la misma en ambos sentidos, aunque hay casos en que puede ser mayor en una dirección que en otra. **(Ver Tabla 14)**

Tabla 14. Factor de Distribución por Dirección.

Número de carriles en ambas direcciones	LD
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA, 2011.

Identificamos el factor de distribución por dirección a usarse para nuestro diseño que es de; **0.50**.

2. 9. 4 Factor Distribución Por Carril (FC).

El carril de diseño es por el que circulan el mayor número de ejes equivalentes (ESAL'S). **En la Tabla 15** que se presenta a continuación podemos observar el factor carril.

Tabla 15. Factor Distribución por Carril.

Número de carriles en una sola dirección	LC ¹¹
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.50 - 0.75

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

El factor de distribución por carril a usarse es 1.00.

2. 9. 5 El Índice de Serviabilidad Inicial (Po).

Es función del diseño de pavimentos y del grado de calidad durante la construcción. El valor establecido en el Experimento Vial de la AASHTO para los pavimentos articulado fue de **Po=4.2** según el manual SIECA Capítulo 3 Pág. 4.

2. 9. 6 El Índice de Serviabilidad Final (Pt).

Es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la vía antes de que sea necesario el tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación, y generalmente varía con la importancia o clasificación funcional de la vía:

Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de $pt = 1.8-2.0$ según el manual SIECA Capítulo 3 Pág. 4. En este caso se decidió tomar el valor de **Pt=2.0**.

2. 9. 7 Pérdida de Serviabilidad (ΔPSI).

Es la diferencia que existe entre la serviabilidad inicial y la serviabilidad final. Entre mayor sea el ΔPSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, calculado con la siguiente **Ecuación-7**:

$$\Delta PSI = Po - Pt \quad \text{Ec.7.}$$

En el Diseño de la Estructura de Pavimento articulado del de estudio se trabajó con un valor de:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 \Delta PSI = 2.2$$

2. 9. 8 Número Estructural Asumido (SN).

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

2. 9. 10 Factor de Equivalencia (FESAL).

Se obtiene las tablas de la AASHTO– 93 apéndice D, para ejes Sencillos y Dobles respectivamente. Conociendo la serviciabilidad final (**Pt=2.0**), el número estructural asumido (**SN=5**) y los pesos (se encuentran en Kips), los factores de equivalencia se obtienen en **Ver Anexo, Tabla 59-60, pág. X-XI**

Si los factores de equivalencia de cargas en los ejes no se encuentran en estas tablas se deben de interpolar dichos valores.

2. 10 Ejes Equivalentes (ESAL o W18).

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

$$ESAL \text{ o } W18 = TD \times FESAL \quad \text{Ec.8.}$$

El Tráfico pesado es el que mayor daño produce a la estructura de pavimento por lo que deberá de estimarse con la mayor precisión posible.

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

$$T_D = TPDA \times F_C \times F_D \times f_C \times 365 \quad \text{Ec.9.}$$

En base a los datos anteriormente definidos con apoyo del software Excel se procedió a la determinación de los Ejes equivalente (ESAL) para cada eje y tipo de vehículos, tal como se muestra en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Tránsito de Diseño

Tránsito de diseño para el cálculo del ESAL'S							
Tipo de vehículos	Tránsito Actual (2018)	F.C.	Días del año	Tránsito de diseño	Factor por carril(Fc)	Factor de Dirección (Fs)	Tránsito para el carril de diseño
Autos	40.00	21.45	365	313,170.00	0.50	1.00	156,585.00
Jeep	38.00	21.45	365	297,511.50	0.50	1.00	148,755.75
Camionetas	95.00	21.45	365	743,778.75	0.50	1.00	371,889.38
McBus<15 pas	15.00	21.45	365	117,438.75	0.50	1.00	58,719.38
MnBus 15-30 pas	16.00	21.45	365	125,268.00	0.50	1.00	62,634.00
Bus	13.00	21.45	365	101,780.25	0.50	1.00	50,890.13
C2 liv	26.00	21.45	365	203,560.50	0.50	1.00	101,780.25
C2 5 +ton	32.00	21.45	365	250,536.00	0.50	1.00	125,268.00
C3	13.00	21.45	365	101,780.25	0.50	1.00	50,890.13
Total							1127,412.000

Fuente: Sustentantes.

Una vez conocido el tránsito de Diseño, se procede a realizar el cálculo **ESAL'S** del Carril de Diseño, como en algunos casos el peso por eje Kips no está dado en la tabla factores Equivalentes de Cargas Ejes Simples, y Ejes tándem se deberá interpolar el valor exacto utilizando la siguiente formula:

$$y_x = y^0 + \frac{x-x^0}{x^1-x^0} (y^1 - y^0) \quad \text{Ec.10.}$$

Factores de ejes KIPS Interpolados. (Ver Anexo Tabla 58, pág. IX)

Conocido los valores de los factores de Equivalencia (FESAL), se procede a aplicar la **Ecuación 8** para el cálculo de ESAL'S.

Tabla 17. Cálculo ESAL'S del Carril de Diseño

Cálculo ESAL´S del carril de diseño Asumimos un número estructural (SN=5), Pt=2.0								
Tipo de vehiculos	Peso X eje (Ton.met)	Peso X eje (Kips)	Tipo de eje	TPDA 2018	TD	TD corregido	Factor ESAL	ESAL de diseño
Autos	1.00	2.20	Simple	40.00	156,585.00	156,585.00	0.00038	60
	1.00	2.20	Simple				0.00038	60
Jeep	1.00	2.20	Simple	38.00	148,755.75	148,756.00	0.00038	57
	1.00	2.20	Simple				0.00038	57
Camionetas	1.00	2.20	Simple	95.00	371,889.38	371,889.00	0.00038	141
	2.00	4.40	Simple				0.0034	1264
McBus<15 pas	2.00	4.40	Simple	15.00	58,719.38	58,719.00	0.0034	200
	4.00	8.80	Simple				0.0502	2948
MnBus 15-30 pas	4.00	8.80	Simple	16.00	62,634.00	62,634.00	0.0502	3144
	8.00	17.60	Simple				0.9206	57661
Bus	5.00	11.00	Simple	13.00	50,890.13	50,890.00	0.1265	6438
	10.00	22.00	Simple				2.35	119592
C2 Liv	4.00	8.80	Simple	26.00	101,780.25	101,780.00	0.0502	5109
	8.00	17.60	Simple				0.9206	93699
C2 5 +ton	5.00	11.00	Simple	32.00	125,268.00	125,268.00	0.1265	15846
	10.00	22.00	Simple				2.35	294380
C3	5.00	11.00	Simple	13.00	50,890.13	50,890.00	0.1265	6438
	16.50	36.30	Doble				1.43	72773
Total ESAL´S de Diseño(W18)								679,867.00
								6.80E+05

Fuente: Sustentantes.

Obteniendo un valor ESAL's de **679,867.00 equivalente = 6.80E+05**

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

CAPITULO III

ESTUDIO GEOTÉCNICO

3.1. Metodología.

Uno de los puntos más importantes en lo que se refiere a las construcciones son las condiciones que ofrece el suelo; pues dependiendo de esto se determinara si es o no adecuado hacer una obra en un territorio y que tipo de solución sería la más viable económica y técnicamente.

El objetivo del estudio suelo es conocer las características físico-mecánicas del sub-suelo a lo largo del camino, por medio de la realización de ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas de los sondeos, el análisis de la información resultante, tiene como finalidad obtener los Espesores del Pavimento, tomando además en cuenta, el tráfico, el clima y drenaje en el área del Proyecto.

En este capítulo se detallan los procedimientos llevados a cabo a lo largo del tramo en estudio, con el propósito de evaluar y analizar las características físicas, mecánicas y condiciones de soporte del suelo, y así poder contar con la información básica necesaria para la determinación de los espesores a colocar a lo largo de la vía. Los ensayos de laboratorio y caracterización física de los suelos fueron proporcionados por ENIC (Empresa Nicaragüense de Construcción).

Todos los ensayos se realizaron en conformidad a lo establecido en las Normas de la ASTM (Asociación Internacional para la Prueba de Materiales), y AASHTO, entre ellas: Humedad, Valor de Soporte (CBR), Granulometria, Limites de Atterberg (Límite líquido e índice plástico) y Densidad (Proctor), los cuales son los siguientes:

Tabla 18. Tipos de ensayos para estudio de suelos

Ensayo	Especificación ASTM	Especificación AASHTO
Granulometría	D – 422	T – 2788
Límite Líquido	D – 423	T – 8990 y 9087
Índice de Plasticidad	D – 424	T – 9097
Ensayo Proctor Modificado	D – 1557 – 91	T – 180 – 90
Ensayo CBR.	D – 1883 – 73	T – 193 – 81

Fuente: AASHTO, Tercera Edición. Año 2003. Páginas 53-85.

3.2. Ensayos de Suelos en Línea.

Según los estudios de suelos se tomaron muestras representativas alternadas a uno y otro lado de la vía, a una distancia de 200 metros. Con una profundidad de hasta 1.50 metros, dicho procedimiento se inició en la estación 0+000 hasta la estación 2+200. Se efectuaron 12 sondeos manuales, en estos sondeos se tomaron 27 muestras inalteradas representativas de cada estrato encontrado, marcando las profundidades respectivas.

3.2.1. Resultados de Ensayes a Muestras de Sondeos de Línea.

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

Superficialmente está compuesta por una capa de rodamiento con un espesor promedio de 20 cm y hasta el final de los sondeos de 1.50 m de profundidad, existen principalmente suelos gravo areno-arcilloso con clasificación HRB de **A-2-6 (0)**, como también existen suelos tipo A-2-4 (0), A-2-7 (2), A-2-6 (2) y A-7-6 (6). La mayoría con coloración café, dando como resultado un CBR de diseño de subrasante de 11.8% al 95% proctor.

El valor de los ensayos C.B.R. (AASHTO T-193) obtenidos de las muestras de rodamiento, compactadas al 95 % del Próctor Estándar (AASHTO T-99), fue del orden de 6% ,9 %,12%, 16%,17% y 21% respectivamente.

Entre los suelos de rodamiento, existen 2 casos que presenta una plasticidad de 51 % en el Límite Líquido y 29 % en el Índice de Plasticidad, esto corresponde a los Sondeos manual No. 3 y 4 (Est. 0+400 y 0+600) con una profundidad de 1 m y 0.80m, correspondiente al suelo tipo A-2-7(2) respectivamente que superficialmente predomina en mayor cantidad.

Para detallar los tipos de suelos y su profundidad, en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio se presentó la secuencia estratigráfica del sitio en estudio. **ver anexos, Tabla 61-62 pág. XII-XIII**

3.3. Resultados de Ensayes a Muestras de Fuentes de Materiales.

En base en los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorios suministrados por ENIC (Empresa Nicaragüense de Construcción), se analizó un (1) Banco de Préstamo, para así poder conocer la función que puede desempeñar este, al ser usado como material base. El cual se presentan a continuación:

Tabla 19. Banco de materiales

Nombre de Banco	Ubicación	Volumen Aproximado(m³)	Uso Probable
La Talavera	Est.0+960, 50 m Lado izquierdo	50,870	Base

Fuente: Empresa Nicaragüense de la Construcción.

Tabla 20. Características del Banco de materiales

Sondeo	% Porcentaje que pasa por el Tamiz										L.Liq (%)	L.P (%)
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200		
Bco	88%	80%	65%	60%	57%	52%	43%	31%	18%	6%	-	-
FUENTE DE MATERIALES : "BANCO LA TALAVERA"												

Fuente: Empresa Nicaragüense de Construcción.

Tabla 21. CBR Banco de Materiales (Próctor Modificado)

No	PVSS Kg/m³	Densidad Maxima kg/m³	Humedad Optima %	CBR 95%	Clasif. (HRB)	
	FUENTE DE MATERIALES : "BANCO LA TALAVERA"					
1	1381	2350	12	85	GW	A-1-a(0)
Observaciones: PVSS= Peso Volumétrico Seco Suelto, PVSC= Peso Volumétrico Seco Compacto						

Fuente: Empresa Nicaragüense de Construcción.

3.3.1.2. Consideraciones para la Base.

Esta es la capa que se encuentra colocada por debajo de la carpeta de rodamiento, por lo que su ubicación muy cercana a la aplicación de las cargas se requiere materiales de gran calidad y resistencia. Por tanto, deben de cumplir las especificaciones que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 22. Especificaciones de Materiales Empleados en una Base Granular

Nº	Propiedad	Limites	Norma de Prueba
1	Límite líquido	25% Máx.	AASHTO T-89
2	Limite plástico	6% Máx.	AASHTO T-90
3	C.B.R	80% Mín.	AASHTO T-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% Máx.	AASHTO T-96
5	Intemperismo Acelerado	12% Máx.	AASHTO T-104
6	Compactación	95% mín. del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado.	AASHTO T-191 y/o T-238

Fuente: Especificaciones Nic-2000. Sección: 1003.09 (a y b). 1003.23.II (b)

3.4. Banco de materiales propuesto para la capa Base.

De acuerdo con los resultados de laboratorio obtenidos se considera utilizar como fuente de materiales para capa de base el Banco (“**La Talavera**”).

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

El Peso Volumétrico Seco Suelto es de 1,381 kg/m³, su Densidad Máxima es de 2350 kg/m³ con una Humedad Optima de 12%. El resultado del ensayo CBR realizado corresponde a 85% (95%).

Tabla 23. Requisitos graduación de agregados

Cuadro 1003.10 de NIC 2000, Requisitos graduación de agregados.			
Tamiz (mm)	% que debe pasar por los tamices	Banco “Las Talaveras”	Valoración
75	100	99	Cumple
4.75	30-45	43	Cumple
0.075	5-15	6	Cumple

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

El ensaye de CBR para el banco de materiales con suelo (A-1-a (0)) al 95% es de 85%, el cual cumple las Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes de la NIC–2000, ya que su CBR se ajusta a los requisitos mínimos que debe cumplir un material para poder ser utilizado como base, el cual después de colocado y compactado debe tener como mínimo un CBR de 80% al

95% de compactación. Los resultados de los requerimientos que debe cumplir el banco de préstamo se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 24. Requisitos Graduación de Agregados

Prueba	Requerimiento mínimo NIC-2000	Banco "La Talavera"	Valoración
Graduación	Cuadro 1003.10	Cumple	Cumple
Desgaste	Máx. 50%	-	-
Índice de plasticidad	Máx. 10%	-	-
CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación	Min. 80% para Base	85%	Cumple
CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación	Min. 40% para Sub-Base	-	-

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

3.5. Determinación del CBR de Diseño.

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

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

- 1) Identificar los Valores utilizar en el diseño del CBR, los cuales son todos los valores que se encuentran debajo de la línea de la Subrasante.

- 2) Ordenar los Valores de Menor a Mayor, se determina la frecuencia de cada uno de ellos y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.
- 3) Se dibuja un gráfico que represente los valores de CBR contra los porcentajes calculados y con la curva que se obtenga, se determina el CBR con el percentil que corresponda, dependiendo del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.

3.5.1. Identificación de la Subrasante.

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

Se puede apreciar en el perfil estratigráfico (**ver anexo gráfico No. 11, pág. XV**) que este tramo cuenta con una capa de rodadura de un espesor mínimo **20 cm**, el cual corresponde de acuerdo a la clasificación de suelos AASHTO tipo A-2-6 (0) suelos gravo areno-arcilloso como también existen suelos tipo A-7-6 (9), A-2-7 (2), A-2-4 (0) y A-2-6 (2). La mayoría con coloración café.

En la siguiente tabla se presentan las especificaciones para sub-rasante.

Tabla 25. Especificaciones para Terraplenes y Materiales para Sub-Rasante

No.	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodología
1	% de malla N° 200	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-11
2	Limite Líquido	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-89
3	Índice Plástico	15 % máx.	10 % máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10 % Min.	20 % Min.	AASHTO T-193
5	Compactación	95 % máx. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado. (AASHTO-99)	95 % máx. 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 generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC-2000.

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

Tomando en cuenta que el ESAL's es de **679,867.00** y el percentil de diseño **75%** tal y como se indica en la **Tabla N°26**. Graficaremos para encontrar el CBR de diseño de la subrasante (**ver gráfico 8, pág. 38**)

Tabla 26. Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño

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

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

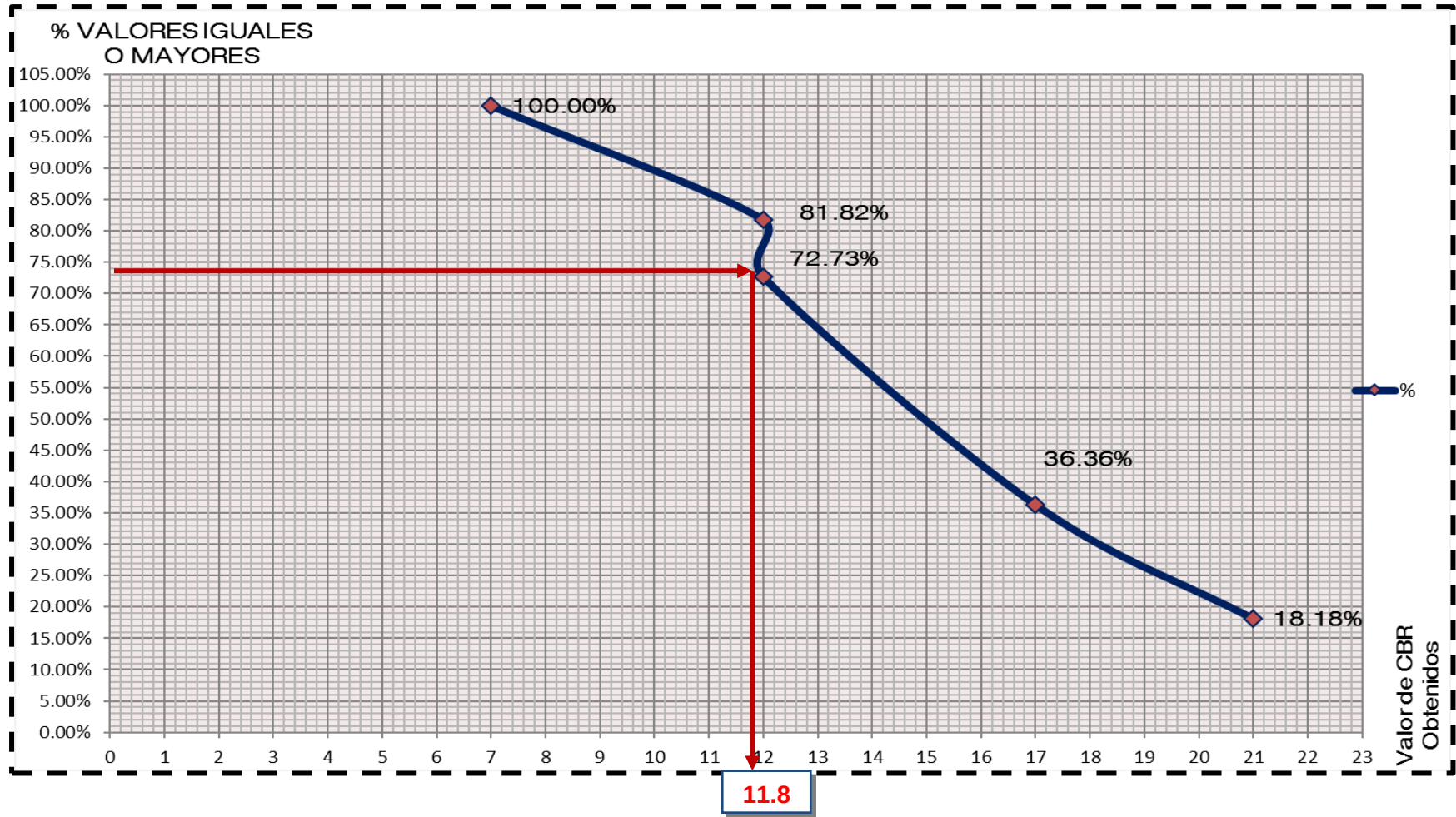
En la siguiente tabla se muestra la acumulación de los valores de CBR de diseño y el tipo de suelo al que corresponde el material existente en la sub rasante:

Tabla 27. Selección de CBR de Diseño para la Sub-Rasante

CLASIFICACION AASHTO	CBR	FRECUENCIA	CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES	%
A-7-6 (9)	7	2	11	100.00%
A-2-6 (0)	12	1	9	81.82%
A-2-6 (2)	12	4	8	72.73%
A-2-7(2)	17	2	4	36.36%
A-2-4 (0)	21	2	2	18.18%
TOTAL DE MUESTRAS DE CBR=	11			

Fuente: Sustentantes.

Gráfico 8. Selección del CBR de Diseño



Fuente: Sustentantes



CAPITULO IV

DISEÑO DE PAVIMENTO

4.1. Generalidades.

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

En Nicaragua se utilizan 4 tipos de carpeta de rodamiento en la construcción de carreteras: macadam, asfáltica, de concreto hidráulico y adoquinado. Debido a su fácil manejo y otras características en este estudio se eligió adoquines, en todo caso resulta una alternativa económica y de fácil mantenimiento.

4.2. Consideraciones del Diseño AASHTO 93:

4.1.1. Carga de Ejes Simples Equivalentes.

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

Al realizar el estudio de tráfico, se clasifican todos los vehículos livianos y pesados según su peso por eje, encontrando así los volúmenes de tránsito, luego dichos volúmenes se proyectan a un período de diseño en concordancia a una tasa de crecimiento que se determina según las condiciones económicas y sociales de la zona, el proceso anterior nos permite determinar el tránsito de diseño (TD), posteriormente se afecta este tránsito de diseño por un factor de equivalencia de carga, la sumatoria de todos los procesos anteriores para cada vehículo clasificado se denomina ESAL de diseño. En el tramo en estudio el ESAL de diseño es **679,867.00**.

4.1.2. Confiabilidad.

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

Esta variable trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, cuyo valor depende de variaciones al azar tanto en la predicción del tránsito como en la predicción del comportamiento, del nivel de confiabilidad elegido y del error estándar combinado, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan se desempeñarán satisfactoriamente sobre las cargas de tráfico y condiciones ambientales que durarán como mínimo el período de diseño.

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA 2004 recomienda diferentes niveles de confiabilidad. Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad **R** del **80%**, que corresponde a un valor recomendado para una Carretera Colectora rural lo cual se muestra en la **Tabla N°28**. Esta confiabilidad seleccionada de acuerdo con el grado funcional del tipo de la carretera presenta una desviación **Zr** de **-0.841**, lo cual se muestra en la **Tabla N°29**.

Tabla 28. Niveles de Confiabilidad R en Función del Tipo de Carretera

Niveles Recomendados de Confiabilidad (R)		
Clasificación de la Vía	Zona Urbana	Zona Rural
Autopistas	85-99.9	80-99.9
Troncales	80-99	75-99
Locales	80-95	75-95
Ramales y Agrícolas	50-80	50-80

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

Tabla 29. Valores de Zr en función de la confiabilidad R

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

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

4.1.3. Desviación Estándar.

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

Tabla 30. Desviación Estándar Dependiendo de las Condiciones de Servicio

Condición	Pavimento Rígido	Pavimento Articulado
En construcción nueva	0.35	0.45
En sobre capas	0.39	0.49

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

4.1.4. Serviciabilidad.

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

La forma más sencilla para determinar la pérdida de serviciabilidad se muestra en el capítulo 7, página 5 del Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (SIECA), se muestran los valores recomendados de desvío estándar comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Tabla 31. Factores de Serviciabilidad

Serviciabilidad Inicial	Serviciabilidad Final
Po= 4.5 para pavimentos rígidos	Pt= 2.5 o más para caminos principales
Po= 4.2 para pavimentos flexibles	Pt= 2.0 para caminos de Tránsito menor

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.

4.1.5. Coeficiente de drenaje.

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

La AASHTO 93 recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de los miembros de los paquetes estructurales, la forma de consideración de los coeficientes se demuestra en la **Tabla N° 32 – 33, pág. 43.**

La calidad del drenaje es expresada en la fórmula del número estructural, dado que se asume una buena capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman el pavimento, el coeficiente de drenaje a utilizar es de **mi = 1.00.**

Tabla 32. Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad

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

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

Tabla 33. Porcentaje del Tiempo que el Pavimento está Expuesto a Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación

Calidad del drenaje	P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos 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 - 0.40	0.40

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

4.1.6. Cálculo del CBR de diseño.

La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193. El CBR de diseño de este tramo es de **11.2%**. Este se obtuvo con un percentil de **75%**. (Ver Gráfico 8 del cap. III, pág.38)

4.1.7. Módulo de Resiliencia (MR).

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

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

Tabla 34. Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para Sub rasante

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10%	Mr= 1500 * CBR
CBR>10<20	Mr=3000*CBR ^{0.65}
CBR > 20%	Mr= 4326*Ln(CBR)+241

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

En este caso como se obtuvo un CBR de diseño para la subrasante de **11.8%**, utilizaremos el segundo criterio para calcular el Módulo Resiliente de la subrasante aplicando la siguiente ecuación:

$$Mr = 3000 * CBR^{0.65} \text{ Ec 12}$$

$$Mr = 3000 * (11.8\%)^{0.65}$$

$$Mr=14,922.6 \text{ psi}$$

El módulo Resiliente de la Sub rasante es Mr= 14,922.6 PSI

4.1.8. Coeficientes de capa.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (**a_n**), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales SN. Estos están representados con la siguiente simbología:

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

a₂: Para la base granular (**CBR 85%**)

4.1.8.1. Coeficientes Estructural a_1 .

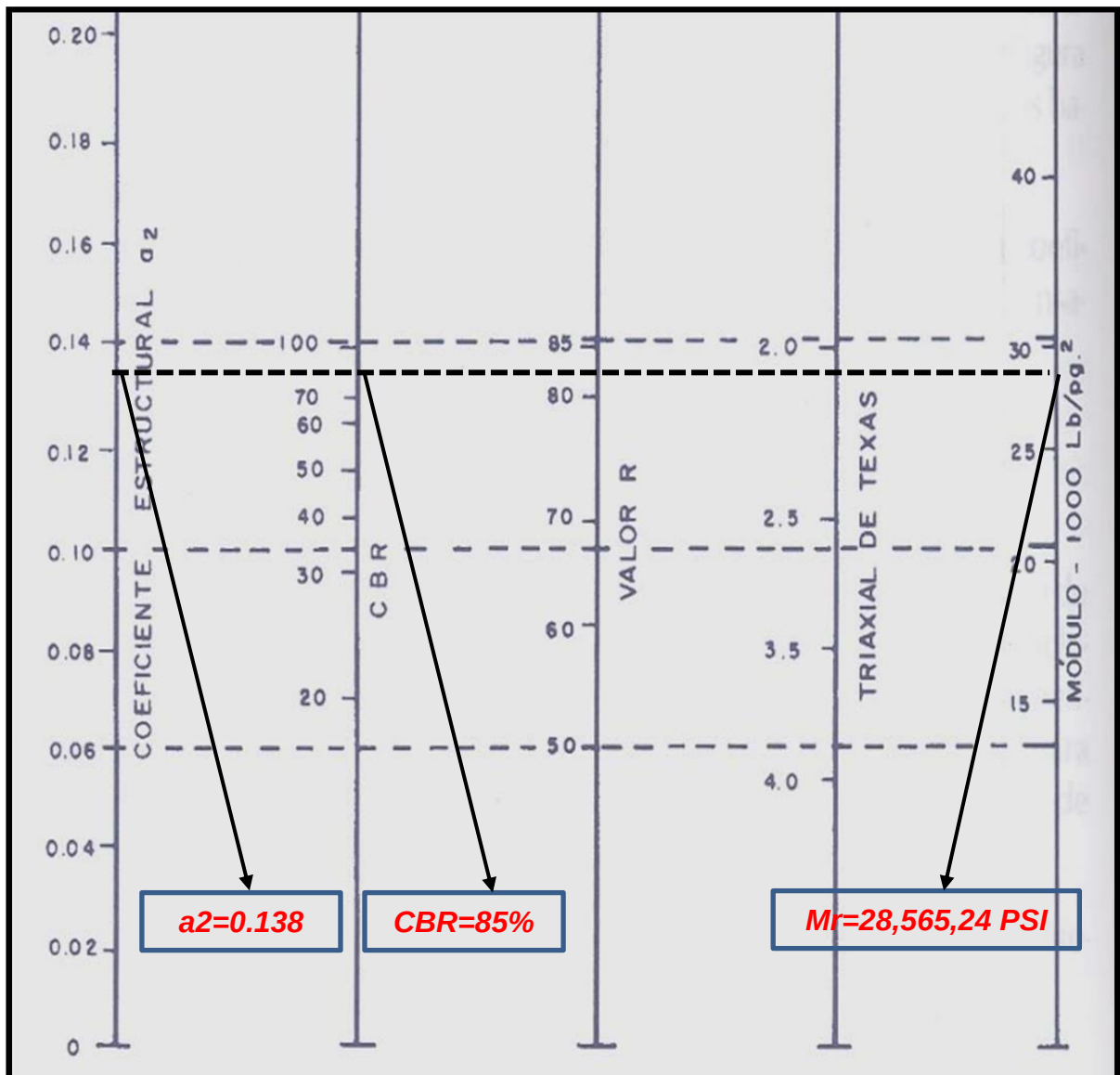
El coeficiente estructural de capa de un asfalto denso graduado basado en su módulo elástico (EEC) según la guía de la ASSHTO-93, para el diseño de estructuras de pavimento se recomienda utilizar valores, no mayores de **450,000.00 psi** para el módulo de elasticidad. Los adoquines tienen un comportamiento similar al de un concreto asfáltico, se utiliza para este tipo de carpeta (Adoquín), un coeficiente a_1 de **0.45**

4.1.8.2. Coeficientes Estructural a_2 .

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

El valor de CBR usado para el cálculo de la Base es igual a **85%** que corresponde al Banco de préstamo, de acuerdo con la línea trazada en el nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de $a_2=0.138$ y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **$M_r = 28,565.24 \text{ PSI}$** .

Gráfico 9. Obtención del Coeficiente estructural a_2 y el Módulo Resiliente, para Base Granular



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

4.1.9. 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:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 \quad \text{Ec.12.}$$

Donde:

D_{1,2}= espesores de capas asfálticas y base respectivamente en (pulgadas).

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

m_i= 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.

4.2. Calculo de Espesores.

El espesor D1 para nuestro caso está definido, debido que utilizará adoquín como carpeta de rodamiento, por lo tanto, **D₁= 4 pulgadas.**

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

$$SN_1 = a_1 * D_1 \quad \text{Ec.13.}$$

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

$$SN_1^* = 1.8$$

Gráfico 10. Obtención del Numero estructural SN_2 ($SN_{requerido}$).

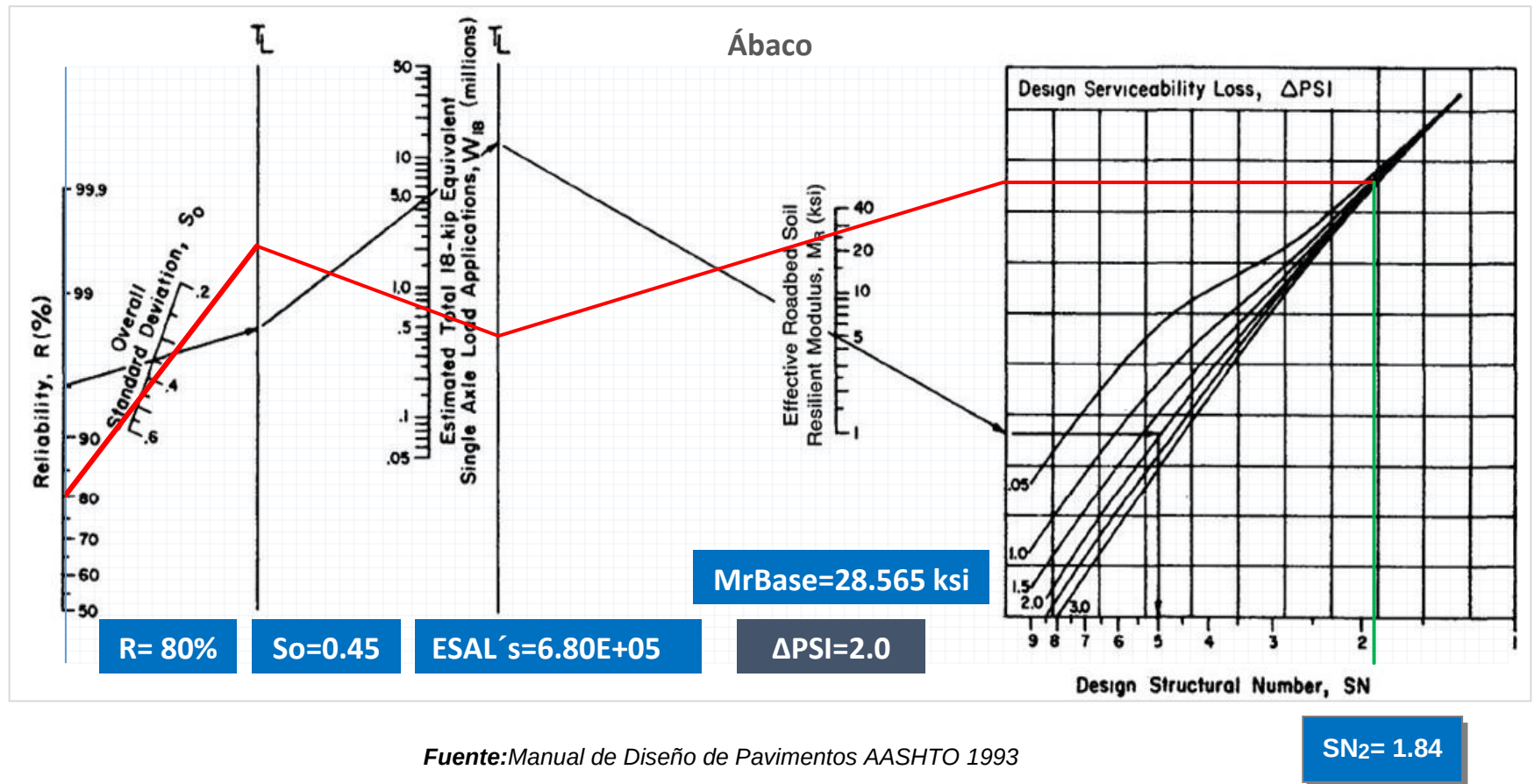
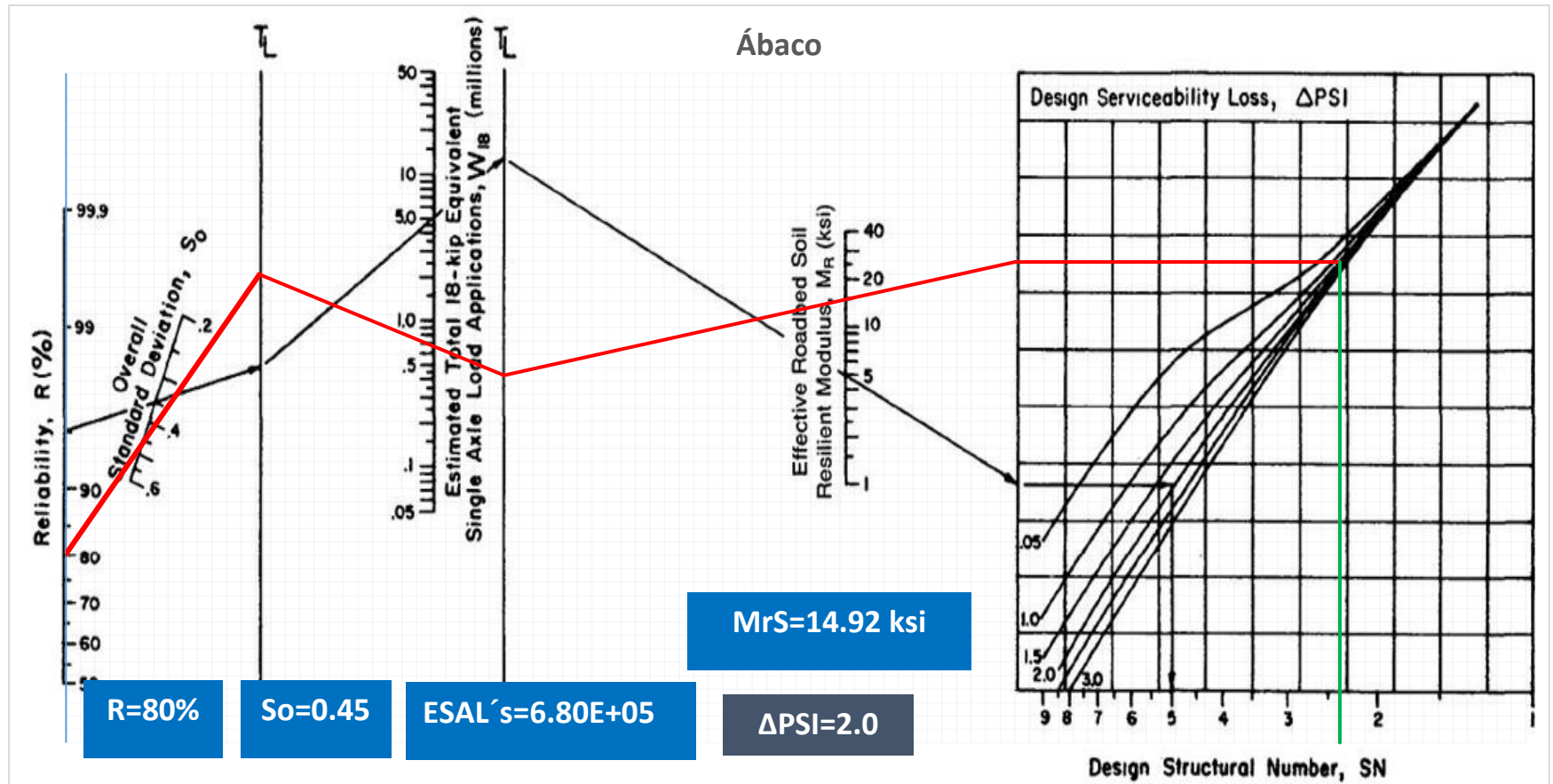


Gráfico 11. Obtención del Numero estructural SN Requerido.



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993

$SN_R=2.32$

4.2.1. Cálculo del espesor de la base (D₂).

Teniendo en cuenta que es conocido el valor de SN₁, entonces el valor del coeficiente estructural de la base se obtiene de la siguiente manera:

Calculo del espesor para la Base (D₂):

$$D_2 = (SN_2 - SN_1) / (a_2 * m_2) \quad \text{Ec.14.}$$

$$D_2 = (1.84 - 1.8) / (0.138 * 1.00)$$

$$D_2 = 0.289'' \text{ pulgadas}$$

$$D_2 = 0.74 \text{ cm}$$

Como el cálculo del espesor para la base dio como resultado 0.289" pulgadas, el cual no cumple los espesores mínimos establecidos por el Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93, se asumirá el espesor que se requiere para que **D₂** (Base), que resista los esfuerzos que le transmitirá la carpeta de adoquín, de acuerdo con la Tabla 35, de espesores mínimos resulta que, para el ESAL's de diseño de **679,867.00**. El espesor mínimo de la base granular es **6.00 pulgadas** (15 centímetros).

Tabla 35. Espesores Mínimos Sugeridos para Base o Sub-Base.

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

Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, pág. 175.

$$SN_2 = a_2 * D_2 * m_2 \quad \text{Ec.15.}$$

$$SN_2 = (0.138) * (6.0) * (1.00)$$

$$SN_2^* = 0.828$$

Verificación tenemos la formula siguiente:

$$S_{N1} + S_{N2} \geq S_{N2}$$

$$1.80 + 0.828 = 2.628 = 1.84 \text{ O. K}$$

Comprobación:

$$SN_1^* + SN_2 \geq SN_{requerido} \quad \text{Ec.17.}$$

$$1.8 + 0.828 \geq 2.32$$

$$2.628 \geq 2.32 \quad \text{O.K}$$

4.2.2. Espesores finales de Diseño.

En base al análisis y a los resultados obtenidos, la carpeta de rodamiento de los 2.2km del tramo Sébaco Viejo- Hacia Molino Sur será de **4 pulgadas** ya que este caso se utilizará adoquín, la base granular será de **6 pulgadas**, los espesores detallados son los siguientes:

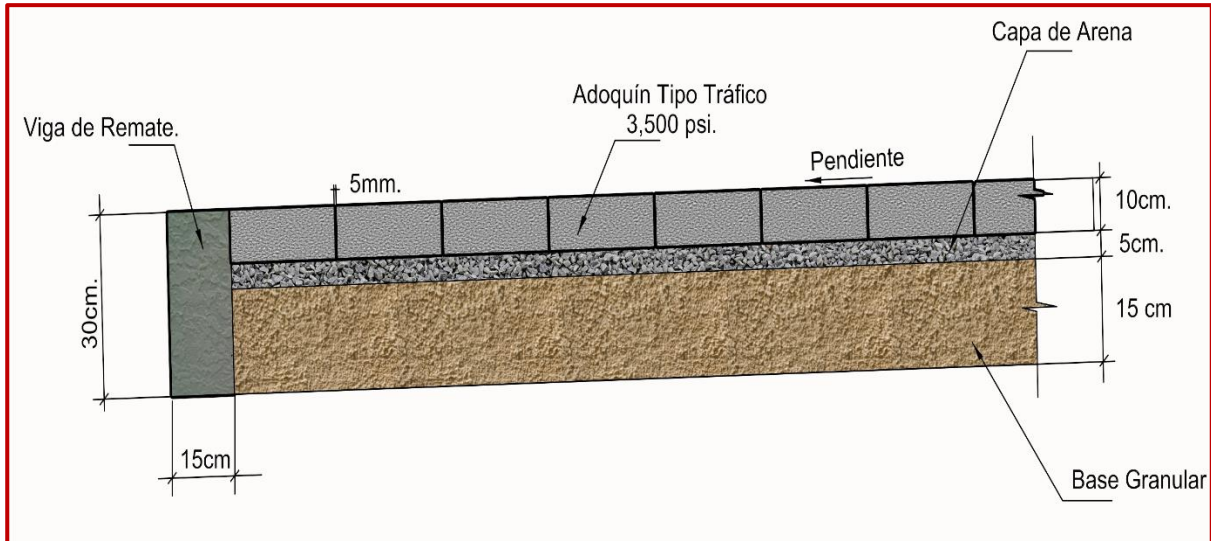
Tabla 36. Espesores de Diseño

Capa	Espesor	
	Pulgadas	Centímetros
Capa de rodamiento (Adoquín)	4"	10cm
Capa de arena	2"	5cm
Base granular	6"	15cm
Espesor Total Requerido	12"	30cm

Fuente: Sustentantes.

A como se observa en la tabla anterior, al utilizar adoquín tráfico como carpeta de rodamiento, el espesor de 5 centímetros de arena no es tomado en cuenta en la suma total del espesor requerido, dado que se considera que el lecho de arena no tiene ningún aporte estructural. Tal y como se muestra en la **(Imagen 2)** la estructura total es de **25 cm**.

Imagen 2. Estructura de Pavimento Articulado



Fuente: Sustentantes.

En resumen, se ha obtenido como resultado la siguiente estructura de pavimento donde se muestran los valores de $SN_1=1.80$ y $SN_2=1.84$ además de los espesores $D_1=4''$ y $D_2=6''$

4.3. Uso del programa WinPAS.

Para comparar y comprobar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se determinaron los espesores de las diferentes capas de pavimento utilizando el programa WinPAS. El cual resulta una herramienta útil que agiliza y facilita los cálculos para el diseño.

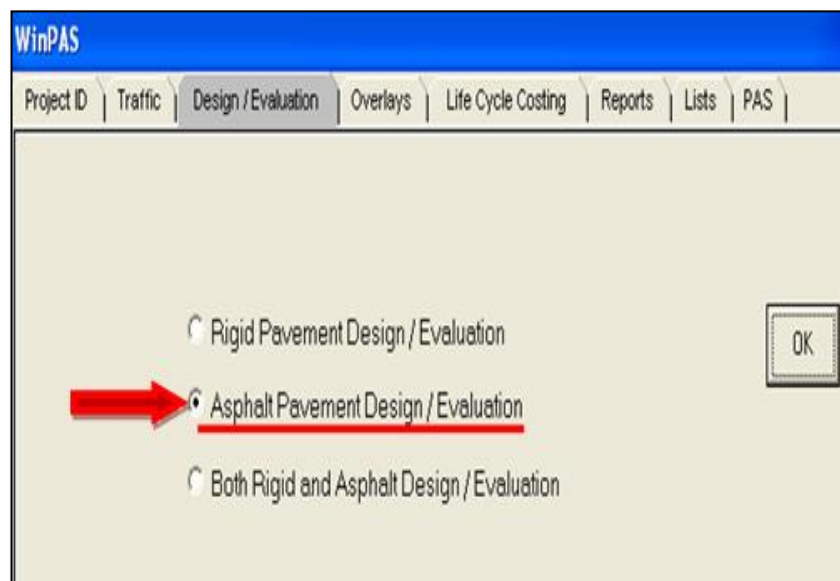
Imagen 3. Software de diseño WinPAS



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.

Imagen 4. 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:

Tabla 37. Resumen de datos para calcular espesores en el programa WinPAS

Consideraciones del Diseño AASHTO 93	Valores a utilizar
ESAL de diseño	679,867.00
Confiabilidad	80%
Valor desviador (Zr)	-0.841
Desviación Estándar (So)	0.45
Módulo de Resiliencia Subrasante	14,922.6 psi
Serviciabilidad inicial (Po)	4.0
Serviciabilidad Final (Pt)	2.0
Δ PSI	2.0
Coefficiente de drenaje (mi)	1.00
Coefficiente de capa, Adoquín (a_1)	0.45
Coefficiente de capa, Base (a_2)	0.138

Fuente: Sustentantes.

Imagen 5. Introducción de Datos en WinPAS

The screenshot shows the 'Flexible Design Inputs' dialog box. It has a blue title bar with standard window controls. The main area is light gray and contains several input fields with their corresponding values: Structural Number (2.32), Design ESAL (679,867), Reliability (80.00), Overall Deviation (0.45), Soil Resilient Mod. (14,922.6 psi), Initial Serviceability, Po (4.00), and Terminal Serviceability, Pt (2.32). To the right of these fields are buttons for 'Cross Section', 'OK', a help icon (a red question mark on a notepad), and 'Layer Determ.'. At the bottom, there is a 'Solve For' section with a dropdown menu set to 'Terminal Serviceability' and a value of 2.32, next to a 'Solve For' button.

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=2.32**

Se procede a introducir los coeficientes estructurales (a_1 y a_2), los coeficientes de drenaje (m_1 y m_2), y por último los espesores (D_1 Y D_2). Se puede observar que, al proponer los espesores calculados manualmente, estos cumplen, ya que $\Sigma SN=2.63$, es mayor que el **SN requerido=2.32**

Imagen 6. Introducción de Layers de Diseño

Layer Material	Layer Coefficient, a	Drainage Coefficient	Layer Thickness inches	Layer Struct No, SNi	Additional Thickness inches
Asphalt Cement Concrete	0.45	1.00	4.00	1.80	
Granular Subbase	0.14	1.00	6.00	0.83	

ΣSN **2.63** OK
 SN Required **2.32**

Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

CAPITULO V

ESTUDIO TOPOGRÁFICO

5.1 Metodología

El levantamiento topográfico fue realizado por un agrimensor independiente contratado por la Alcaldía municipal de Sébaco, dentro de los alcances del proyecto comprendió el levantamiento de 2.2 Km de camino, iniciando en Sébaco viejo hasta el puente Las Calabazas. El procedimiento utilizado para el levantamiento fue el método de perfil longitudinal y secciones transversales de acuerdo al arreglo que presentan los puntos al momento de ser importados al programa Civilcad 2015.

Equipo topográfico utilizado:

- **Estación Total:** Aparato electrónico electro –óptico utilizado en topografía cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica incorpora el distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico TOPCON ES 105 alfanumérico, de alta precisión y eficiencia.
- **Prisma:** Modelo tk21 de acero utilizada para captar la señal de una estación total el cual regresa la información a la misma.
- **Bastón:** de aluminio Nls31 telescópico de 2.5 metros.
- **Cinta métrica metálica:** De 50 metros, se utiliza en la medición de distancias tales como el levantamiento de secciones transversales, o hacer el cadenamiento durante el levantamiento con el teodolito, medir la distancia de un punto que se tomó como referencia cuando se hizo el levantamiento, etc.
- **Chapas:** elemento utilizados para marcar puntos importantes como lo son PI y BMs,
- **Spray:** Roseador de pintura en aerosol color rojo.

5.2 Metodología empleada para procesar los datos

Dado que el levantamiento topográfico fue realizado con estación total y suministrado por el área de catastro en formato TXT.

Con la ayuda del programa Autocad y la aplicación Civilcad 2015, se importaron todos los puntos para luego ser procesados y determinar los alineamientos horizontales y verticales. A continuación, se describen las coordenadas UTM donde inicia y finaliza el tramo de camino en estudio.

5.2.1. Perfil Longitudinal.

Es la proyección del eje real de la vía sobre una superficie vertical paralela a la misma. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante. Aquí se detallan los alineamientos verticales, su gradiente longitudinal, así como las curvas verticales con sus parámetros más importantes y cotas respectivas.

(Ver Anexos-Planos del Proyecto).

5.2.2. Altimetría.

Curvas de nivel

Se determinaron las elevaciones de todos los puntos en todo el tramo en estudio, estos fueron procesados en el software Autocad - Civilcad 2015, generando así el mapa de curvas de nivel que ayudan a conocer el tipo de relieve de la vía existente y que sirvió de apoyo para el diseño del alineamiento horizontal y vertical.

Pendientes

El valor del bombeo que predomina en el tramo en estudio es de 3 % determinado a partir del levantamiento topográfico.

Basados en el levantamiento topográfico, en el sitio existen 3 curvas verticales tipo cresta y 3 curvas verticales tipo columpio. El tipo de terreno del camino es plano ya que predominan pendientes menores a 5%.

5.2.3. 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, BM's y sus referencias, el perfil longitudinal y el anteproyecto de la rasante.

En el juego de planos constructivos se incluyen, además, hojas que contienen detalles constructivos de drenaje, tales como cunetas tipo caite tipo V. Todo ello fue editado en el software AUTOCAD Y CIVILCAD 2015.

Las escalas usadas en el dibujo de los perfiles longitudinales. Los planos fueron dibujados a escala 1:750 y 1:75 en sentido horizontal y vertical respectivamente.

CAPITULO VI

DISEÑO GEOMÉTRICO

6.1. Diseño Geométrico del Camino.

El Diseño geométrico de carreteras es el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. En ese sentido, la carretera queda geométricamente definida por el trazado de su eje en planta y en perfil y por el trazado de su sección transversal. **(ver anexos Planos del Proyecto)**

6.1.1. Metodología.

En ese sentido el trazado debe reunir determinadas características en sus alineamientos y pendientes, y para ello deberán establecerse desde un principio los radios de curvatura mínimo y las pendientes máximas que pueden emplearse.

Los criterios que aquí se establecen son específicos y por lo tanto no deben aplicarse mecánicamente. Se refieren específicamente al trazado geométrico en armonía con estado natural del terreno que atraviesa la carretera.

Como resultado de la aplicación de estos criterios pueda que el costo inicial de la obra no sea el mínimo posible, pero en definitiva la obra, incluyendo su mantenimiento, el costo de su uso, que el número de accidentes sea el mínimo con un mínimo de pérdida de vidas humanas y materiales, será una obra más económica y con un rendimiento máximo, en función del logro de estos objetivos, estarán dados los criterios.

6.1.2 Uso del Software Civilcad Para el diseño geométrico vial

CivilCad es un software profesional usado especialmente en el diseño de vías terrestres, fraccionamientos y terracerías, se usa sobre AutoCAD, siendo éste una herramienta de el mismo. El programa trabaja con normas de la Secretaria de Comunicación y Transporte de México (SCT) cuyas normas son muy similares a las del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP).

Entre las funciones más importantes que realiza CivilCad tenemos:

- ✓ Edición de puntos.
- ✓ Edición de triangulaciones
- ✓ Trazado de curvas horizontales
- ✓ Trazado de curvas verticales
- ✓ Diseño de taludes con bermas
- ✓ Determinación de volúmenes entre secciones
- ✓ Obtención del diagrama de curva de masas

6.2. Criterios y Normas para el Diseño Geométrico.

Normas de diseño: las normas de diseño a ser implementadas serán las contenidas en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA, 2da Edición 2004) o en su defecto la Guía de Diseño Geométrico de A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, Quinta Edición 2004, AASHTO.

Aspectos relevantes para el diseño de pavimentos

- 1.- Ninguna norma debe sustituir el buen criterio y juicio explícito del diseñador.
- 2.- El mejor diseño geométrico de una carretera puede ser rechazado si, en el análisis de sus elementos justificativos, no se incorporan uniformemente los componentes ambientales de su impacto en el medio natural y social.
- 3.- Las normas de diseño no deben ser una camisa de fuerza, únicamente deben ser utilizadas como una guía sólida y técnicamente aceptable sobre las soluciones más deseables para el diseño geométrico.

4.- El buen funcionamiento de la red vial es crucial para el desarrollo seguro y eficiente de las actividades socio - económicas.

5.- El diseño de una carretera debe ser consistente, esto es, evitar los cambios considerables en las características geométricas de un segmento dado, manteniendo la coherencia de todos los elementos del diseño con las expectativas del conductor promedio.

6.- En el diseño debe presentarse la debida atención a las necesidades de los peatones, de los ciclistas y motociclistas que circulan por la carretera.

7.- En el diseño del pavimento de las carreteras es esencial facilitar la efectiva interacción entre la superficie de rodamiento y las llantas de los vehículos para el control y el frenado de estos.

Para obtener las condiciones adecuada en el diseño a realizar se tomará en consideración los siguientes aspectos:

- Tipo de área: urbano o rural
- Condiciones de terreno: Plano, ondulado o montañoso
- Volumen de tránsito Liviano o pesado
- Condiciones ambientales
- Consistencias en el diseño de carreteras similares

Tabla 37. Resumen de los criterios de diseño.

TIPO DE TERRENO	Porcentajes de pendiente máxima						
	Velocidades de diseño, en KPH						
	50	60	70	80	90	100	110
LLANO	6%	5%		4%		3%	
ONDULADO	7%	6%	5%	5%	4%	4%	4%
MONTAÑOSO	9%	8%	7%	7%	6%	5%	5%

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

6.2.1. Elementos geométricos de una curva horizontal.

6.1.3.1. Puntos notables.

PI: Es el punto donde se interceptan las dos tangentes horizontales.

PC: Es el punto de tangencia entre la tangente horizontal y la curva al comienzo de esta.

PT: Es el punto de tangencia entre la tangente y la curva al final de esta.

PM: Punto medio de la curva horizontal.

PSC: Indica un punto sobre la curva.

6.2.1.1. Puntos geométricos.

R: Es el radio de la circunferencia en la que la curva es un segmento de esta, de ahí que la curva horizontal es una *curva circular*.

ST: Tangente de la curva, es el segmento de recta que existe entre el PI y el PC y también entre PI y PT.

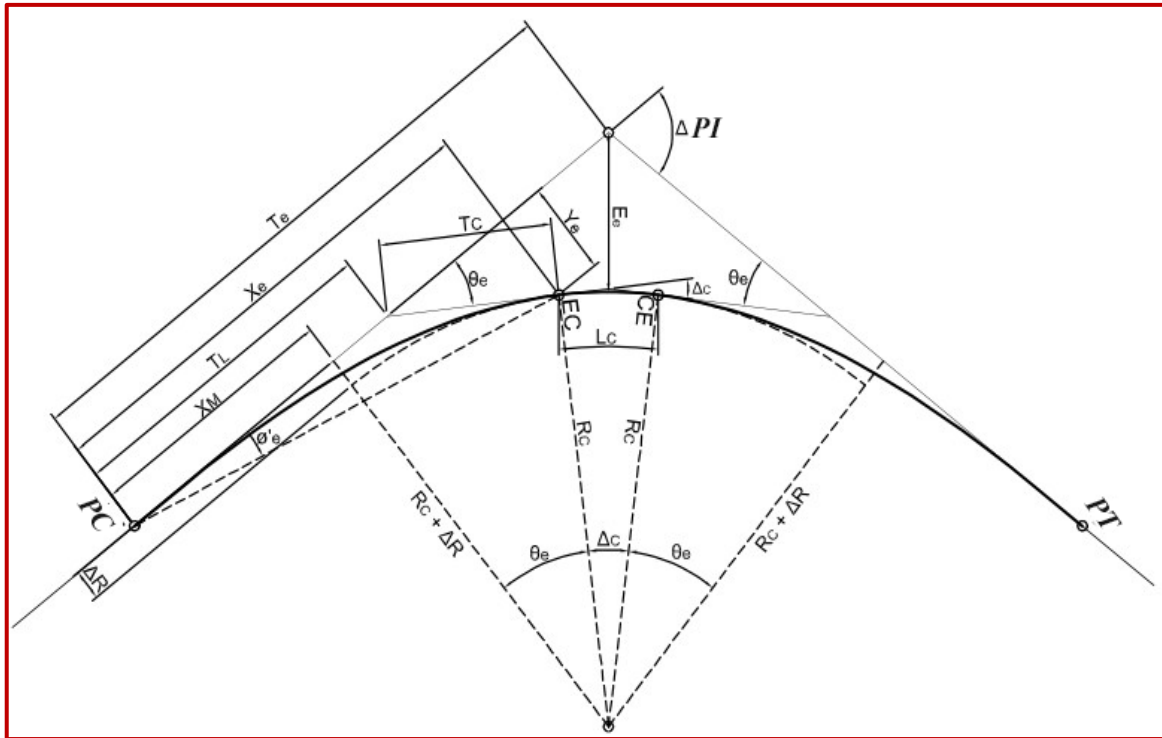
CM: Cuerda Máxima, es el segmento de recta que une al PC con el PT.

LC: Longitud del arco comprendido entre PC y el PT. Se conoce también como desarrollo (D).

M: Ordenada a la curva desde el centro de la cuerda máxima. **E:** Distancia desde el centro de la curva al punto de Inflexión.

Δ : Ángulo de inflexión o de deflexión formado por las tangentes al interceptarse en el PI.

Imagen 7. Elementos geométricos de la curva horizontal.



Fuente: Sustentantes.

6.2.1.2. Tipos de curva horizontales.

Las curvas horizontales suelen presentarse en tres casos diferentes, aunque aquí sólo se mencionará en detalle el caso que se presenta en este proyecto. Como ejemplo podemos citar una curva que debe pasar por un *punto obligado*, en el otro el *PI es inaccesible*, hay casos en el que se debe trazar una *curva compuesta*. Todos estos casos tienen su mecanismo de trazado y se basa en el caso más sencillo que se puede presentar, una *curva horizontal simple*.

6.2.1.3. Curvas de transición.

Sirven para pasar, de manera gradual, de un tramo en tangente a otro en la curva circular.

De tal modo que el cambio de curvatura sea suave y que el peralte en todos los casos esté de acuerdo con el grado de curvatura.

Un parámetro que determina el diseño de curvas de transición es el Radio y la Velocidad de diseño, ya que cuanto menor sea el radio de la curva circular y mayor la velocidad de diseño, mayor es la necesidad de hacer uso de estas.

Por otro lado, si el radio supera los 1500m, no es necesario diseñar curvas de transición tampoco son necesarias en calles urbanas, esto se debe a las distancias cortas, a la cantidad de intersecciones y al derecho de vía, sin embargo, se utilizan para proporcionar el cambio del bombeo al peralte.

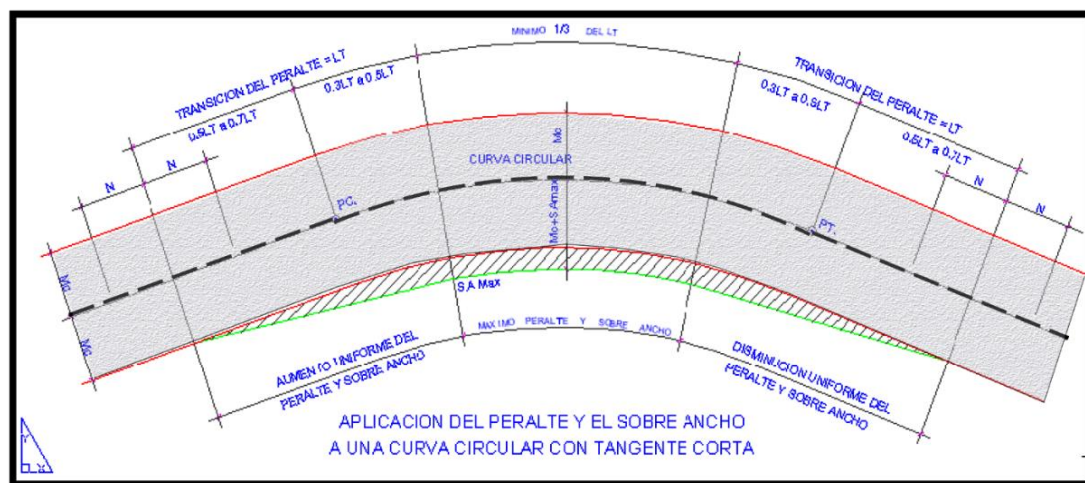
6.2.1.4. Diseño de la curva de transición.

Dentro del diseño de la curva de transición se incluyen la sobre elevación (peralte) y el sobre ancho.

6.2.1.5. 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.

Imagen 8. Sobre ancho en la curva circular



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

6.2.1.6. Radios mínimos y grados máximos de curvas.

Según las NORMAS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE LAS CARRETERAS REGIONALES, en su sección 4-39, los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la máxima fricción lateral escogida para diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte o sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad, o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. Un vehículo derrapa en las curvas debido a la presencia de agua o arena sobre la superficie de rodamiento.

El uso de radios más reducidos solamente puede lograrse a costas de incómodas tasas de sobreelevación o apostando a coeficientes de fricción lateral que pueden no estar garantizados por la adherencia de las llantas (calidad, grado de desgaste del grabado, presión, etc.) con la superficie de rodamiento de la carretera.

Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación (e), los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular utilizando la fórmula indicada en sección 4.39 de la SIECA,

$$R = \frac{V^2}{(127(e + f))}$$

Donde:

R : Radio mínimo de curva, en metros

e : Tasa de sobreelevación en fracción decimal

f : Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

V : Velocidad de diseño, en kilómetros por hora

Tabla 38. Distancias mínimas para carreteras rurales de dos carriles

VELOCIDAD DE DISEÑO	VELOCIDADES KM/H		DISTANCIA MÍNIMA DE ADELANTAMIENTO (M)
	VEHÍCULO QUE ES REBASADO	VEHÍCULO QUE REBASA	
30KPH	29	44	220
40KPH	36	51	285
50KPH	44	59	345
60KPH	51	66	410
70KPH	59	74	480
80KPH	65	80	540
90KPH	73	88	605
100KPH	79	94	670
110KPH	85	100	730

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004

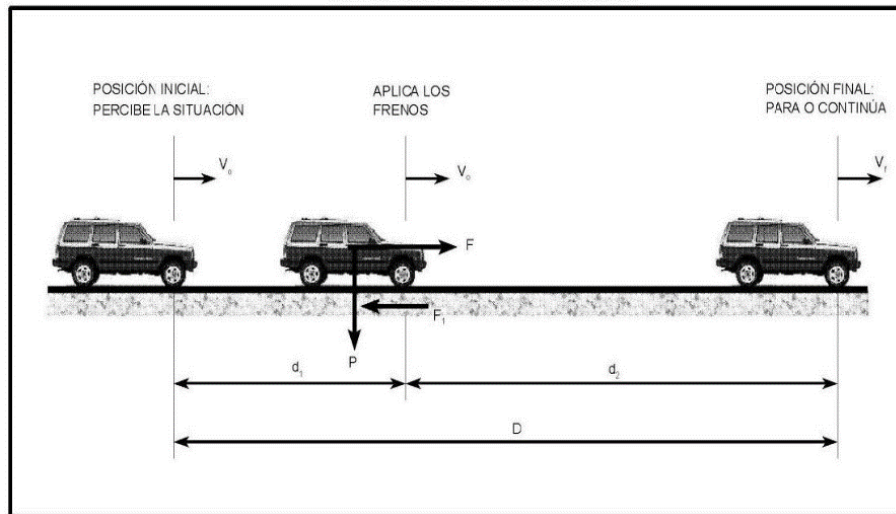
6.3. Distancias de visibilidad en carreteras.

6.3.1. Distancia de visibilidad.

Es la longitud máxima de la carretera que puede un conductor ver continuamente delante de él cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables. Las tres consideraciones más importantes en la distancia de visibilidad para el diseño de vías son:

1. Distancia de visibilidad de parada.
2. Distancia de visibilidad de rebase
3. Distancia de visibilidad en intersecciones.

Imagen 9. Distancia de visibilidad de parada.



Fuente: Componentes del Diseño Geométrico Manual SIECA, Cap. 4

6.3.2. Distancia de visibilidad de parada.

Es la distancia mínima que debe proporcionarse en cualquier punto de la carretera. Esta debe ser provista continuamente en toda la vía. Los camiones usualmente requieren distancias de visibilidad de parada más largas para una velocidad dada que los vehículos de pasajeros, pero debido a la mayor altura del ojo y bajas velocidades de los camiones, la misma distancia es aplicable.

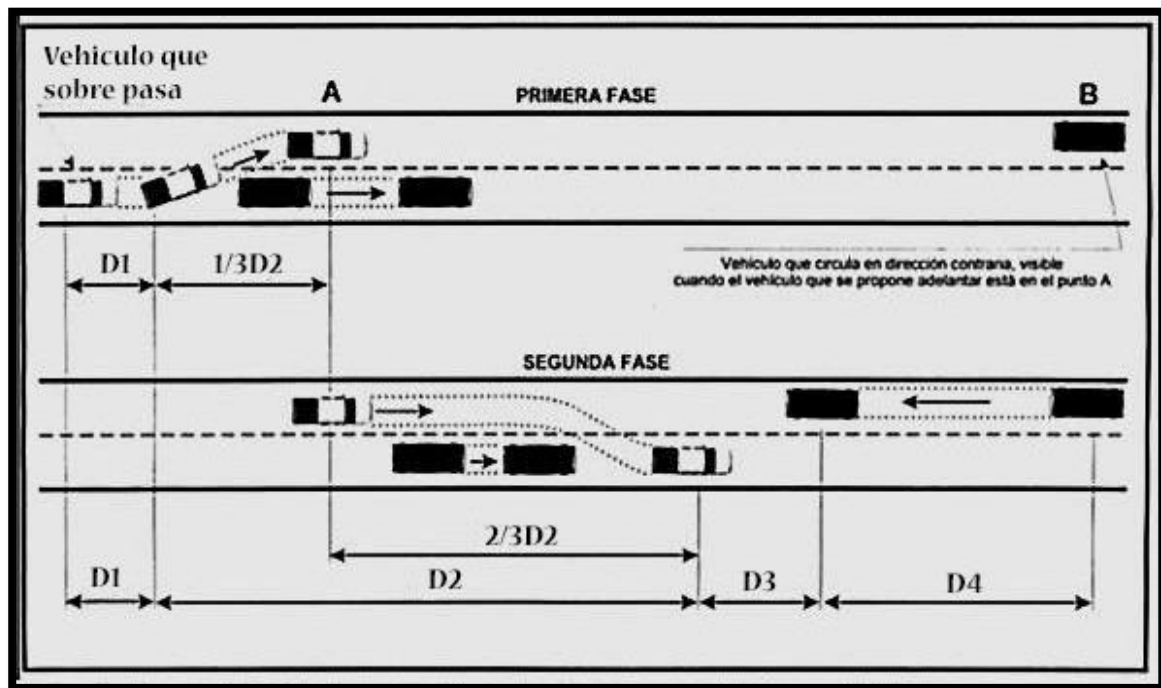
6.3.2. Distancia de visibilidad de adelantamiento.

La distancia de visibilidad de adelantamiento se define como la mínima distancia de visibilidad requerida por el conductor de un vehículo para adelantar a otro vehículo que, a menor velocidad relativa, circula en su mismo carril y dirección, en condiciones cómodas y seguras, invadiendo para ello el carril contrario, pero sin afectar la velocidad del otro vehículo que se le acerca, el cual es visto por el conductor inmediatamente después de iniciar la maniobra de adelantamiento. El conductor puede retornar a su carril si percibe, por la proximidad del vehículo opuesto, que no alcanza a realizar la maniobra completa de adelantamiento.

Se hacen los siguientes supuestos simplificados para los propósitos del dimensionamiento de dicha distancia de visibilidad de adelantamiento:

- El vehículo que es rebasado viaja a una velocidad uniforme.
 - El vehículo que rebasa viaja a esta velocidad uniforme, mientras espera una oportunidad para rebasar.
 - Se toma en cuenta el tiempo de percepción y reacción del conductor que realiza las maniobras de adelantamiento.
 - Cuando el conductor está rebasando, acelera hasta alcanzar un promedio de velocidad de 15 kilómetros por hora más rápido que el otro vehículo que está siendo rebasado.
 - Debe existir una distancia de seguridad entre el vehículo que se aproxima en sentido contrario y el que efectúa la maniobra de adelantamiento.
 - El vehículo que viaja en sentido contrario y el que efectúa la maniobra de rebase van a la misma velocidad promedio.
 - Solamente un vehículo es rebasado en cada maniobra.
 - La velocidad del vehículo que es rebasado es la velocidad de marcha promedio a la capacidad de diseño de la vía.
-
- Esta distancia de visibilidad para adelantamiento se diseña para carreteras de dos carriles de circulación, ya que esta situación no se presenta en carreteras divididas y no divididas de carriles múltiples. La distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase es la sumatoria de las cuatro distancias separadas que se muestran en la **imagen 10 Pág. 69**. Cada una se determina de acuerdo con las siguientes descripciones.

Imagen 10. Distancia de adelantamiento para carreteras de dos carriles



Fuente: Componentes del Diseño Geométrico Manual SIECA, C a p . 4

6.3.3. Distancia de visibilidad en curvas horizontales.

Para uso general en el diseño de una curva horizontal la línea de visibilidad es una cuerda de la curva y la distancia de visibilidad de parada aplicable es medida a lo largo de la línea central de la curva del carril interno.

Se aplica cuando la longitud de las curvas circulares es mayor que la distancia de visibilidad de parada para la velocidad de diseño en consideración; en este caso la distancia de visibilidad es mayor que las longitudes de curvas horizontales.

6.3.3. Criterios para medir la distancia visual.

Altura del ojo del conductor

Experiencias y estudios realizados han confirmado la altura promedio del ojo del conductor ha sido reducida de 1,140 a 1,070 milímetros, cambio que ha tenido como efecto el alargamiento de la distancia mínima de visibilidad en aproximadamente un 5 por ciento en una curva vertical en cresta.

Para camiones grandes, la altura del ojo del conductor está situada entre 1.8 y 2.4 metros, con esta última dimensión como la más frecuente y utilizable en el diseño.

Tabla 39. Distancia de visibilidad adelantamiento según AASHTO

Vel de proyecto KPH	Vel de marcha KPH	Reacción.		Coef. de Fricción Longitudinal* fl.	Dist.de Frenado (m)	Distancia de visibilidad (m)	
		t (seg)	d (m)			Calculado	Red.
30	28	2.5	19.44	0.400	7.72	27.16	25
40	37	2.5	25.69	0.380	14.18	39.87	40
50	47	2.5	31.94	0.360	23.14	55.08	55
60	55	2.5	38.19	0.340	35.03	73.22	75
70	63	2.5	43.75	0.325	48.08	91.83	90
80	71	2.5	49.30	0.310	64.02	113.32	115
90	79	2.5	54.86	0.305	80.56	135.42	135
100	86	2.5	59.72	0.300	97.06	156.78	155
110	92	2.5	63.88	0.295	112.95	176.83	175

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pág. 131

6.4. Justificación de los Parámetros de diseño

El primer paso, en la realización de los estudios de carreteras es establecer una clasificación, que permita reunir grupos de carreteras de características similares.

La clasificación funcional de las vías agrupa a las carreteras según la naturaleza del servicio que están supuestas a brindar y tiene estrecha relación con la estructura y categorización de los viajes.

De acuerdo con la clasificación de las carreteras regionales del Manual Centroamericano de Normas (SIECA), y basados en el TPDA el tramo de carretera en estudio se denomina Colectora rural o **Colectora Secundaria**.

6.4.1. Velocidad de diseño

En la selección de una adecuada velocidad de diseño para una carretera en particular, debe de darse especial consideración a los siguientes aspectos:

Tipo de área

- Rural
- Urbana

Condiciones del terreno

- Plano
- Ondulado
- Montañoso

Las normas SIECA establecen para este tipo de caminos una velocidad de diseño de 60. K.P.H. Dado que la configuración topográfica de la vía la ubica en una zona de terreno llano con pendientes menores 5 %, **ver Tabla No. 40**. En el cruce por las zonas pobladas la velocidad de diseño a implementar es de 30 k.p.h.

Normas de Proyecto para implementar según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA, 2da Edición 2004) en su defecto la Guía de Diseño Geométrico AASHTO (A Policy On Geometric Design of Highway and Streets, Quinta Edición 2004)

Tabla 40. Normas para el diseño geométrico

Clasificación	Colectora Secundaria	
Derecho de vía	20 metros	
Ancho de corona	7.70 metros	
Ancho de rodamiento	6.30 metros	
Ancho de Cuneta	1.5 metros	
Carga de Diseño Puentes	HS20 – 44 + 25%	
Vehículo de Diseño	C2 (SU)	
Distancia entre Ejes	6.10 metros	
Pendiente máxima	Terreno plano	5% a 7% en 350 metros
	Terreno ondulado	8% hasta 10% en 200 metros
Pendiente mínima	0.50% en corte 0% en relleno	
Velocidad de Diseño	Terreno plano	60 Kms/Hora
	Terreno ondulado	50 Kms/Hora
Distancia de Visibilidad de parada	V = 60 Km/h	85 metros
	V = 50 Km/h	65 metros
Distancia de rebase	V = 60 Km/h	410 metros
	V = 50 Km/h	345 metros
Radios mínimos	V = 60 Km/h	118 metros
	V = 50 Km/h	76 metros
Taludes en terraplén	Menor de 1.20 metros	3:1
	Mayor de 1.20 pero menor de 2 metros	2:1
	Mayor de 2 metros	1.5:1
Taludes en corte	En roca sana	De 0 a 0.5:1
	En tierra compacta	1:1
	En tierra menos compacta	De 1.25: 1 a 2:1
Sobre anchos en curvas	Variable	
Peralte máximo	Para V = 60 y 50 Km/h	8%
Longitud de transición	Variable	
Ancho de hombros	0.70 metros	
Bombeo	3%	
Superficie de rodamiento	Carpeta de Adoquín, Concreto Hidráulico, MAC	
Número (NC) y ancho de carriles	NC = 2, Ancho en tangente	3.15 metros
	NC = 2, Ancho en curvas	Variable
Enlaces	Radio Mínimo	15 metros
	Ancho de carril	7 metros
Tangentes mínimas entre curvas	En el mismo sentido	50 metros
	En sentido contrario	80 metros

6.5. Memoria de cálculo de las curvas horizontales.

✚ Cálculo radio mínimo del proyecto

Terreno tipo: Plano

Factores de fricción máxima según la velocidad de diseño

Velocidad de diseño= 60 kph

V (KPH)	50	65	80	110	115
f	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12

Peralte máximo e_{máx}= 8%

Fuente: A policy on Geometric Design of Highway and Street 2004

Factor de fricción máxima f=0.16

$$R_{min} = \frac{v^2}{127.14 * (e + f)}$$

$$R_{min} = \frac{(60kph)^2}{127.14 * (0.08 + 0.15)}$$

$$R_{min} = 118 \text{ m}$$

✚ Grado de curvatura del proyecto

$$Gc = \frac{1,145.92}{R_{min}}$$

$$Gc = \frac{1,145.92}{118 \text{ m}}$$

$$Gc = 9^{\circ}42'40''$$

6.3.1. Diseño de curvas horizontales

Tabla 41. Datos para calculo de la curva

Datos de la curva C-1	
Ángulo de deflexión Δ	4° 38' 1.81" izq
Coefficiente fricción lateral	f= 0.16
Peralte máximo	e= 8%
Grado de curvatura G°c	1
Velocidad de Diseño	V=60 kph
Estacionamiento EST. PI	0 + 406.46

Fuente: Sustentantes

1. Cálculo del radio de diseño de la curva circular

$$R = \frac{1,145.92}{G^{\circ}c}$$

$$R = \frac{1,145.92}{1^{\circ}}$$

$$R = 1,145.92m$$

$$R_{min} < R$$

$$118 < 1,145.92$$

Ok

2. Cálculo de la Sub tangente

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

$$ST = 1,145.92 * \tan\left(\frac{4^{\circ}38'1.81''}{2}\right)$$

$$ST = 46.364m$$

3. Calculo de longitud de la curva de diseño

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

$$Lc = \frac{3.1416 * 1,145.92 * 4^{\circ}38'1.81''}{180}$$

$$Lc = 92.677m$$

4. Calculo de los estacionamientos Tangencia donde comienza la Curva PC y Tangencia donde termina curva PT

$$Est.PC = Est.PI - ST$$

$$Est.PC = 0 + 406.46 - 46.364m$$

$$Est.PC = 0 + 360.096$$

$$Est.PT = Est.PC + Lc$$

$$Est.PT = 0 + 360.096 + 92.677m$$

$$Est.PT = 0 + 452.77$$

5. Calculo de la Cuerda Máxima

$$C_{max} = 2(R * \text{sen}\left(\frac{\Delta}{2}\right))$$

$$CM = 2(1,145.92 * \text{sen}\left(\frac{4^{\circ}38'1.81''}{2}\right))$$

$$C_{max} = 92.652m$$

6. Calculo de la Externa

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

$$Ec = 1,145.92 * \left(\frac{1}{\cos \frac{4^{\circ}38'1.81''}{2}} - 1 \right)$$

$$Ec = 0.938m$$

7. Calculo de la Ordenada Media

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

$$M = 1,145.92 * \left(1 - \cos \frac{4^{\circ}38'1.81''}{2} \right)$$

$$M = 0.937m$$

8. Calculo del sobre ancho

$$Sa = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + 0.10 \left(\frac{V}{\sqrt{R}} \right)$$

Donde:

n: número de carriles

L: distancia entre los ejes del vehículo de diseño C2= 6.10m

V: velocidad de diseño

R: radio de diseño de la curva

$$Sa = 2 \left(1,145.92 - \sqrt{1,145.92^2 - 6 \cdot 10^2} \right) + 0.10 \frac{60}{\sqrt{1,145.92}}$$

$$Sa = 0.30m$$

9. Calculo longitud mínima de la espiral

$$Lt_{min} = a * e * m$$

$$m = 1.5625V + 75$$

Donde:

m=1.5625V+75: Talud de la orilla de la calzada con respecto al eje del camino

a: semiancho de la calzada en tangente para camino de 2 carriles

e: peralte de la curva en estudio (m/m)

$$m = 1.5625(60kph) + 75$$

$$m = 168.75m$$

$$Lt_{min} = 3.3 * 0.03 * 168.75$$

$$Lt_{min} = 16.70m$$

Lt_{min}= 16.70m esta distancia debe ser aumentada en múltiplos de 20m; es decir

L_T= 40m

10. Calculo de la distancia N ó transición de bombeo

$$N = a * b * m$$

$$N = 3.30 * 0.03 * 168.75$$

$$N = 16.70m$$

$$N \approx 17.00m$$

11. Calculo de estacionamiento para el peralte

$$Est. N = Est. PC - \left(\frac{2}{3} Lt + N\right)$$

$$Est. N = (360.10) - \left(\left(\frac{2}{3} 40\right) + 17.00\right)$$

$$Est. N = 0 + 316.10$$

$$Est. ET = Est. PC - \left(\frac{2}{3} Lt\right)$$

$$Est. ET = (452.77) - \left(\left(\frac{2}{3} 40\right)\right)$$

$$Est. ET = 0 + 426.103$$

$$Est. N2 = Est. ET + N$$

$$Est. N2 = 426.103 + 17.00$$

$$Est. N2 = 0 + 443.103$$

$$Est. D = Est. PC + \left(\frac{1}{3}\right)(L_T)$$

$$Est. D = 360.10 + \left(\frac{1}{3}\right)(40)$$

$$Est. D = 0 + 373.433$$

$$Est. D' = Est. PT - \left(\frac{1}{3}\right)(L_T)$$

$$Est. D' = 452.77 - \left(\frac{1}{3}\right)(40)$$

$$Est. D' = 0 + 439.436$$

Comprobación

$$Est.D' - Est.D \geq \frac{L_c}{3}$$

$$439.436 - 373.433 \geq \frac{92.677}{3}$$

$$66.00 > 30.89$$

$$Est.N3 = Est.PT + \left(\left(\frac{L_c^2}{3} * Lt \right) - N \right)$$

$$Est.N3 = 452.77 + \left(\left(\frac{L_c^2}{3} * 40 \right) - 17.00 \right)$$

$$Est.N3 = 0 + 462.436$$

$$Est.TT = Est.N3 + N$$

$$Est.TT = 462.436 + 17.00$$

$$Est.TT = 0 + 479.436$$

$$Est.N4 = Est.TT + N$$

$$Est.N4 = 479.436 + 17.00$$

$$Est.N4 = 0 + 496.436$$

6.3.2. Replanteo de curvas circulares.

La localización de una curva se hace generalmente por ángulos de deflexión y cuerdas. Los ángulos de deflexión son los ángulos formados por la tangente y a cada una de las cuerdas que parten desde el PC a los diferentes puntos donde se colocaran estacas por donde pasara la curva.

El Angulo de deflexión total para la curva formada por la tangente y la cuerda principal será $\Delta/2$. De manera general este se calcula por la expresión:

Deflexión por metro=

$$\delta/m = \frac{(1.5 * G^{\circ}c * cuerda)}{60}$$

En dependencia de las condiciones insitu del terreno se pueden presentar los siguientes casos:

- Si el desarrollo de curva es menor que 200 m

Replanteo desde el PC (deflexión Izquierda (ΔI) o deflexión derecha (ΔD))

Replanteo desde el PT (deflexión Izquierda (ΔI) o deflexión derecha (ΔD))

- Si el desarrollo de curva es mayor que 200 m

Replanteo desde el PC al PM y del PT al PM (deflexión Izquierda (ΔI) o deflexión derecha (ΔD)).

El error de cierre permisible para el replanteo de la curva será:

Angular= $\pm 1'$

Lineal= 10 cm

Técnicamente no se puede replantear sobre la curva (arco de circunferencias) es por tal razón que en vez de medir segmentos de arcos se miden segmentos de cuerda; haciendo coincidir sensiblemente estos segmentos de cuerda con los de arco.

Tabla 42. Cuerda máxima o cortes de cadena para replanteo

G°c	Longitud de cuerda
0°00' - 6°00'	20.00m
6°00' - 15°00'	10.00m
15°00' - 32°00'	5.00m

Fuente: Sustentantes

Tabla 43. Tabla de replanteo para la curva C-1

Estacion		Cuerda	Deflexion	Deflexion Acumulada
		-	-	
PC	0+360.10			
	0+380.00	19.90	0°29'50"	0°29'50"
	0+400.00	20.00	0°30'0"	0°59'50"
PI	0+406.46	6.46	0°9'41"	1°9'32"
	0+420.00	13.54	0°20'18"	1°29'51"
	0+440.00	20.00	0°30'0"	1°59'51"
PT	0+452.78	12.78	0°19'10"	2°19'1"

Fuente: Sustentantes

Calculo del error de cierre angular:

$$\Delta = 4^{\circ}38'1.81''$$

$$\Delta/2 = 2^{\circ}19'0.91'' - \delta \text{ acumulada } (2^{\circ}19'1'')$$

$$\text{error} = 00^{\circ}00'0.09''$$

6.6. Diseño del alineamiento vertical.

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la sub-corona, al cual se le llama línea subrasante. El alineamiento vertical se compone de tangentes y curvas.

La posición de la subrasante depende principalmente de la topografía de la zona atravesada. (Fonseca Rodríguez, 2010).

Las curvas verticales en los cambios de rasante son generalmente arcos de parábola. Todas las distancias en las curvas se miden horizontalmente, es decir su largo se mide en el eje X y su elevación en el eje Y.

6.6.1. Generalidades.

Las curvas verticales que unen las rasantes tienen por objeto suavizar los cambios en el movimiento vertical contribuyendo a la seguridad, comodidad, confort y aspecto, de un modo tan importante como las curvas horizontales. Todas las distancias en las curvas verticales se miden horizontalmente, y todas las ordenadas desde las tangentes a la curva se miden verticalmente.

Tal y como se describe anteriormente (Jhon Agudelo Ospina, 2002) el alineamiento vertical de una vía compuesto por dos elementos principales: rasante y perfil. La rasante a su vez está compuesta por una serie de tramos rectos, llamados tangentes, enlazados entre sí por curvas. La longitud de todos los elementos del alineamiento vertical se considera sobre la proyección horizontal, es decir, en ningún momento se consideran distancias inclinadas.

Según la SIECA el alineamiento vertical de una carretera está ligada estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra.

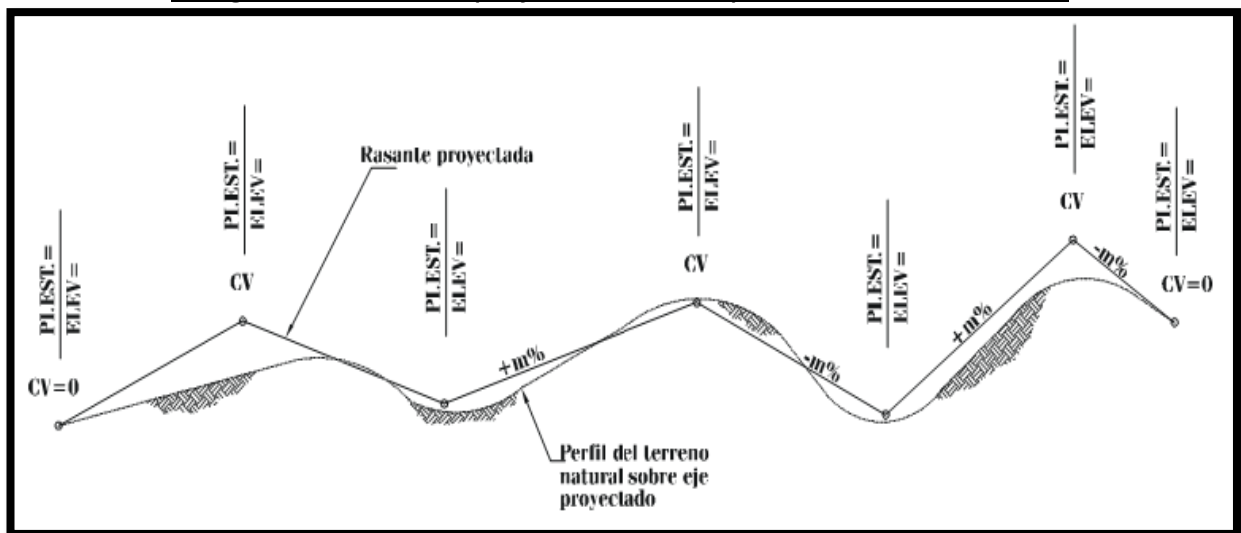
Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes con un signo positivo (+), y las bajadas con signo negativo (-), expresadas usualmente en porcentajes. Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los factores visibilidad y accidentalidad, composición del tránsito, así como la relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo.

6.6.2. Rasante y pendientes.

En los levantamientos longitudinales, principalmente de carreteras se llama rasante la pendiente regular de una línea, tanto si es ascendente, como si es descendente, se expresa generalmente en %.

La fijación de la rasante depende principalmente de la topografía de la zona atravesada por esta, pero deben considerarse también otros factores como características del alineamiento horizontal, seguridad, Visibilidad, rendimiento de los vehículos pesados con pendiente, velocidad del proyecto, costo de construcción y topografía del terreno.

Imagen 11. Rasante proyectada sobre perfil del terreno natural



En la figura anterior se presenta en esquema del resultado de la rasante proyectada sobre el perfil del terreno del eje del camino en su forma característica, conteniendo los elementos y datos típicos, tales como; datos de los PI verticales correspondientes a elevación y estación, curva vertical, así como la pendiente de los segmentos, expresando sus valores en % y el sentido, ascendente (+) y descendente (-).

La pendiente influye sobre el costo del transporte, porque al aumentar ella se incrementa el tiempo de recorrido del vehículo y esto genera un mayor consumo de combustible, aceite y otros. Por otro lado, disminuye la capacidad de la vía, esto cobra importancia cuando hay un alto porcentaje de camiones. Al tratar de disminuir las pendientes generalmente aumentan los volúmenes de excavación con un consecuente aumento en los costos.

Para hacer una elección óptima de la pendiente a utilizar, hay que hacer un balance entre costos de construcción y explotación

La pendiente de cada segmento se calcula de la siguiente manera: (m)

$$m = \frac{Elev. 2 - Elev. 1}{Est. 2 - Est. 1} * 100$$

Para facilidad de cálculo, se utiliza la pendiente en valores m/m, a manera de un factor de lo que sube (-) o baja (-) por metro, para posteriormente calcular a la distancia horizontal que se requiera.

6.6.3. Carriles de ascenso.

La justificación para la construcción de un carril de ascenso en una carretera de dos carriles debe basarse en los tres criterios siguientes:

- a) El tránsito ascendente debe ser mayor de 200 vehículos por hora: este se determina multiplicando el proyectado volumen de diseño por el factor de distribución direccional para el tránsito ascendente y dividiendo el resultado por el factor de hora pico.
- b) El tránsito ascendente de camiones debe ser mayor de 20 vehículos por hora: la cifra anterior se multiplica por el porcentaje de camiones en el sentido ascendente del tránsito.
- c) Debe además concurrir una de las siguientes causales: se espera que la velocidad de un camión pesado se reduzca por lo menos en 15 kilómetros por hora

6.6.4. Tipos de curvas verticales.

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida.

Se deberá de tratar el empleo de una pendiente uniforme durante el cambio de una pendiente a otra. Si a la diferencia algebraica de las pendientes es menor de 0.5 % no es necesario su empleo.

Existen básicamente dos tipos de curvas verticales: en cresta o convexas y en columpio o cóncavas (Las primeras son cóncavas hacia abajo y las segundas hacia arriba). Las primeras se diseñan de acuerdo con la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño.

Las curvas verticales además de dividirse en simétricas y asimétricas, teniendo en cuenta las longitudes, también se clasifican de acuerdo con las pendientes en cóncavas y convexas.

Curva vertical convexa. Presenta 3 casos:

Caso 1. $p > 0, q < 0$

Caso 2. $p < 0, q < 0, p > q$

Caso 3. $p > 0, q > 0, p > q$

La curva del Caso 1 resulta cuando las pendientes tienen diferente signo, presenta a lo largo de su trayectoria un punto de cota máxima.

Casos 2 y 3, el punto de cota máxima de la curva estaría ubicado al principio y al final de esta, respectivamente.

Curva vertical cóncava.

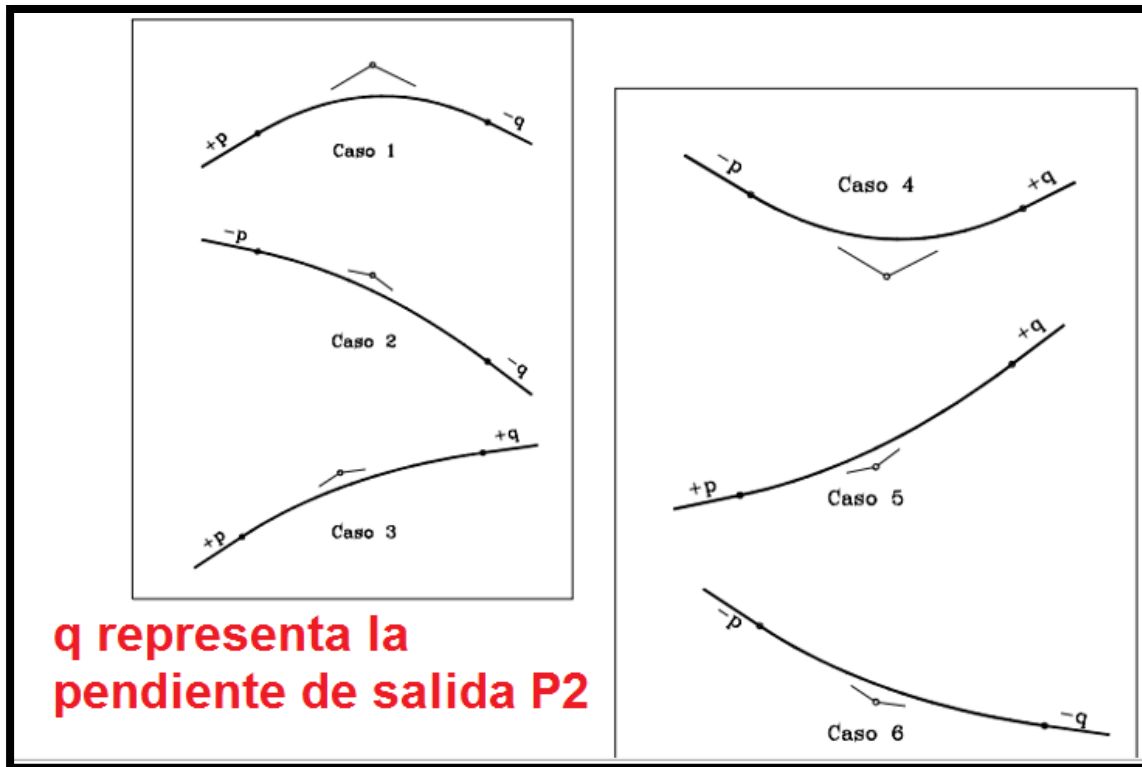
Al igual que la curva convexa también presenta tres casos diferentes:

Caso 4. $p < 0, q > 0$

Caso 5. $p > 0, q > 0, p < q$

Caso 6. $p < 0, q < 0, p < q$

Imagen 12. Casos de curvas verticales



Fuente: Diseño Geométrico de vías, Ospina 2002

Para este tipo de curva, existe en el Caso 4, un punto en la curva donde se presenta la cota mínima. Los otros dos casos, 5 y 6, presentan su cota mínima

sobre la curva al principio y al final de esta, respectivamente

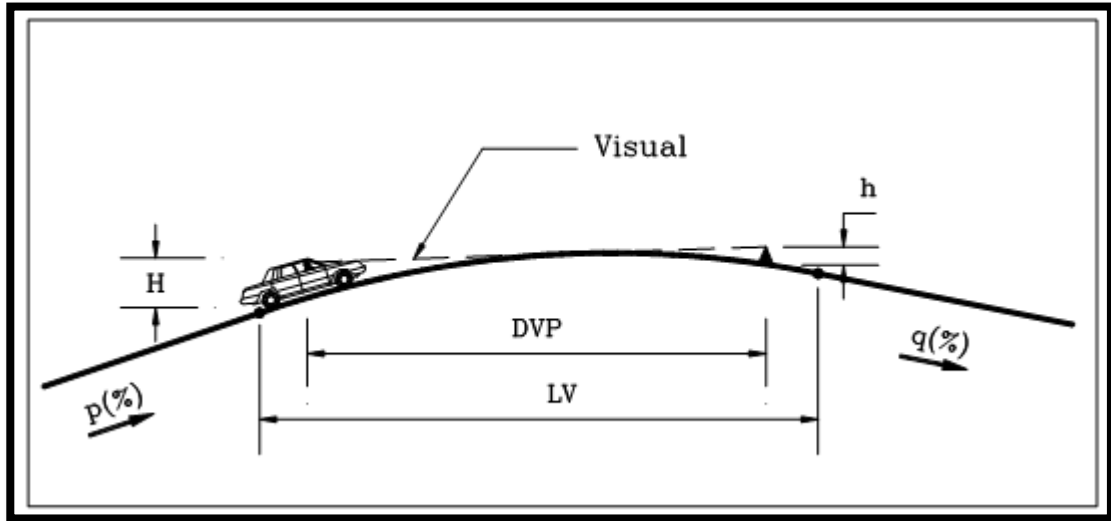
6.6.5. Tipos de curvas verticales.

La longitud de la curva vertical debe tener un valor tal que:

- Brinde una apropiada comodidad
- Permita la adecuada visibilidad de parada
- Suministre una buena apariencia a la vía.

6.6.6. Longitud de curva cuando esta es mayor que distancia de visibilidad.

Imagen 13. Casos de curvas verticales



Fuente: Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina 2002, pág. 386

$$DPV = S, LV = L$$

En el primer caso $L > S$

Se aplica la siguiente expresión para calcular la longitud mínima (L) de curva vertical:

$$L = \frac{G * S^2}{200 * (\sqrt{h1} + \sqrt{h2})^2}$$

Donde:

G: Diferencia algebraica de pendientes (%)

S: Distancia de visibilidad

h1: Altura del ojo del conductor

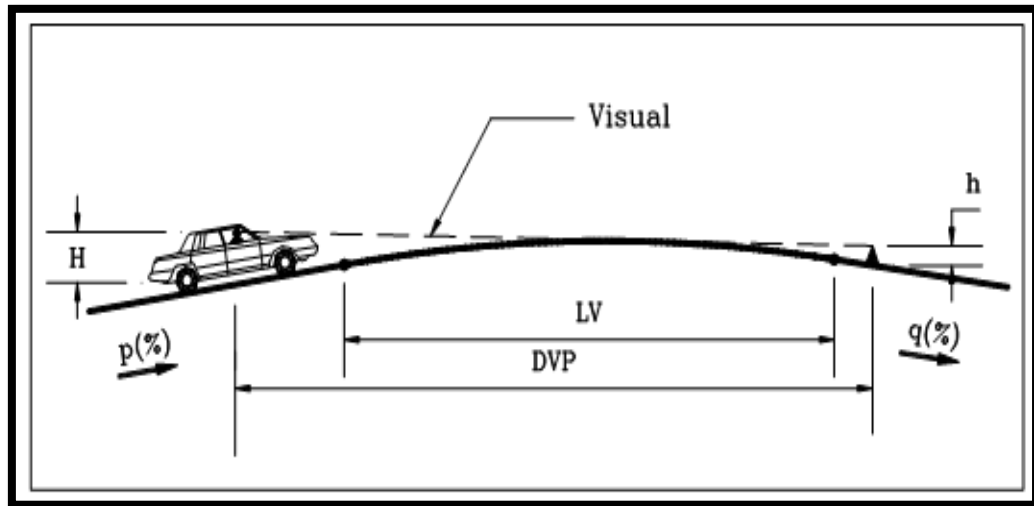
h2: Altura del objeto

Reemplazando en esta fórmula la altura del ojo del conductor $h_1 = 1.07$ metros y del objeto $h_2 = 0.15$ metros. La ecuación para diseño para la longitud mínima de la curva vertical es la siguiente:

$$L = \frac{G * S^2}{404}$$

6.6.7. Longitud de curva es menor que distancia de visibilidad.

Cuando $L < S$, la expresión matemática es la siguiente:



Fuente: Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina 2002, pág. 384. $DPV = S$, $LV = L$

$$L = \frac{2s - 404}{G}$$

Al comparar las dos ecuaciones obtenidas

$$L = 2 * S - \frac{404}{G}$$

$$S > L$$

$$L = \frac{G * S^2}{404}$$

$$S < L$$

Se puede observar en la expresión $L = 2 S - 404/G$, para valores pequeños de G y S la longitud es negativa mientras que, para la segunda, $L = GS^2/404$, siempre serán positivos y si además se realiza una tabla de valores de L para las diferentes velocidades y diferentes valores de A los resultados obtenidos con la segunda expresión siempre serán mayores. Con lo anterior se puede concluir que la expresión para $S < L$ es la que se debe emplear.

L puede ser relacionada con la diferencia algebraica de pendientes por medio de un factor denominado K , que en sí identifica la curva. La longitud de la curva vertical utilizando el factor K es:

$L = K.G$ en esta lógica de simplificación, si la fórmula de cálculo es $L = GS^2/404$ el valor de K sería $K = S^2/404$ y así sucesivamente para las demás ecuaciones.

De esta ecuación $G = L/K$

Las distancias de parada y adelantamiento se pueden obtener de las secciones 4-68 y 4-69 de la SIECA. Las distancias mínimas de visibilidad para adelantamiento están presentes en el cuadro 4.7, que en conjunto con los correspondientes a las de visibilidad de parada del cuadro 4.6, se han utilizado para preparar el cuadro 4.21, que presenta los valores de K para el cálculo de las longitudes de curvas verticales en cresta para diferentes velocidades de diseño.

Tabla 44. Valores de K para curvas verticales.

Velocidad de Diseño Km/h	Velocidad de marcha Km/h	Distancia de parada para diseño (m)	Tasa de curvatura vertical K , long (m) por % de G^*	Distancia mínima de adelantam. para Diseño (m)*
30	30-30	30-30	3-3	217
40	40-40	45-45	5-5	285
50	47-50	60-65	9-10	345
60	55-60	75-85	14-18	407
70	67-70	95-110	22-31	482
80	70-80	115-140	32-49	541
90	77-90	130-170	43-71	605
100	85-100	160-205	62-105	670
110	91-110	180-245	80-151	728

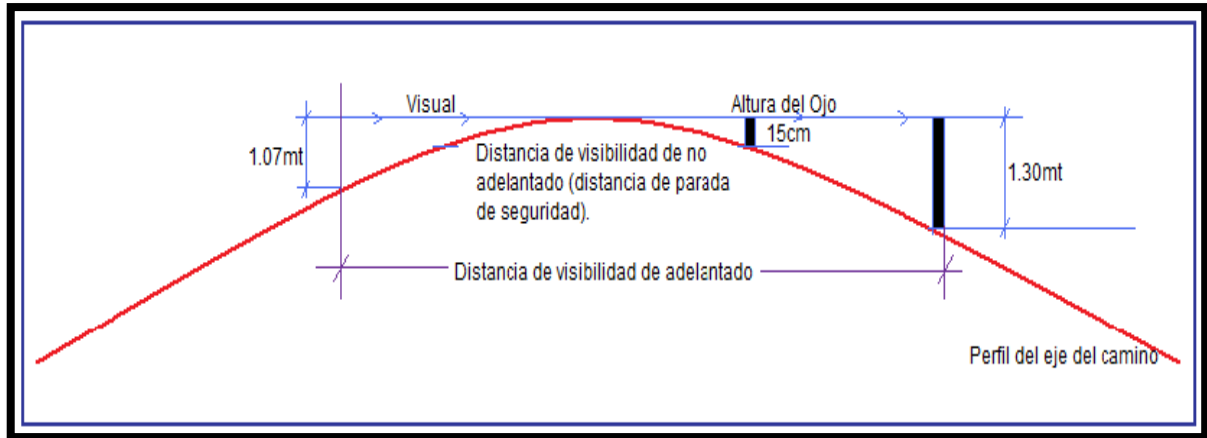
* Valores redondeados

Fuente: Manual SIECA 2004

6.6.8. Casos para el cálculo de distancias de adelantamiento.

De igual manera que el caso anterior, existen dos consideraciones a tomar en cuenta. La primera se presenta cuando la longitud de curva (L) es mayor que la distancia de visibilidad (S), entonces se utiliza la siguiente fórmula:

$L = GS^2 / 946$ diferenciados en que la altura de objeto es de 1.3 m en vez de 0.15m.



Según SIECA en su sección 4-66, Cuando se utiliza la distancia de visibilidad de adelantamiento como criterio de control para el diseño, las longitudes de las curvas verticales en cresta resultan mayores que las calculadas utilizando las expresiones arriba indicadas, lo que hace pensar que diseñar para estas longitudes, conduce a una considerable elevación de los costos de construcción; además, que para recomendar estas distancias, debe haber una combinación favorable entre topografía del terreno, seguridad y volúmenes de tránsito, que dé como resultado su plena justificación.

6.6.9. Criterios para determinar longitud de curva vertical en columpio.

(Jhon Agudelo Ospina, 2002) indica que el análisis para la curva vertical cóncava o en columpio se realiza teniendo en cuenta la visibilidad nocturna donde la iluminación producida por las luces delanteras del vehículo juega un papel importante.

La visibilidad diurna no representa ningún problema ya que todo conductor ubicado dentro de una curva vertical cóncava siempre tendrá la visibilidad necesaria para su seguridad a menos que dentro de la curva vertical este ubicada una curva horizontal. En vías urbanas donde existe iluminación artificial la longitud mínima de la curva vertical se rige más bien por la comodidad en la marcha y la estética.

Según SIECA en su sección 4-69 para el diseño de Curvas en Columpios o Cóncavas se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas en columpios.

- El primero y a emplear en diseño, se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo o de seguridad. Este se aplica en curvas de cresta y columpio la longitud de la curva debe ser tal, que toda la curva de distancia de visibilidad (L) es la longitud mínima de la curva en m y la V velocidad de proyecto en km/h .
- 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.
- El último se basa en consideraciones estéticas.

6.7. Elementos de la curva vertical.

Los factores que afectan la longitud de una curva vertical son, (a) efecto centrífugo (b) visibilidad. Se ha tomado la parábola para servir de acuerdo entre las tangentes del alineamiento vertical de las carreteras porque son fáciles de calcular y replantear y proporcionan una longitud de visibilidad constante en toda su longitud y comodidad en las conducciones de los vehículos cuya ecuación general es:

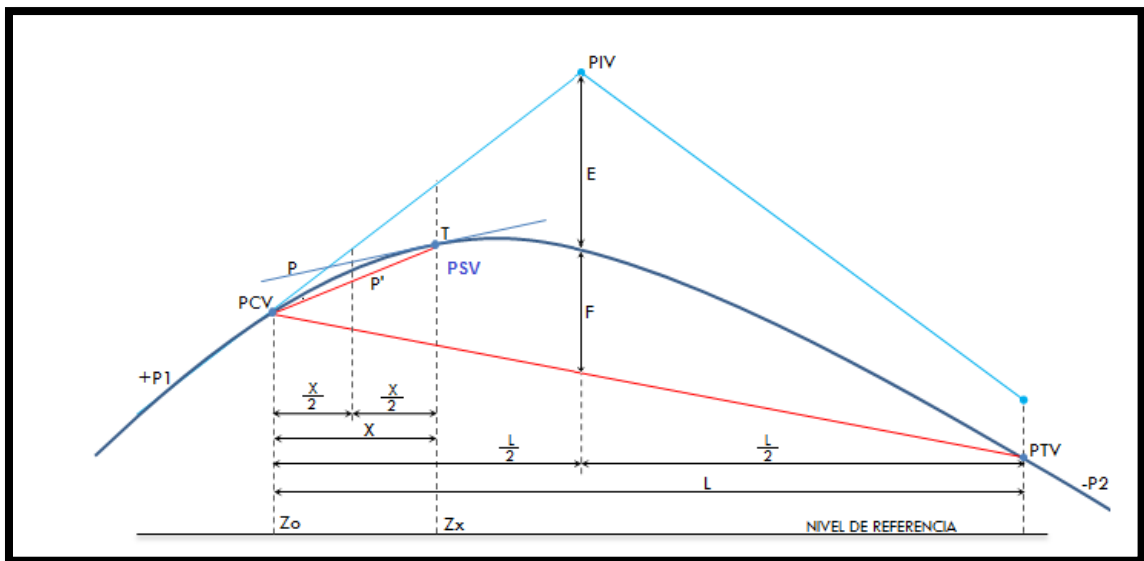
La ecuación de una parábola es

$$y = K * x^2$$

La ecuación es la que se definió como general para el cálculo de las elevaciones sobre la parábola. $Z_x = Z_o + P_1X - \frac{GX^2}{2L}$

La Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México (SCT), en su publicación página 28, describe que los elementos de la curva vertical son los siguientes:

Imagen 14. Elementos de una curva vertical



Fuente: Secretaria de Comunicación y Transporte de México (SCT)

PIV: Punto de Intersección vertical de las tangentes verticales.

PCV: Punto de comienzo de la curva vertical.

PTV: Punto de terminación de la curva vertical.

P1: Pendientes de la tangente de entrada expresada en m/m o porcentaje.

P2: Pendientes de la tangente de salida expresada en m/m porcentaje.

L: Longitud total de la curva vertical en m.

G: diferencia algebraica de pendientes expresadas en porcentaje. $A = P_1 - (-P_2)$ ó

A = P₂ - P₁ **K:** variación de longitud por unidad de pendiente (parámetro). $K = L/G$

X: distancia del PCV aun PSV en m.

P: pendiente en un PSV, en m/m. $P = P_1 - (G*(X/L))$ **P':** Pendiente de una cuerda, en m/m. $P' = \frac{1}{2} (P_1 + P)$ **E:** Externa en m. $E = (GL)/8$

F: Flecha en m. $F = E$

T: desviación de un PSV a la tangente de entrada, en m. $T = 4E(X/L)^2$

Z_o: Elevación del PCV, en m.

Z_x: Elevación de un PSV, en m. $Z_x = Z_o + P_1 X - GX^2/(200L)$ $Z_x = Z_o + (P_1 - (GX^2/200L) X)$

Si la ecuación de Z_o y Z_x, se escribiera como función de ejes ordenados la ecuación para encontrar las elevaciones sobre la curva, se expresaría que:

$$Y = Y_o \pm P X \pm GX^2/(200 L)$$

Donde Y_o es la elevación inicial, P es la pendiente, X es la distancia entre tramos, G es la diferencia algebraica de pendientes expresadas en porcentaje y L es la longitud de la curva vertical.

Note que para calcular un punto cualquiera sobre la curva conociendo P₂, P₁, L y PCV. Se puede utilizar la siguiente expresión:

$$y = \frac{P_2 - P_1}{2L} * x^2 \quad x = \frac{P_1 * L}{P_2 - P_1}$$

y: Toma signo positivo cuando la curva está en columpio y si está en cresta se resta. La importancia de “y” radica en que en ocasiones se necesita identificar el punto más bajo o alto sobre la curva.

x: Distancia horizontal medida a partir del PCV.

La elevación de un punto sobre la tangente de la curva será:

$$\text{Elev S/T} = \text{Elev Inicial} \pm (P L/100)$$

Las elevaciones sobre la curva, a partir del PCV serán:

$$\text{Elev S/C} = \text{Elev PCV} \pm (P_1 X/100) \pm G X^2/(200L)$$

En la ecuación anterior el valor de G es expresado en valor absoluto numérico es decir el valor numérico entero positivo. (Ej: si $P_1 = 3\%$ y $P_2 = -3\%$ $G = 6$; si $P_1 = -2.5\%$ y $P_2 = 2.4\%$ $G = 4.9$). P_1 es la pendiente de entrada expresa en porcentaje, L representa la longitud de la curva vertical. X representa la longitud acumulada parcialmente. (El término 100 y 200 son empleados a fin de ingresar en fórmula en % las pendientes y la G expresada tal y como se indicó previamente, Si usted lo desea podrá aplicar las fórmulas indicando pendiente y G en m/m).

$$\text{Desde el PTV la Elev S/C} = \text{Elev PTV} \pm (P_2 X/100) \pm G X^2/(200L)$$

En general las curvas son básicamente parábolas cóncavas hacia arriba o hacia abajo. En nuestra jerga les llamamos crestas hacia arriba o en columpio hacia abajo. Podrán simétricas o asimétricas. (Simétrica indica que la longitud de la curva está repartida en partes iguales).

Sintetizando lo anterior, deben de recordar que la longitud en las curvas verticales se mide en proyección horizontal, no sobre la curva como se hizo en las horizontales. Por lo cual los estacionamientos se estiman de la siguiente manera:

$$Est. PCV = Est. PIV - \frac{L}{2}$$

$$Est. PTV = Est. PIV + \frac{L}{2}$$

Para elaborar la tabla de replanteo (replanteo es la ubicación en campo de los datos diseñados), se puede hacer de tres maneras:

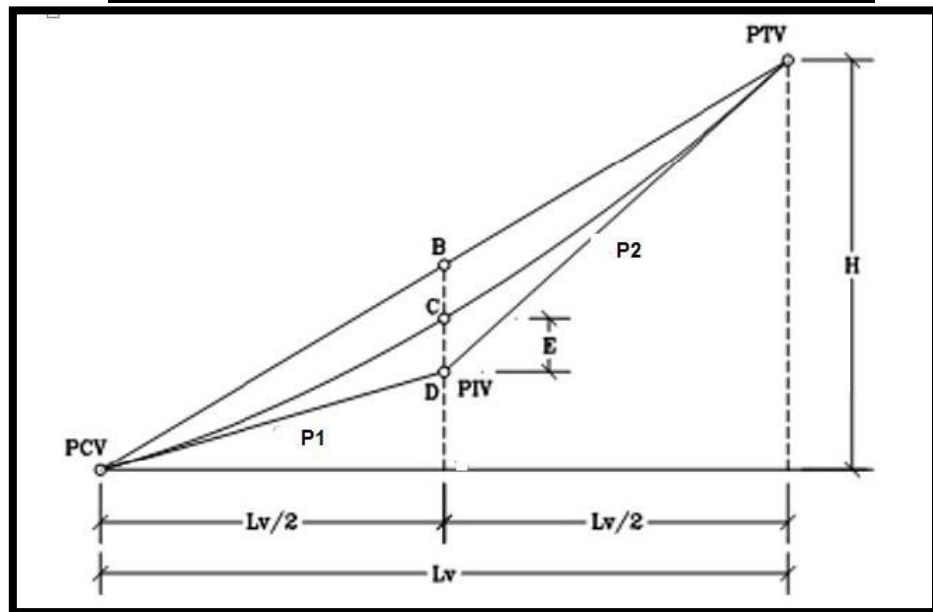
1. La primera desde el PCV hasta el PTV
2. La segunda desde el PCV hasta el PIV y luego del PTV al PIV.
3. La tercera desde el PTV al PCV.

De los anteriores el más lógico y común es el segundo dado que representa elevaciones sobre las tangentes reales. El primero y el tercer método descrito solamente hasta la mitad son elevaciones reales sobre la tangente y el resto son ficticias.

6.7.1. Curvas verticales simétricas.

La curva esta partida en dos. Se denomina curva vertical simétrica aquella donde la proyección horizontal de la distancia PCV – PIV es igual a la proyección horizontal de la distancia PIV – PTV.

Imagen 15. Elementos de una curva vertical simétrica



Fuente: Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina, pág. 406

$$\text{Est. PCV} = \text{Est PIV} - Lv/2$$

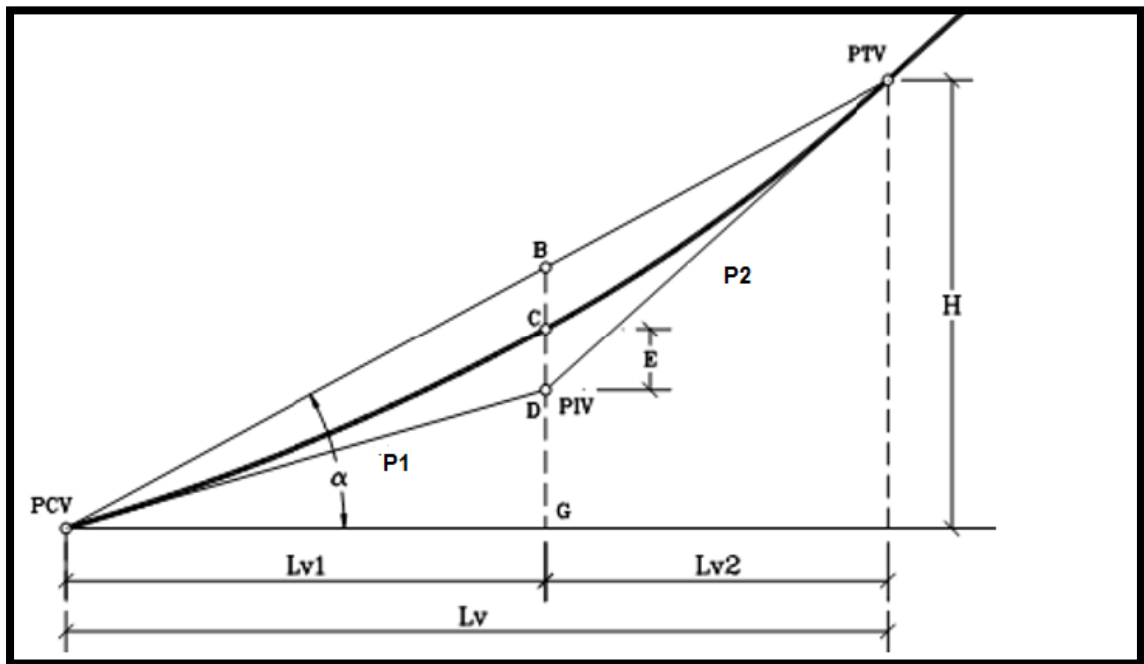
$$\text{Est. PTV} = \text{Est. PIV} + Lv/2 \quad \text{La externa } E = G(Lv)/8$$

$$\text{Elev. PCV} = \text{Elev. PIV} \pm P_1(L/2)/100 \quad \text{Elev. PTV} = \text{Elev. PIV} \pm P_2(L/2)/100$$

6.7.2. Curvas verticales asimétricas.

La curva vertical asimétrica es aquella donde las proyecciones de las dos tangentes de la curva son de diferente longitud. En otras palabras, es la curva vertical donde la proyección horizontal de la distancia PCV a PIV es diferente a la proyección horizontal de la distancia PIV a PTV.

Este tipo de curva es utilizado cuando alguna de las tangentes de la curva está restringida por algún motivo o requiere que la curva se ajuste a una superficie existente, que solo la curva asimétrica podría satisfacer esta necesidad. La longitud total de la curva será $L_1 + L_2$ y se trabaja cada longitud independiente.



Fuente: Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina, pág. 410.

Cuando se emplean curvas asimétricas se recomienda, principalmente por estética, que se cumpla la relación $L_{mayor} / L_{menor} < 1.5$ (OSPINA, 2002)

$E = (Lv_1 * Lv_2 * G) / 2 Lv$, donde G es la diferencia algebraica de pendientes en porcentajes.

6.8. Criterios para el diseño del alineamiento vertical.

Para el alineamiento vertical es importante aclarar que la subrasante es la línea que hay que tomar como referencia. La posición de esta va a depender de diversos factores como:

1. La condición topográfica del terreno influye en diversas formas al definir la subrasante. En terrenos planos la altura de la subrasante será regulada generalmente por el drenaje. En lomerío se adoptan subrasantes onduladas, mientras que, en terrenos montañosos, estará regida por la topografía.

2. Se debe buscar una subrasante suave con cambios graduales. Los valores de diseño son la pendiente máxima y la longitud crítica.
3. Deben evitarse vados formados por curvas verticales muy cortas pues no representa un perfil seguro. Así mismo no se debe colocar dos curvas verticales sucesivas y en la misma dirección.
4. Es preferible tener un perfil escalonado a una pendiente sostenida, ya que de esta manera se controla más la velocidad.
5. Cuando la magnitud del desnivel motiva largas pendientes uniformes, es conveniente adoptar un carril adicional en la sección transversal.
6. Se deben considerar carriles auxiliares de ascenso donde la longitud crítica de la pendiente está excedida y donde el volumen horario de proyecto excede del 20% de la capacidad de diseño para dicha pendiente en el caso de caminos de dos carriles, y del 30% en el de varios carriles.
7. Cuando se trata de salvar desniveles apreciables, deberá procurarse disponer las pendientes más fuertes al comenzar el ascenso.
8. Donde las intersecciones a nivel ocurren en tramos de camino con pendientes de moderadas a fuertes, es deseable reducir la pendiente a través de la intersección.

6.8.1. Criterios para el diseño vertical según AASHTO.

La AASHTO presenta algunos consejos valiosos en torno al diseño del alineamiento vertical, de donde cabe entresacar algunos por su relevancia para la práctica vial centroamericana:

- Las curvas verticales en columpio deben evitarse en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.
- En pendientes largas, puede ser preferible colocar las pendientes mayores al pie de la pendiente y aliviarlas hacia el final o, alternativamente, intercalar pendientes suaves por cortas distancias para facilitar el ascenso.
- En tangente, deberían generalmente evitarse, particularmente en curvas en columpio donde la visión de la carretera puede ser desagradable al usuario.
- Los alineamientos ondulados, que involucran longitudes sustanciales dependientes que generan momentum, pueden ser indeseables en el caso de vehículos pesados que pueden incrementar excesivamente su velocidad, sobre todo cuando una pendiente positiva adelante no contribuye a la moderación de dicha velocidad.
- Hay que evitar el “efecto de montaña rusa”, que ocurre en alineamientos relativamente rectos, donde el perfil longitudinal de la rasante se ajusta a las suaves irregularidades de un terreno ligeramente ondulado

6.9. Memoria de cálculo de las curvas verticales.

Tabla 45. Coeficientes de fricción longitudinal.

Velocidad de diseño Km/h	Coefficiente de fricción Long. f
30	0.40
40	0.38
50	0.35
60	0.33
70	0.31
80	0.30
90	0.30
100	0.29
110	0.28

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004

Tabla 46. Datos para diseño de curva vertical

Curva Vertical CV-1	
Pendiente entrada P_i %	0.803
Pendiente entrada P_s %	-2.419
Coefficiente fricción longitudinal	0.33
Velocidad de Diseño	60kph
Estacionamiento EST.PIV	0+482.39
Estacionamiento ELEV. PIV	482.873

Fuente: Sustentantes

1. Diferencia algebraica de las pendientes

$$G = (P_i - P_2)$$

$$G = (0.803) - (-2.419)$$

$$G = 3.222$$

Dado que la diferencia algebraica es positiva entonces la curva está en cresta

2. Cálculo de la distancia de visibilidad de parada

La distancia de visibilidad de parada en su primer componente, $d1$, se calcula involucrando la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, mediante la siguiente expresión matemática:

$$D1 = 0.278 * V * t$$

Donde: v = Velocidad inicial, kilómetros por hora.

t = Tiempo de percepción y reacción, que ya se indicó es de 2.5 seg.

$$D1 = 0.278 * 60 \text{ kph} * 2.5$$

La distancia de frenado, $D2$, se calcula por medio de la expresión que se muestra a continuación:

$$D2 = \frac{V^2}{254 * (f + G)}$$

v = velocidad inicial, 50 kilómetros por hora

f = coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y superficie de rodamiento ($f=0.33$)

G = diferencia algebraica de las pendientes

$$DVP = D1 + D2$$

$$DVP = (0.278 * 60 \text{ kph} * 2.5 \text{ seg}) + \frac{(60 \text{ kph})^2}{254 * (0.33 + 0.03222)}$$

$$DVP = 80.83 \text{ m}$$

3. Cálculo de la longitud mínima de la curva vertical

$$L = \frac{G * DVP^2}{404.25}$$

$$L = \frac{3.222 * 80.83^2}{404.25}$$

$$L = 52.07m$$

$$L = 52.07m$$

<

$$DVP = 80.83m$$

Se propone una longitud de curva de 40 m

4. Cálculo de los Estacionamientos

$$Est. PIV = 0 + 482.39$$

La curva que se diseñará es simétrica, por tanto:

$$EST. PCV = Est. PIV - \frac{L}{2}$$

$$EST. PTV = Est. PIV + \frac{L}{2}$$

$$EST. PCV = 0 + 482.39 - \frac{20}{2}$$

$$EST. PTV = 0 + 482.39 + \frac{20}{2}$$

$$EST. PCV = 0+059.21$$

$$EST. PTV = 0+079.21$$

5. Cálculo de las elevaciones

$$Elev. PIV = 482.873 \text{ msnm}$$

$$Elev. PCV = Elev. PIV - P1 * \frac{L}{2}$$

$$Elev. PCV = 482.873 - (0.00803) * \frac{20}{2}$$

$$Elev. PTV = Elev. PIV + P2 * \frac{L}{2}$$

$$Elev. PCV = 482.71$$

$$Elev. PTV = 482.873 + (-0.0242) * \frac{20}{2}$$

$$Elev. PTV = 482.39$$

6. Cálculo de las ordenadas

Los resultados serán iguales ya que la curva es simétrica

Externa:

$$E = \frac{(P2 - P1)}{2L} * Li * Ld$$

$$E = \frac{(-0.0242 - (0.00803))}{2(40)} * 20 * 20$$

$$E = 0.166m$$

CONCLUSIONES.

De acuerdo con los objetivos planteados se ha concluido que:

En el **Estudio de tráfico**, se realizó un aforo vehicular de 12 horas durante 7 días consecutivos (1 semana), del cual se obtuvo un TPDA de **402** vehículo/día. De los cuales se obtuvo una composición vehicular de **71.4%** de Vehículos Livianos y un **17.0%** de Vehículos Pesados, **10.9%** vehículos de pasajeros. Para la proyección del tráfico se utilizó una tasa de crecimiento del **4.92%**, obtenida mediante las correlaciones de las tasas de crecimiento históricas de la estación de mayor cobertura EMC 300.

A partir de un periodo de diseño de 15 años se obtuvo un factor de crecimiento de **21.45**, que al proyectarlos el número de repeticiones por eje equivalente o ESAL's fue de **679,867.00**

Para el **Estudio geotécnico** se determinó que los suelos predominantes en la línea son **A-2-6, A-2-7**, los cuales según la clasificación AASHTO son suelos de buenos a regulares para subrasante.

Se utilizará el banco de préstamos Banco (La Talavera) y se propone que la estructura de pavimento esté compuesta por una capa de rodadura de adoquín y una capa base granular.

En el **Diseño de pavimento**, a partir de un ESAL'S de **679,867.00** para un periodo de diseño de **15 años**, con un CBR de diseño de **11.8%**, los espesores resultantes son de **4.00 pulgadas** para la carpeta de rodamiento (adoquín), **2 pulgadas de colchón de arena** y **6 pulgadas** para la base granular. Obteniendo un total de **12 pulgadas de estructura de pavimento articulado**.

La estructura de pavimento cumplirá a los esfuerzos que será sometido, dado que estos valores cumplen con la normativa de Diseño de pavimentos de la AASHTO 93 en cuanto a espesores mínimos requeridos, todo esto indica que será una

estructura de pavimento que satisfaga y soporte la demanda vehicular a proyectarse en este caso a 15 años.

En el **Estudio de topográfico**: Según los datos de puntos suministrados, correspondientes a las coordenadas y la elevación de los mismos, al momento de procesarlo, los resultados topográfico-obtenidos del tramo es un terreno plano ya que las pendientes resultantes máximas obtenidas son menores a 5%.

En el **Diseño Geométrico Vial** se tomaron en cuentas las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales que rigen para los alineamientos tanto horizontal como vertical propuestas por la SIECA y AASHTO, puesto que nos proporcionan parámetros mínimos y máximos para tomarlos como puntos de partida para tales diseños y cálculos. Dichos cálculos nos generaron de acuerdo con el eje propuesto 7 curvas horizontales con deflexión máxima (**13° 23' 14"**) y mínima (**1° 56' 21"**), no obstante, si los ángulos de deflexión de los alineamientos horizontales fuesen menor a 2°15' para una velocidad de diseño de 60 kph no es necesario diseñar la curva horizontal y para las curvas verticales si la diferencia algebraica de la pendiente de entrada (P1) y la de salida (P2) fuese menor a 0,5% no es necesario diseñar y calcular dicha curva.

RECOMENDACIONES.

1. Colocar los espesores de pavimentos indicados, los que se determinaron en función que hará uso de la vía y de acuerdo a los tipos de suelos encontrados a lo largo del camino investigado.
2. Se deberá llevar un estricto control de compactación de campo al momento de colocar el material del banco de préstamo.
3. Mantener la línea de la subrasante al nivel propuesto para que este tenga un nivel adecuado con respecto a los terrenos adyacentes, además, así se evitan los cambios en las pendientes, los cuales afecta directamente el diseño del drenaje longitudinal (cuneta).
4. Para colocar la estructura del pavimento deberá retirarse todo el material existente hasta la profundidad de 20cm indicada en los planes del perfil longitudinal y reponerlo con el material selecto recomendado, este se debe compactar al 95% de su densidad seca máxima, luego colocar el espesor indicado.
5. Se recomienda que la arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular, uniforme Su graduación será tal que pase por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. El espesor de esta capa, no deberá ser menor de 3 cm, ni mayor de 5 centímetros.
6. Verificar que la calidad de los materiales es la determinada en el diseño, que cumplan con las especificaciones de calidad y resistencia propuestas en las Normas Nic- 2000.

7. Darle mantenimiento periódico de manera preventiva a la carpeta de rodamiento para maximizar su vida útil, que también evita los altos costos del mantenimiento correctivo y/o rehabilitación.
8. Se recomienda colocar las señales de tránsito necesarias para dicho camino además de alguna otra que indique la especialidad de tránsito con el fin de eliminar al máximo cualquier riesgo de accidente.

BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

Hernandez, M. I. (2011). Ingenieria de Trafico. Esteli: Universidad Nacional de Ingeniria (UNI-RUACS).

Navarro, H. Sergio. (2014). Diseño Geométrico y Cálculo de Viales. Estelí, Nicaragua.

Agudelo Ospina Jhon Jairo. (Colombia 2002). Diseño de Vías, (septiembre de 2014).

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2008). Manual para Revisión de Diseños Geometricos.

MTI. (2008). Manual para la Revisión de Estudios Geotecnicos.

MTI. (2017). Anuario de Aforos de Tráfico . Managua.

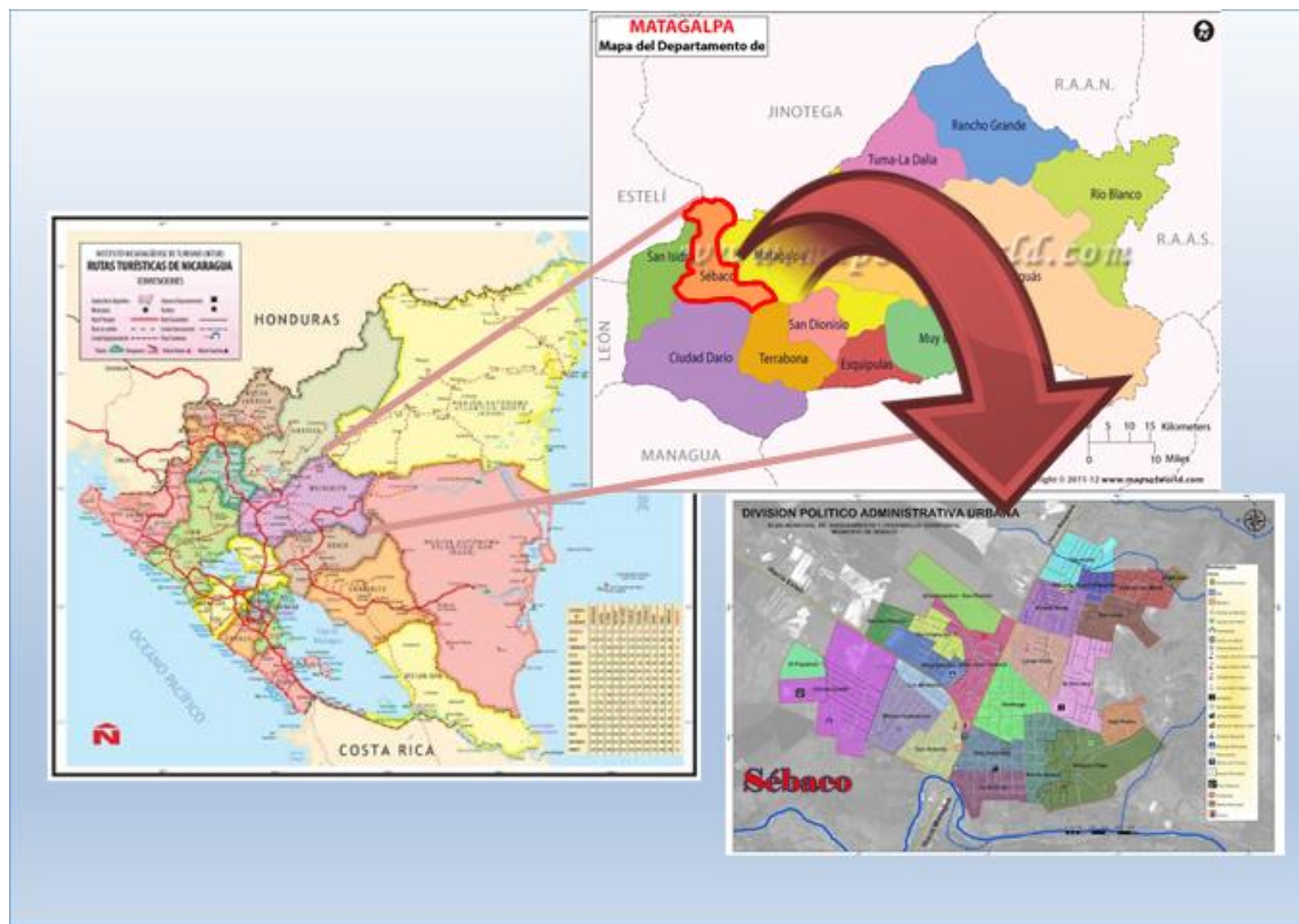
MTI. Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes NIC. (2000).

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

Villalaz, C. (1976-1980). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Monterrey - México: Limusa Noriega Editores

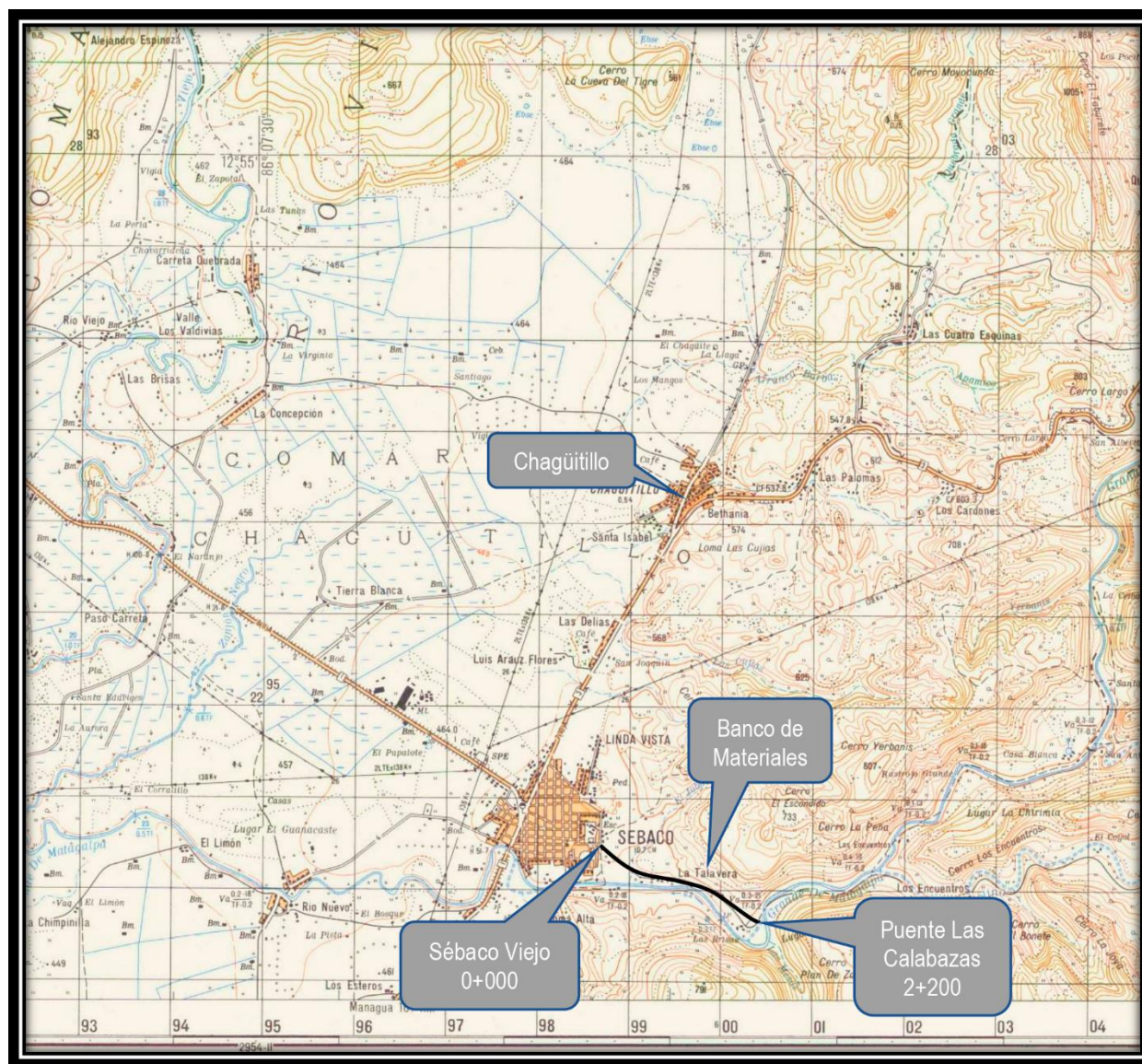
ANEXOS

Imagen 16. Macro localización.



Fuente: Google Maps.

Imagen 17. Micro localización.



Fuente: Sustentantes, mapa de INETER

Tabla 47. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día

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

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Conteo de Tráfico Vehicular por Día

PROYECTO DE ADOQUINADO : Sebaco - Molino Sur																			
FECHA DE CONTEO: LUNES 03 DE DICIEMBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: SEBACO 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	15	4	0	6	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	31	
07:00	08:00	6	3	1	4	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	17	
08:00	09:00	4	4	1	3	0	0	0	4	2	1	0	0	0	0	0	0	19	
09:00	10:00	8	5	0	5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	23	
10:00	11:00	9	2	1	6	0	1	2	5	1	1	0	0	0	0	0	0	28	
11:00	12:00	12	2	1	3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	23	
12:00	13:00	8	4	4	6	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	25	
13:00	14:00	4	3	3	5	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	19	
14:00	15:00	7	1	1	1	0	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	16	
15:00	16:00	9	2	2	2	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	21	
16:00	17:00	4	2	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	11	
17:00	18:00	2	2	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	8	
TOTAL		88	34	15	43	3	8	8	22	16	4	0	0	0	0	0	0	241	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: MARTES 04 DE DICIEMBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: SEBACO. 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	15	6	5	12	2	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	46
07:00	08:00	8	2	2	3	1	1	0	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	24
08:00	09:00	5	1	4	4	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	18
09:00	10:00	6	5	2	16	2	2	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	37
10:00	11:00	3	1	3	12	1	1	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	26
11:00	12:00	4	2	5	7	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24
12:00	13:00	8	4	2	8	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	27
13:00	14:00	6	2	3	6	1	1	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	24
14:00	15:00	5	4	2	4	1	1	2	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	26
15:00	16:00	16	2	3	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
16:00	17:00	7	1	2	5	1	0	0	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	22
17:00	18:00	11	3	1	3	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21
TOTAL		94	33	34	83	15	11	8	15	22	7	0	0	0	0	0	0	0	322

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: MIERCOLES 05 DICIEMBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: SEBACO 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	8	7	2	8	2	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	36	
07:00	08:00	5	4	13	5	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	33	
08:00	09:00	12	2	4	2	1	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	26	
09:00	10:00	5	3	0	8	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	22	
10:00	11:00	7	2	3	4	1	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	22	
11:00	12:00	5	4	0	4	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	20	
12:00	13:00	9	8	4	7	2	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	33	
13:00	14:00	7	2	0	6	1	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	21	
14:00	15:00	12	1	1	8	1	1	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	30	
15:00	16:00	5	1	6	7	1	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	25	
16:00	17:00	8	2	2	7	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	25	
17:00	18:00	5	1	3	3	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	17	
TOTAL		88	37	38	69	14	12	11	16	17	8	0	0	0	0	0	0	310	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: JUEVES 05 DICIEMBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: SEBACO. 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	15	3	3	12	0	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	42
07:00	08:00	4	2	2	7	1	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	22
08:00	09:00	4	1	1	5	0	1	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	17
09:00	10:00	7	2	2	6	2	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	25
10:00	11:00	5	1	4	4	1	0	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	22
11:00	12:00	7	2	2	4	2	0	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	24
12:00	13:00	8	2	1	6	2	2	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	26
13:00	14:00	8	3	1	5	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21
14:00	15:00	10	5	1	7	0	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	32
15:00	16:00	7	2	2	12	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	28
16:00	17:00	5	1	1	8	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	20
17:00	18:00	5	0	1	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11
TOTAL		85	24	21	78	10	11	11	23	20	7	0	0	0	0	0	0	0	290

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: VIERNES 07 DE DICIEMBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: COMUNIDAD LA FUNDADORA. 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	15	3	3	12	0	2	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	42
07:00	08:00	4	2	2	7	1	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	22
08:00	09:00	4	1	1	5	0	1	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	17
09:00	10:00	7	2	2	6	2	1	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	25
10:00	11:00	5	1	4	4	1	0	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	22
11:00	12:00	7	2	2	4	2	0	1	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	24
12:00	13:00	8	2	1	6	2	2	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	26
13:00	14:00	8	3	1	5	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21
14:00	15:00	10	5	1	7	0	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	32
15:00	16:00	7	2	2	12	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	28
16:00	17:00	5	1	1	8	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	20
17:00	18:00	5	0	1	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	11
TOTAL		85	24	21	78	10	11	11	23	20	7	0	0	0	0	0	0	0	290

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Formato para conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: SABADO 08 DE DICIEMBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: SEBACO. 0+000																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	13	2	3	13	0	2	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	39
07:00	08:00	7	4	2	7	2	0	1	6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	31
08:00	09:00	15	1	1	4	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	25
09:00	10:00	5	1	5	7	1	0	1	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	27
10:00	11:00	4	2	1	8	2	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21
11:00	12:00	3	3	2	6	1	0	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	21
12:00	13:00	6	3	2	8	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	23
13:00	14:00	3	1	4	7	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18
14:00	15:00	5	4	2	12	2	0	2	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	35
15:00	16:00	7	2	2	7	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24
16:00	17:00	9	2	1	1	1	0	1	3	5	2	0	0	0	0	0	0	0	25
17:00	18:00	7	1	0	0	2	3	0	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	26
TOTAL		84	26	25	80	12	12	11	24	35	6	0	0	0	0	0	0	0	315

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.

FECHA DE CONTEO: DOMINGO 09 DE DICIEMBRE 2018 SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS UBICACIÓN: SEBACO.																			
HORA		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	15	2	2	8	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	36	
07:00	08:00	6	2	8	5	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	27	
08:00	09:00	12	3	4	6	1	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	31	
09:00	10:00	7	5	0	8	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	24	
10:00	11:00	5	2	3	4	1	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	21	
11:00	12:00	7	3	2	4	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	21	
12:00	13:00	9	3	4	7	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	27	
13:00	14:00	7	3	0	6	0	2	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	22	
14:00	15:00	12	2	1	4	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	26	
15:00	16:00	5	2	6	7	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	24	
16:00	17:00	8	4	2	7	1	2	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	29	
17:00	18:00	5	1	3	5	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	19	
TOTAL		98	32	35	71	10	12	10	17	16	6	0	0	0	0	0	0	307	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Trafico.

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

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2016.Pag. 32.

Tabla 56. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo.

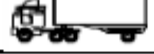
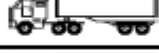
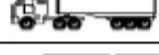
(Vehículos Liviano y Pasajeros)

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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

Tabla 57. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo.

(Vehículos Pesados)

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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura vial (MTI)

Tabla 58. Factores de ejes Kips a Interpolar

FACTORES DE EJES KIPS	
Ejes Sencillos	Ejes Dobles
2.2,4.4,8.8,11,17.6	36.3

$y_{2.2} = 0.0002 + \frac{2.2 - 2}{4 - 2} (0.002 - 0.0002)$	$y_{4.4} = 0.002 + \frac{4.4 - 4}{6 - 4} (0.009 - 0.0002)$
$y_{2.2} = 0.0002 + \frac{0.2}{2} (0.0018)$	$y_{4.4} = 0.002 + \frac{0.4}{2} (0.007)$
$y_{2.2} = 0.00038$	$y_{4.4} = 0.0034$

$y_{8.8} = 0.031 + \frac{8.8 - 8}{10 - 8} (0.079 - 0.031)$	$y_{11} = 0.079 + \frac{1}{2} (0.095)$
$y_{8.8} = 0.031 + \frac{0.8}{2} (0.048)$	$y_{11} = 0.079 + \frac{11 - 10}{12 - 10} (0.174 - 0.079)$
$y_{8.8} = 0.0502$	$y_{11} = 0.1265$

$y_{17.6} = 0.603 + \frac{17.6 - 16}{18 - 16} (1.00 - 0.603)$	$y_{36.3} = 1.38 + \frac{36.3 - 36}{38 - 36} (1.73 - 1.38)$
$y_{17.6} = 0.603 + \frac{1.6}{2} (0.397)$	$y_{36.3} = 1.38 + \frac{0.3}{2} (0.35)$
$y_{17.6} = 0.9206$	$y_{36.3} = 1.4325$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes simples.

Factores de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, pt = 2.0							
Cargas por eje		SN pulg (mm)					
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2.00	8.90	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
2.20	9.78					0.00038	
4.00	17.80	0.0020	0.0030	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
4.40	19.57					0.0034	
6.00	26.70	0.0090	0.0120	0.0110	0.1000	0.0090	0.0090
8.00	35.60	0.0300	0.0350	0.0360	0.0330	0.0310	0.0290
8.80	39.14					0.0502	
10.00	44.50	0.7500	0.0850	0.0900	0.0850	0.7900	0.0760
11.00	48.93					0.1265	
12.00	53.40	0.1650	0.1770	0.1890	0.1830	0.1740	0.1680
14.00	62.30	0.3250	0.3380	0.3540	0.3500	0.3380	0.3310
16.00	71.20	0.5890	0.5890	0.6130	0.6120	0.6030	0.5960
17.60	78.29					0.9206	
18.00	80.10	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
20.00	89.00	1.6100	1.5900	1.5600	1.5500	1.5700	1.5900
22.00	97.90	2.4900	2.4400	2.3500	2.3100	2.3500	2.4100
24.00	106.80	3.7100	3.6200	3.4300	3.3300	3.4000	3.5100
26.00	115.70	5.3600	5.2100	4.8800	4.6800	4.7700	4.9600
28.00	124.60	7.5400	7.3100	6.7800	6.4200	6.5200	6.8300
30.00	133.50	10.4000	10.0000	9.2000	8.6000	8.7000	9.2000
32.00	142.40	14.0000	13.5000	12.4000	11.5000	11.5000	12.1000
34.00	151.30	18.5000	17.9000	16.3000	15.0000	14.9000	15.6000
36.00	160.20	24.2000	23.3000	21.2000	19.3000	19.0000	19.9000
38.00	169.10	31.1000	29.9000	27.1000	24.6000	24.0000	25.1000
40.00	178.00	39.6000	38.0000	34.3000	30.9000	30.0000	31.2000
42.00	186.90	49.7000	47.7000	43.0000	38.6000	37.2000	38.5000
44.00	195.80	61.8000	59.3000	53.4000	47.6000	45.7000	47.1000
46.00	204.70	76.1000	73.0000	65.6000	58.3000	55.7000	57.0000
48.00	213.60	92.9000	89.1000	80.0000	70.9000	67.3000	68.6000
50.00	222.50	113.0000	108.0000	97.0000	86.0000	81.0000	82.0000

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Los números en color negro son valores interpolados, en función a SN=5.

Tabla 60. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem.

Factores de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, pt = 2.0							
Cargas por eje		SN		pulg	(mm)		
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2.00	8.90	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4.00	17.80	0.0003	0.0030	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6.00	26.70	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
8.00	35.60	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0020
10.00	44.50	0.0070	0.0060	0.0080	0.0070	0.0060	0.0060
12.00	53.40	0.0130	0.0160	0.0160	0.0140	0.0130	0.0120
14.00	62.30	0.0240	0.0290	0.0290	0.0260	0.0240	0.0230
16.00	71.20	0.0410	0.0480	0.0500	0.0460	0.0420	0.0400
18.00	80.10	0.0660	0.7700	0.0810	0.0750	0.0690	0.0660
20.00	89.00	0.1030	0.1170	0.1250	0.1170	0.1640	0.1580
22.00	97.90	0.1560	0.1710	0.1830	0.1740	0.1640	0.1580
24.00	106.80	0.2270	0.2440	0.2600	0.2520	0.2390	0.2310
26.00	115.70	0.3220	0.3400	0.3600	0.3530	0.3380	0.3290
28.00	124.60	0.0447	0.4650	0.4870	0.4810	0.4660	0.4550
30.00	133.50	0.6070	0.6230	0.6460	0.6430	0.6270	0.6170
32.00	142.40	0.8100	0.8230	0.8430	0.8420	0.8390	0.8190
34.00	151.30	1.0600	1.0700	1.0800	1.0800	1.0800	1.0700
36.00	160.20	1.3800	1.3800	1.3800	1.3800	1.3800	1.3800
36.30	161.47					1.4325	
38.00	169.10	1.7600	1.7500	1.7300	1.7200	1.7300	1.7400
40.00	178.00	2.2200	2.1900	2.1500	2.1300	2.1600	2.1800
42.00	186.90	2.7700	2.7300	2.6400	2.6200	2.6600	2.7000
44.00	195.80	3.4200	3.3600	3.2300	3.1800	3.2400	3.3100
46.00	204.70	4.2000	4.1100	3.9200	8.8300	3.9100	4.0200
48.00	213.60	5.1000	4.9800	4.7200	4.5800	4.6800	4.8300
50.00	222.50	6.1500	5.9900	5.6400	5.4400	5.5600	5.7700
52.00	231.40	7.3700	7.1600	6.7100	6.4300	6.5600	6.8300
54.00	240.30	8.7700	8.5100	7.9300	7.5500	7.6900	8.0300
56.00	249.20	10.4000	10.1000	9.3000	8.8000	9.0000	9.4000
58.00	258.10	12.2000	11.8000	10.9000	10.3000	10.4000	10.9000
60.00	267.00	14.3000	13.8000	12.7000	11.9000	12.0000	12.6000

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Los números en color negro son valores interpolados, en función a SN=5

Tabla 61. Resultados ensayos de sondeos de línea

ESTACION	SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. Cm	% QUE PASA POR EL TAMIZ												L.L	L.P	I.P	CLASIFICACION	CBR	DESCRIPCION DEL MATERIAL
				3 "	2 1/2 "	2 "	1 1/2 "	1 "	3/4 "	1/2 "	3/8 "	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	%	%	%	H.R. B	95	
	SL-1	1	0 - 20	100	100	100	93	82	75	65	56	40	35	22	15	38	17	21	A-2-6 (0)	12	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	20 - 65	100	100	100	100	96	91	83	75	61	58	42	28	42	19	23	A-2-6 (1)	12	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		3	65 - 150	100	100	94	87	85	83	78	71	57	52	35	25	43	12	31	A-2-7 (0)	16	GRAVA ARENA ARCILLOSA
00+200.00	SL-2	1	0 - 20	100	100	100	100	97	94	92	90	88	86	73	61	48	18	30		7	SUELO ARCILLOSO
		2	20 - 50	100	100	100	98	89	85	79	71	58	55	42	35	45	21	24	A-2-7 (2)	16	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		3	50 - 80	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	80	68	43	20	23	A-7-6(11)	7	SUELO ARCILLOSO
		4	80 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	80	68	43	20	23	A-7-6(11)	7	SUELO ARCILLOSO
00+400.00	SL-3	1	0 - 20	100	100	100	100	100	93	89	82	72	68	48	35	51	22	29		16	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	20 - 150	100	100	100	100	90	87	84	80	65	63	52	45	46	18	28	A-7-6 (5)	7	SUELO ARCILLOSO
00+600.00	SL-4	1	0 - 20	100	100	100	100	100	93	89	82	72	68	48	35	51	22	29		17	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	20 - 150	100	100	100	100	90	87	84	80	65	63	52	45	46	18	28	A-7-6 (5)	12	GRAVA ARENA ARCILLOSA
00+800.00	SL-5	1	0 - 150	100	100	100	98	76	61	52	41	31	28	21	15	38	4	34		21	GRAVA ARENO LIMOSA
01+000.00	SL-6	1	0 - 25	100	100	100	98	86	81	75	68	53	48	35	28	39	22	17		12	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	25 - 50	100	100	100	100	96	90	81	74	62	58	42	33	47	28	19	A-2-7 (3)	16	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		3	50 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	49	29	A-7-5 (20)	6	SUELO ARCILLOSO

Fuente: ENIC (Empresa Nicaragüense de Construcción).

Nota: Las celdas coloreadas en azul son los CBR utilizar para el de diseño de subrasante.

Tabla 62. Resultados ensayos de sondeos de línea.

ESTACION	SONDEO No.	MUESTRA No.	PROF. CM	% QUE PASA POR EL TAMIZ												L.L	L.P	I.P	CLASIFICACION	CBR	DESCRIPCION DEL MATERIAL
				3 "	2 1/2 "	2 "	1 1/2 "	1 "	3/4 "	1/2 "	3/8 "	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	%	%	%	H.R. B	95	
01+200.00	SL-7	1	0 - 25	100	100	100	98	86	81	75	68	53	48	35	28	39	22	17		12	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	25 - 80	100	100	100	95	89	79	69	59	49	45	35	29	45	25	20	A-2-7 (2)	16	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		3	80 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	95	93	78	49	29	A-7-5(20)	6	SUELO ARCILLOSO
01+400.00	SL-8	1	0 - 150	100	100	100	97	79	62	54	45	33	27	18	13	30	10	20		21	GRAVA ARENO LIMOSA
01+600.00	SL-9	1	0 - 70	100	100	100	94	74	59	50	43	35	31	24	19	33	13	20		12	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	70 -150	100	100	100	100	100	99	98	95	77	71	48	38	38	18	20	A-6 (2)	17	SUELO ARCILLOSO
01+800.00	SL-10	1	0 - 100	100	100	100	97	79	62	54	45	33	27	18	13	30	10	20		21	GRAVA ARENO LIMOSA
		2	100 - 150	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	95	79	67	30	37	A-7-5 (20)	6	SUELO ARCILLOSO
02+000.00	SL-11	1	0 - 20	100	100	100	100	100	93	89	86	78	76	59	44	58	32	26		7	SUELO ARCILLOSO
		2	20 - 150	100	100	100	100	96	90	81	74	62	58	42	33	47	28	19	A-2-7 (3)	16	GRAVA ARENA ARCILLOSA
02+200.00	SL-12	1	0 - 25	100	100	100	100	97	93	87	81	73	70	49	33	43	20	23		17	GRAVA ARENA ARCILLOSA
		2	25 - 150	100	100	100	100	100	100	100	9	96	86	49	36	44	16	28	A-7-6(6)	9	SUELO ARCILLOSO

Fuente: ENIC (Empresa Nicaragüense de Construcción).

Tabla 63. Clasificación de suelos, según AASHTO.

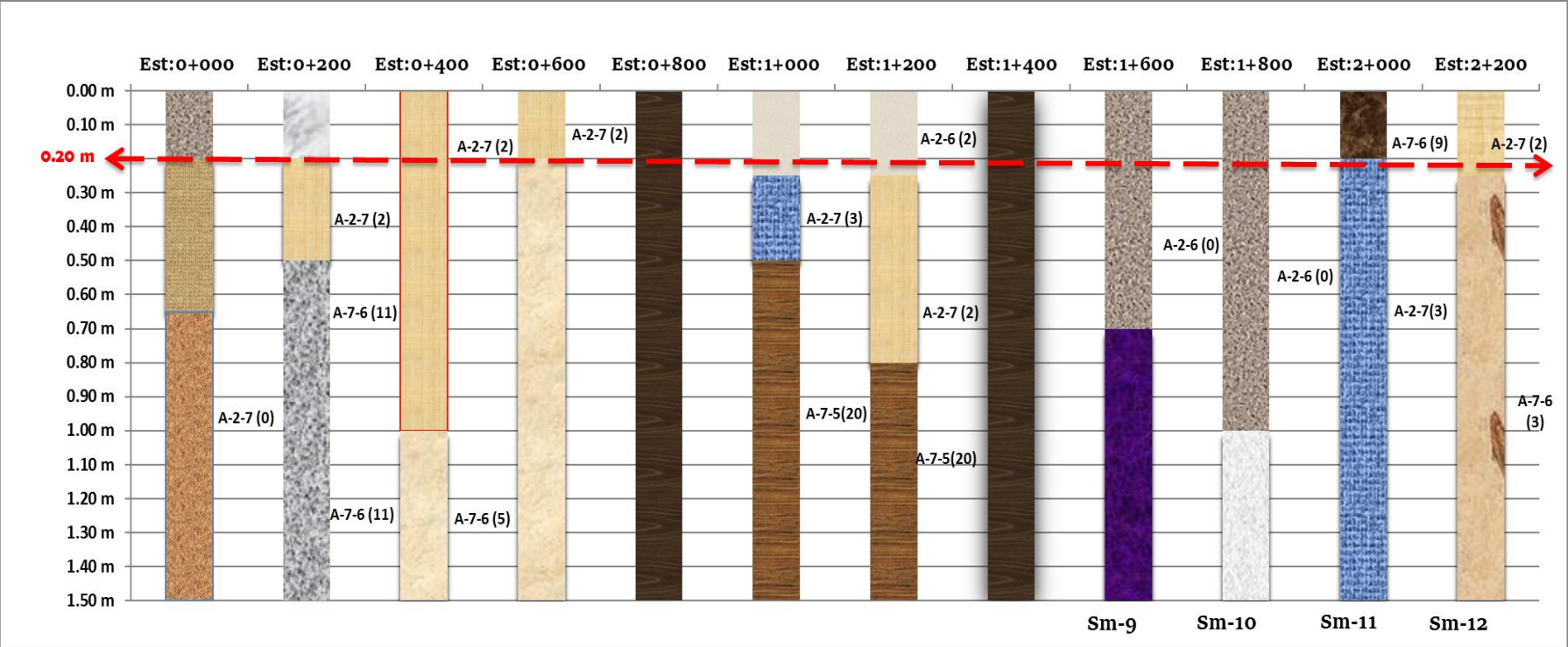
CLASIFICACIÓN AASHTO PARA SUELOS Y MEZCLAS SUELO-AGREGADO.												
General Clasificación	Materiales Granulares (35% o menos pasa 0.075 mm)							Materiales Limo-arcillosos (mas del 35% pasa 0.075 mm)				
Grupo de Clasificación }	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Porcentaje que Pasa 2.00 mm 0.425 mm 0.075 mm	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 máx. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Fracción que pasa 0.425mm												
Limite Liquido -				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	41 min.
Índice Plástico -	6 máx.		N.P	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	11 min.
Tipos comunes de los constituyentes significativos en los materiales.	Fragmentos de Piedra, grava y arena.		Arena Fina.	Grava con arena limosa o arcillosa.				Suelos limosos.		Suelos arcillosos.		
Uso general como sub-rasante.	Excelente a bueno.							Pobre a malo.				

Nota: A-7-5 = PL<30 y A-7-6 = PL >30.

EXPERIMENTAL SOIL MECHANICS, JEAN - PIERRE BARDET.

Fuente: Libro de Diseño de Pavimentos, AASHTO 93.

Gráfico 11. Estratigrafía del Terreno.



Fuente: Elaboración propia

Nota: La línea roja refleja la de sub – rasante del terreno natural 0.20 m.

Tabla 64. Cuadro de curvas horizontales.

ESTACION		deflexión	CUERDA INVERSA	DATOS DE CURVA 1	Azimuth
KM	TIPO				
0+000.00					
0+360.10	PC		360.101	$\Delta = 4^{\circ} 38' 1.81''$ izq	$120^{\circ} 21' 25.93''$
0+452.78	PT	$357^{\circ} 40' 59.10''$	92.651	ST = 46.364	$118^{\circ} 2' 25.03''$
				PI = 0+406.46	
				Gc = $1^{\circ} 0' 0.00''$	
				Lc = 92.677	
				Rc = 1145.916	
ESTACION		deflexión	CUERDA INVERSA	DATOS DE CURVA 2	Azimuth
KM	TIPO				
0+551.97	PC		99.194	$\Delta = 6^{\circ} 42' 48.91''$ izq	$115^{\circ} 43' 24.13''$
0+619.11	PT	$356^{\circ} 38' 35.54''$	67.097	ST = 33.606	$112^{\circ} 21' 59.67''$
				PI = 0+585.58	
				Gc = $2^{\circ} 0' 0.00''$	
				Lc = 67.136	
				Rc = 572.958	
ESTACION		deflexión	CUERDA INVERSA	DATOS DE CURVA 3	Azimuth
KM	TIPO				
0+680.06	PC		60.949	$\Delta = 12^{\circ} 24' 35.85''$ izq	$109^{\circ} 0' 35.21''$
0+742.11	PT	$353^{\circ} 47' 42.08''$	61.929	ST = 31.147	$102^{\circ} 48' 17.29''$
				PI = 0+711.20	
				Gc = $4^{\circ} 0' 0.00''$	
				Lc = 62.050	
				Rc = 286.479	

Fuente: Elaboración propia, Civilcad 2015

Tabla 65. Cuadro de curvas horizontales.

ESTACION		deflexión	CUERDA INVERSA	DATOS DE CURVA 4	Azimuth
KM	TIPO				
0+892.54	PI		150.436	$\Delta = 0^{\circ} 39' 35.25''$ der	$96^{\circ} 35' 59.37''$
1+011.55	PC		119.003	$\Delta = 4^{\circ} 40' 50.48''$ izq	$95^{\circ} 56' 24.12''$
1+105.16	PT	$357^{\circ} 39' 34.76''$	93.588	ST = 46.833	$93^{\circ} 35' 58.88''$
				PI = 1+058.38	
				Gc = $1^{\circ} 0' 0.00''$	
				Lc = 93.614	
				Rc = 1145.916	
ESTACION		deflexión	CUERDA INVERSA	DATOS DE CURVA 5	Azimuth
KM	TIPO				
1+577.02	PC		471.859	$\Delta = 1^{\circ} 56' 20.96''$ der	$91^{\circ} 15' 33.64''$
1+615.80	PT	$0^{\circ} 58' 10.48''$	38.781	ST = 19.393	$92^{\circ} 13' 44.12''$
				PI = 1+596.41	
				Gc = $1^{\circ} 0' 0.00''$	
				Lc = 38.783	
				Rc = 1145.916	
ESTACION		deflexión	CUERDA INVERSA	DATOS DE CURVA 6	Azimuth
KM	TIPO				
1+841.14	PC		225.339	$\Delta = 5^{\circ} 30' 6.10''$ der	$93^{\circ} 11' 54.60''$
1+951.17	PT	$2^{\circ} 45' 3.05''$	109.992	ST = 55.059	$95^{\circ} 56' 57.65''$
				PI = 1+896.20	
				Gc = $1^{\circ} 0' 0.00''$	
				Lc = 110.034	
				Rc = 1145.916	
ESTACION		deflexión	CUERDA INVERSA	DATOS DE CURVA 7	Azimuth
KM	TIPO				
2+068.06	PC		116.882	$\Delta = 13^{\circ} 23' 14.44''$ der	$98^{\circ} 42' 0.70''$
2+201.93	PT	$6^{\circ} 41' 37.22''$	133.569	ST = 67.243	$105^{\circ} 23' 37.92''$
				PI = 2+135.30	
				Gc = $2^{\circ} 0' 0.00''$	
				Lc = 133.873	
				Rc = 572.958	
2+275.51			73.576		$112^{\circ} 5' 15.14''$

Fuente: Elaboración propia, Civilcad 2015

Tabla 66. Cuadro de curvas verticales

Datos de curva (1)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
0.803	-2.419	0+482.390	482.8728	40.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = 3.222%				Tipo de curva: En cresta	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	0+462.390	482.712	482.712	
1		0+482.390	482.873	482.712	
2	PTV	0+502.390	482.389	482.389	
Tiempo de reaccion (seg) 2.50 Párametro K(m%) 15.00 Parametros de visibilidad Altura del ojo(m) 1.14 Altura del objeto (m) 0.15 Parametros de rebase Altura del ojo(m) 1.14 Altura del objeto 1.37 Longitud Hz de rebase 240.00 Longitud parámetro K 48.33					
Datos de curva (2)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-2.419	1.087	0+605.734	479.8891	50.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = -3.506%				Tipo de curva: En columpio	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	0+580.734	480.494	480.494	
1		0+600.734	480.010	480.150	
2		0+620.734	480.052	480.087	
3	PTV	0+630.734	480.161	480.161	
Parametros de visibilidad Parametro k (m%) 15.00 Altura de los faros(m) 0.61 Longitud parámetro K 52.59					

Fuente: Elaboración propia, Civilcad 2015

Tabla 67. Cuadro de curvas verticales

Datos de curva (3)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
1.087	-1.790	0+767.830	481.6516	40.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = 2.877%				Tipo de curva: En cresta	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	0+747.830	481.434	481.434	
1		0+767.830	481.652	481.508	
2	PTV	0+787.830	481.294	481.294	
Tiempo de reaccion (seg)		2.50			
Párametro K(m%)		15.00			
<u>Parametros de visibilidad</u>					
Altura del ojo(m)		1.14			
Altura del objeto (m)		0.15			
<u>Parametros de rebase</u>					
Altura del ojo(m)		1.14			
Altura del objeto		1.37			
Longitud Hz de rebase		210.00			
Longitud parámetro K		43.15			
Datos de curva (4)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-1.790	0.689	0+973.526	477.9703	40.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = -2.478%				Tipo de curva: En columpio	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	0+953.526	478.328	478.328	
1		0+973.526	477.970	478.094	
2	PTV	0+993.526	478.108	478.108	

Fuente: Elaboración propia, Civilcad 2015

Tabla 68. Cuadro de curvas verticales

Datos de curva (5)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
0.604	-0.484	1+170.700	479.1778	10.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = 1.088%				Tipo de curva: En cresta	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	1+165.700	479.148	479.148	
1	PTV	1+175.700	479.154	479.154	
Tiempo de reaccion (seg)		2.50			
Párametro K(m%)		15.00			
<u>Parametros de visibilidad</u>					
Altura del ojo(m)		1.14			
Altura del objeto (m)		0.15			
<u>Parametros de rebase</u>					
Altura del ojo(m)		1.14			
Altura del objeto		1.37			
Longitud Hz de rebase		80.00			
Longitud parámetro K		16.32			
Datos de curva (6)					
Pendiente %		PIV		Longitud de curva (N)	Intervalo entre estaciones (mts)
Entrada (P1)	Salida (P2)	Estación	Elevación		
-0.484	0.656	1+317.564	478.4666	20.00	20.00
Diferencia algebraica de pendientes (A) = -1.141%				Tipo de curva: En columpio	
Z (n)	Descripción	Estación	Elev. (S/Tang.)	Elev. (S/Curva)	
0	PCV	1+307.564	478.515	478.515	
1	PTV	1+327.564	478.532	478.532	
<u>Parametros de visibilidad</u>					
Parametro k (m%)		15.00			
Altura de los faros(m)		0.61			
Longitud parámetro K		17.11			

Fuente: Elaboración propia, Civilcad 2015

GLOSARIO.

Adoquines: Son elementos contruidos de material pétreo y cemento colocados sobre una capa de arena, su función primordial es absorber las irregularidades que pudiera tener la base proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado.

Adoquinado: Tipo de pavimento cuya superficie de rodadura está formada por adoquines.

Agregados: Un material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

Agregado fino: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general pasa la malla N° 4 (4,75 mm) y contiene finos.

Agregado grueso: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4,75 mm).

Bache: Depresión que se forma en la superficie de rodadura producto del desgaste originado por el tránsito vehicular y la desintegración localizada.

Bombeo: Inclinación transversal que se construye en las zonas en tangente a cada lado del eje de la plataforma de una carretera con la finalidad de facilitar el drenaje lateral de la vía.

Banco de Material: Lugar donde se extraerá material de préstamo para ser utilizado en una obra civil, en el cual es necesario conocer el tipo de suelos existentes en dicha zona, así como el volumen aproximado de material que pueda ser utilizable.

Base: Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

Calicata: Excavación superficial que se realiza en un terreno, con la finalidad de permitir la observación de los estratos del suelo a diferentes profundidades y eventualmente obtener muestras generalmente disturbadas.

Capa sub-rasante: Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

Cama de Arena: Esta capa se construye de 5 centímetros, con arena suelta, gruesa y limpia la cual no se compacta antes de colocar los adoquines sobre ella.

Capacidad de carga última del terreno: Es la presión requerida para producir la falla del terreno, sin considerar factores de seguridad.

Carretera, Calle o Camino: Términos genéricos que designan una vía terrestre para fines de circulación de vehículos y que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía.

Carretera no pavimentada: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.

Carretera pavimentada: Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible), de concreto Pórtland (rígida) o de adoquín (articulado).

Carpeta: Debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color conveniente que resista los efectos abrasivos del tránsito, desde el punto de vista del objetivo funcional del pavimento es el elemento más importante.

CBR. (Relación de Carga California): Relación entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm en un material de prueba y la presión necesaria para penetrar la misma profundidad en un material de características conocidas o patrón.

Cota de rasante: Valor numérico de un punto topográfico que representa el nivel terminado o rasante referido a un BENCH MARK (BM).

Cota de terreno: Valor numérico de un punto topográfico del terreno referido a un BENCH MARK (BM).

Cuneta: Canalillo lateral paralelo al eje de una carretera, camino o calle construida inmediatamente después del borde de los hombros, que permite el escurrimiento del agua, y a la vez, sirve de barrera entre la calzada y la acera.

Elementos viales: Conjunto de componentes físicos de la vía, tales como superficie de rodadura, bermas, cunetas, obras de drenaje, elementos de seguridad vial.

Estación: Lugar o punto específico donde se realizan conteos, para conocer las características del tráfico, la que será útil para el desarrollo de carreteras.

Estación de control: Tienen por objeto conocer las variaciones diarias, semanales y estacionales; se realizan en caminos de adoquinado y asfalto, en tramos donde el tráfico es menor que una estación permanente. Sin embargo, su principal función es de llevar un control de las estaciones Permanentes y en donde se les efectúan conteos una vez al año a diferencia que las estaciones sumarias.

Estación permanente: Se encuentran ubicadas sobre la Red Troncal Principal, destacándose la zona Central y Pacífica del país, efectuándose conteos clasificados de 24 horas por día durante dos periodos en el año (verano-invierno), con duración de 7 días consecutivos en cada período.

Estación sumaria: Se caracterizan por estar en caminos que no han sido pavimentados, con un flujo vehicular moderado.

En este tipo de estación se realiza como mínimo un aforo anual durante 12 horas diarias (de 6 am a 6 pm) en períodos de tres (Martes – Miércoles – Jueves) generalmente en todo el transcurso del año se efectúan en épocas de Verano y/o Invierno.

Intersección: Caso en que dos o más vías se interceptan a nivel o desnivel.

Índice de plasticidad: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semisólido.

Levantamiento topográfico: Conjunto de operaciones de medidas efectuadas en el terreno para obtener los elementos necesarios y elaborar su representación gráfica.

Límite líquido: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

Módulo resiliente (suelos): Esfuerzo repetido axial de desviación de magnitud, duración y frecuencias fijas, aplicado a un espécimen de prueba apropiadamente preparado y acondicionado.

Niveles de servicio: Indicadores que califican y cuantifican el estado de servicio de una vía, y que normalmente se utilizan como límites admisibles hasta los cuales pueden evolucionar su condición superficial, funcional, estructural, y de seguridad.

Pavimento: Es una capa o conjunto de capas de materiales seleccionados, comprendidos entre la subrasante y la superficie de rodamiento o rasante.

Pavimento articulado: Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí. Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual a su vez se apoya sobre la capa de base

granular o directamente sobre la sub-rasante, dependiendo de la calidad de esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas por dicho pavimento.

Pendiente de la carretera: Inclinação del eje de la carretera, en el sentido de avance.

Proyecto: La sección específica de la carretera, camino, calle o puente, junto con todas las obras que serán construidas.

Sección transversal: Representación gráfica de una sección de la carretera en forma transversal al eje y a distancias específicas.

Sub- base: Se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería, también actúa como drenaje para desalojar el agua que se infiltra al pavimento y para impedir la ascensión capilar del agua procedente de la terracería hacia la base.

Sub- rasante: Es el nivel del terreno sobre el cual se asientan las capas de sub-base, base y carpeta del pavimento. Corresponde al nivel de lo que se conoce como terracería.

Suelo: Es un agregado natural no cementado de granos minerales y materia orgánica en descomposición, con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas que lo constituyen.

Terraplén: Es aquella parte de la estructura de una obra vial construida con material producto de un corte o un préstamo, la cual queda comprendida entre el terreno de fundación y el pavimento.

Tránsito: Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras

Vida útil: Lapso previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.

PLANOS DEL PROYECTO