



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

**Monografía**

**“DISEÑO GEOMÉTRICO Y PROPUESTA DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO  
RÍGIDO EN UN TRAMO DE 460.209 M, DE VÍA DEL BARRIO TIERRA  
PROMETIDA DEL D-III, DE MANAGUA.”**

Para optar al título de ingeniero civil.

**Elaborado por**

Br. David José Rodríguez Aguilar.

Br. Rafael Antonio Muñoz Chávez.

**Tutor**

Ing. José Fernando Bustamante Arteaga.

Managua, Enero 2021

## DEDICATORIA.

A Dios por darme la sabiduría y el pan de la enseñanza, como gran apoyo espiritual, para seguir adelante en las altas y bajas dificultades que se han presentado durante mi vida y que me ha permitido culminar con esta etapa importante de mi formación como profesional.

A mis abuelos, **Cándida Espinoza Pérez** y **Luis Aguilar**, quienes han sido como padres, y que desde mis primeros días de pensamientos me criaron y aconsejaron de una manera correcta, estando presente en cada etapa de mi vida.

A mis padres, **Maydis Azucena Aguilar** y **José Thomás Rodríguez**, que siempre han estado velando por mi bienestar, apoyándome y aconsejando en cada decisión que tomaba, en cómo ser una mejor persona dentro de la sociedad.

A mis familiares y demás allegados, **Rita Duarte**, **Lic. Miguel Ángel Lagos**, **Lic. Karen Roxana Caldera**, **Ing. Janixia Palma**, que estuvieron al pendiente de mi formación apoyándome y brindándome su cariño.

A mis amistades y compañeros de la Universidad, **Rodolfo Camilo Sandino Cruz**, **Rafael Antonio Muñoz**, con quienes juntos salimos adelante durante nuestra formación profesional, compartiendo momentos buenos y malos, y que han hecho de está una de las mejores etapas de mi vida.

**David José Rodríguez Aguilar.**

## **DEDICATORIA.**

Dedico primeramente el Presente Trabajo de Graduación a ti mi Dios por haberme permitido cumplir esta meta. Seguidamente dedico este trabajo a los dos pilares fundamentales de mi vida a mis padres Rafael Antonio Muñoz y Francisca Asunción Chávez, gracias por impulsarme a conseguir mis sueños y metas.

También dedico este Trabajo de Graduación al ingeniero Juan José Sánchez Barquero, un segundo padre, mi guía y consejero a lo largo de estos 5 años.

A mis hermanos Luis Fernando Muñoz, Oscar Daniel Muñoz, Gema del Socorro Muñoz, Yesica Selena Muñoz Chávez. A mis sobrinos Joner Antonio, Evelin del Socorro, los gemelos Mateo y Matías y a mi abuela Nidia Socorro Muñoz, los cuales han sido un estímulo en mis labores en el hogar y en mis estudios.

Para finalizar quiero dedicar este trabajo a todos aquellos que de alguna manera influyeron en mi formación profesional, a todos y cada uno de los docentes de la Facultad de Tecnología de la Construcción de la UNI-Managua guías fundamentales y facilitadores en estos 5 años para concluir esta meta, verdaderamente gracias, Dios los bendiga a todos.

**Rafael Antonio Muñoz Chávez.**

## **AGRADECIMIENTO.**

Primeramente, doy gracias al Padre Celestial, por haberme dado sabiduría, paciencia, esfuerzo y valor para lograr esta etapa de mi vida que tanto anhelo.

Doy gracias a mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron durante el transcurso de la carrera universitaria, por los consejos y motivación, por creer en mí, también por todos los sacrificios que tuvieron que hacer para culminar mis estudios.

A la Universidad Nacional de Ingeniería y todos sus docentes por brindarme sus conocimientos a lo largo de la carrera de Ing. Civil.

A mi tutor externo Ing. Juan Sánchez Barquero por todo el apoyo incondicional, brindarme sus conocimientos y consejos para poder llevar a cabo este trabajo.

A mi tutor el Ing. José Fernando Bustamante Arteaga, por sus consejos y tiempo brindado, para poder culminar con el trabajo monográfico.

**David José Rodríguez Aguilar**

## **AGRADECIMIENTO.**

Primeramente, doy las gracias a Dios por permitirme ver consumir este logro y darme el conocimiento y la fuerza necesaria para llegar a él. A mis padres Rafael Antonio Muñoz y Francisca Asunción Chávez, gracias por estar atreves de lo largo de esta etapa de mi vida, y por enseñarme que la humildad, el amor, el respeto y la familia es lo más importante, son la bendición más grande que Dios me dio, este logro es de ustedes.

Al ingeniero Juan José Sánchez Barquero, gracias, por apoyarme, por motivarme y guiarme en el desarrollo de este trabajo y poder culminarlo con la debida calidad.

A todos los profesores y compañeros de estudio que de una u otra forma contribuyeron con mi formación profesional sea dentro o fuera del aula de clases. A todos ellos por haber sido grandes facilitadores del conocimiento y por quienes he alcanzado mi meta profesional.

Al tutor, Ing. José Fernando Bustamante Arteaga, por sus dedicación y tiempo brindado para poder ver culminada esta meta.

**Rafael Antonio Muñoz Chávez**

## RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo monográfico se abordaron seis capítulos, los cuáles se describen a continuación.

**CAPITULO I GENERALIDADES:** En este capítulo se abordan las generalidades del tema, tales como introducción, antecedentes, justificación, objetivos, macro y micro localización del sitio del proyecto.

**CAPITULO II ESTUDIOS DE TRÁNSITO:** En el Estudio de Tránsito se hicieron trabajos de conteo por espacio de 3 días y durante 12 horas consecutivas cada día (6:00am-6:00pm) con el fin de conocer la cantidad y el tipo de vehículo que circula por la zona para posteriormente estimar el TPDA, tomando como referencia los respectivos factores para ajustar los resultados obtenidos.

El TPDA calculado para el año base 2018, se proyectó para un periodo de diseño de 20 años, utilizando una tasa de crecimiento estimada del 4.10% encontrándose así el TPDA del tránsito normal, tránsito atraído y tránsito generado, proyectados al año 2040.

También se hicieron consulta al Anuario del MTI para confirmar la tasa de crecimiento con un tránsito en la estación de mayor cobertura, EMC, más cercana y confiable a la Avenida en Estudio.

**CAPITULO III ESTUDIOS DE SUELO:** Los Estudios de Suelo realizados fueron facilitados por la Alcaldía de Managua y Elaborados por la Empresa, Ingeniería de Materiales y Suelos (IMS). Las muestras fueron obtenidas en 5 sondeos manuales sobre la línea y en 2 bancos de materiales. Los ensayos de laboratorio se realizaron siguiendo los procedimientos estándares descritos en las normas internacionales ASTM.

**CAPITULO IV TOPOGRAFÍA:** Los planos del levantamiento topográfico del Tramo de la Avenida en Estudio fueron suministrados por la Dirección General de Proyectos de la Alcaldía de Managua. Específicamente la información corresponde a la planta y perfil topográfico de un Tramo desde la Estación 0+037 a la Estación 0+460.209, en la dirección Norte-Sur de la Avenida en estudio.

**CAPITULO V DISEÑO GEOMÉTRICO:** Para el Diseño Geométrico del Tramo de la Avenida en estudio, fue necesario hacer un reconocimiento del terreno y hacer las observaciones pertinentes auxiliadas por los planos topográficos suministrados por la Alcaldía de Managua. De esa manera conocimos datos importantes, el derecho de vía, las edificaciones construidas a ambos lados de la vía. El camino existente es relativamente plano y con pendientes suaves.

**CAPITULO VI DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO:** Para determinar el espesor de la Estructura del Pavimento, particularmente el espesor de la losa de concreto de la superficie de rodamiento, se hicieron las consultas bibliográficas para distintas características de vías secundarias o recolectoras rurales.

Entre las consultas realizadas se utilizó las especificaciones de la AASHTO-93 (American Association of State Highway and Transportation Officials), las recomendaciones de los manuales de fabricantes de cemento y concreto y libros sobre construcción escrito por especialistas en el tema.

## Índice

### CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.	ANTECEDENTES.....	2
1.3.	JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4.	OBJETIVOS.....	4
1.4.1.	Objetivo general.....	4
1.4.2.	Objetivos específicos.....	4

### CAPITULO II: ESTUDIO DE TRANSITO

2.1.	Introducción.....	7
2.2.	Definiciones básicas.....	7
2.2.1.	Volumen de tránsito.....	7
2.2.2.	Tránsito Promedio Diario (TPD).....	7
2.2.3.	Vehículos Ligeros o Livianos.....	7
2.2.4.	Vehículos Pesados.....	7
2.2.5.	Vehículos Especiales.....	8
2.3.	Metodología.....	8
2.4.	Resultados de los Aforos de Tránsito.....	9
2.4.1.	Tráfico Promedio Diurno de 3 días (TPDi).....	10
2.5.	Cálculo del TPDA, Tránsito Promedio Diario Anual.....	11
2.6.	Tasa de crecimiento vehicular (Tc).....	13

### CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELO

3.1.	Introducción.....	16
3.2.	Exploración y Muestreo.....	16
3.3.	Sondeos Manuales Sobre la Línea.....	17
3.4.	Clasificación de los Suelos.....	17
3.4.1.	Sistema de Clasificación AASHTO.....	18
3.4.2.	Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS).....	18
3.4.3.	Suelos de grano grueso.....	18
3.4.4.	Suelos de grano fino.....	19
3.5.	Propiedades Físicas de los Suelos.....	19
3.5.1.	Granulometría.....	19
3.5.2.	Contenido de humedad.....	19

3.5.3. Limite líquido.....	19
3.6. Resultado de las Pruebas de Laboratorio de las Propiedades Físicas de los Suelos Sobre la Línea.....	20
3.7. Observaciones sobre los resultados de la prueba de Laboratorio de las Propiedades Físicas de los Suelos Sobre la Línea.....	23
3.8. Propiedades Mecánicas de los Suelos Sobre La Línea.....	23
3.8.1. Compactación Proctor. ....	23
3.8.2. Valor soporte CBR.....	24
3.9. Resultados de las Pruebas de las Propiedades Mecánicas de los Suelos Sobre la Línea.....	26
3.10. Observaciones sobre los Resultados de las Pruebas de las Propiedades Mecánicas de los Suelos Sobre la Línea.....	27
3.11. Sondeos de los Bancos de Materiales. ....	28
3.11.1. Resultados de las Pruebas de Laboratorio de las Propiedades Físicas y Mecánicas de los Suelos de los Bancos de Materiales.....	29
3.12. Observaciones sobre los resultados de las pruebas Físicas y Mecánicas de los Bancos de Materiales. ....	30

#### **CAPITULO IV: LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO**

4.1. Introducción. ....	31
4.2. Metodología.....	32
4.3. Planimetría.....	32
4.3.1. Alineamiento Horizontal.....	32
4.3.2. Curvas de nivel. ....	34
4.3.3. Pendientes ....	34
4.3.4. Pozos de Visitas Sanitarios. ....	36
4.3.5. Intersecciones con calles ....	36
4.4. Elaboración de Planos.....	37

#### **CAPITULO V: DISEÑO GEOMÉTRICO**

5.1. Introducción. ....	38
5.2. Metodología.....	38
5.3. Clasificación Funcional. ....	38
5.4. Datos de Tránsito.....	38
5.5. Vehículo de Diseño.....	39
5.6. Velocidad de Diseño (Vd). ....	39

<b>5.7.</b>	<b>Sección Transversal Típica de Diseño.</b>	<b>40</b>
5.7.1.	El ancho de la vía.....	40
5.7.2.	Pendiente transversal de calzada.....	40
5.7.3.	Cunetas Tipo Pie o Cordón.....	41
<b>5.8.</b>	<b>Pendientes Obtenidas.....</b>	<b>41</b>
<b>5.9.</b>	<b>Distancias Recomendadas por el Manual de la SIECA 2004.....</b>	<b>41</b>
5.9.1.	Distancia Mínima de visibilidad de Parada (Dvp). ....	41
5.9.2.	Distancia de visibilidad de adelantamiento (Dva). ....	43
<b>5.10.</b>	<b>Diseño del Alineamiento Horizontal. ....</b>	<b>44</b>
<b>5.11.</b>	<b>Elementos y fórmulas para el diseño de curvas horizontales .....</b>	<b>44</b>
5.11.1.	Sobreelevación máxima (e) y coeficiente de fricción (f). ....	45
5.11.2.	Radio Mínimo (Rmin).....	45
5.11.3.	Longitud de la curva.....	47
5.11.4.	Longitud de la Tangente. ....	47
5.11.5.	Longitud de la cuerda .....	48
<b>5.12.</b>	<b>Alineamiento Vertical.....</b>	<b>48</b>
5.12.1.	Elementos y fórmulas para el diseño de Curvas Verticales. ....	49
5.12.2.	Cálculo de curvas verticales en cresta. ....	50
5.12.3.	Cálculo de Curvas verticales en columpio. ....	53
<b>5.13.</b>	<b>Resultados del Alineamiento Horizontal y Vertical. ....</b>	<b>55</b>
5.13.1.	Resultados obtenidos del alineamiento Horizontal. ....	55
5.13.2.	Resultados obtenidos del alineamiento Vertical.....	55
<b>CAPITULO VI: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO</b>		
<b>6.1.</b>	<b>Introducción .....</b>	<b>62</b>
<b>6.2.</b>	<b>Diseño de pavimento Rígido .....</b>	<b>64</b>
<b>6.3.</b>	<b>Metodología de Diseño .....</b>	<b>65</b>
<b>6.4.</b>	<b>Propuesta del Espesor de Pavimento Rígido Método AASHTO-93. ....</b>	<b>66</b>
6.4.1.	Obtención de los valores de los Parámetros de diseño a considerar .....	67
6.4.2.	Calculo ESAL´S de diseño.....	71
6.4.3.	Resultado obtenido de la aplicación de la Formula AASHTO-93 y comparada con el ESAL´S total. ....	73

6.5.	Recomendaciones del Manual AASHTO para espesores de losas de concreto en pavimento rígido. (Manual editado por República de Colombia).....	74
6.6.	Procedimiento directo para determinar el espesor de losa de concreto.....	77
6.7.	Resumen de resultado de los espesores de la losa de concreto. ...	78
6.8.	Juntas de Dilatación o Contracción.....	79
6.9.	Barra de transmisión o dovelas .....	80
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>82</b>
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>83</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>84</b>

# **CAPITULO I: GENERALIDADES**

## 1.1. INTRODUCCIÓN.

La infraestructura vial incide en la economía de todos los países en desarrollo, entre ellos Nicaragua. Por tanto, el estudio de la red vial es de mucha importancia para la nueva generación de ingenieros. Así también se fortalece el conocimiento y el mejoramiento continuo de las capacidades profesionales en el diseño y construcción de nuevas vías.

Consecuente con lo anterior se ha seleccionado el siguiente Tema Monográfico, “Diseño Geométrico y Propuesta de Estructura de Pavimento Rígido en un Tramo de 460.209 m, de vía del Barrio Tierra Prometida del D-III, de Managua”. Ver macro y micro localización en página 5 y pagina 6.

Esta Avenida actualmente funciona como colector secundaria hacía la calle marginal de la Pista Juan Pablo II y su superficie de rodamiento es con material selecto. La propuesta de diseño que presentamos en el tema monográfico está proyectada para una vida útil de 20 años del tramo en estudio

Este trabajo monográfico lo realizamos basado en los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniería Civil de la UNI-IES y auxiliados de las consultas bibliográficas y consultas a especialistas en el tema. Entre las consultas bibliográficas hemos recurrido a las normativas Regionales e Internacionales, SIECA 2002, AASHTO 93, ACI, INCYC.

## **1.2. ANTECEDENTES.**

En el año 1990 se conforma el Asentamiento Tierra Prometida, ubicado en el Distrito III, de la ciudad de Managua. La mayoría de las viviendas de este Asentamiento son construcciones inadecuadas e inseguras debido a la falta de aplicación de las normas básicas de construcción. Esto significa que son obras vulnerables ante movimientos telúricos e inundaciones.

Al oeste del Asentamiento Tierra Prometida, se localiza el tramo de 460.209 metros de la Avenida, objeto del Tema de esta Tesis Profesional.

Durante el reconocimiento del terreno se identificó que la superficie de rodamiento de la avenida en estudio es de tierra, sin obras de drenaje pluvial ni andenes. No está definida el ancho de calzada ni el derecho de vía. En el costado Este hay viviendas precarias que, aparentemente, han invadido el derecho de vía.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN.

Nicaragua ha mostrado notablemente su ampliación y mejoramiento de su red vial facilitando la comunicación física a nivel local e internacional. En este desarrollo, la Ciudad Capital ha experimentado, consecuentemente, mejoría en su red vial interna.

De acuerdo con ese desarrollo mostrando, se consideró realizar el trabajo monográfico, titulado **“Diseño Geométrico y Propuesta de Estructura de Pavimento Rígido en un Tramo de 460.209 m, de vía del Barrio Tierra Prometida del D-III, de Managua”**.

Con este trabajo se propone aportar al mejoramiento vial en la Ciudad de Managua. El tramo de la vía es una colectora secundaria actualmente sin revestimiento. Una vez construida la superficie de rodamiento facilitará la circulación vehicular y peatonal en condiciones de mayor seguridad.

## **1.4. OBJETIVOS.**

### **1.4.1. Objetivo general.**

✚ Proponer el Diseño Geométrico y la Estructura de Pavimento Rígido en un tramo de 460.209 m, de vía del Barrio Tierra Prometida del D-III. Municipio de Managua.

### **1.4.2. Objetivos específicos.**

✚ Realizar el Estudio de Tránsito para determinar el tráfico actual y proyectado a 20 años, así como las cargas que actuarán en la Estructura de Pavimento.

✚ Analizar el estudio de suelo del sitio y de los bancos de materiales, para conocer las características físicas y mecánicas que serán utilizados en la estructura de pavimento.

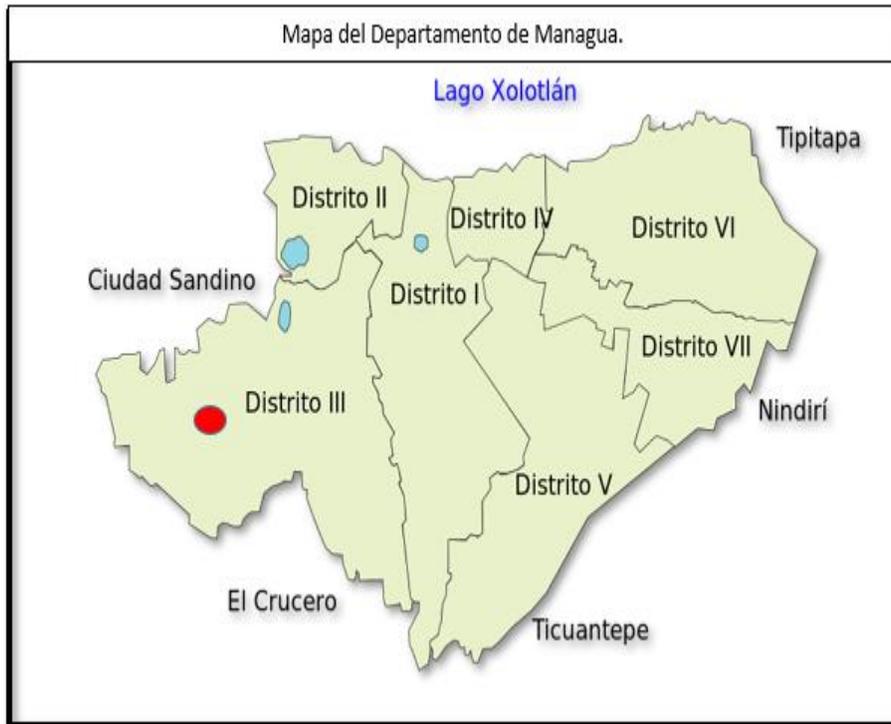
✚ Analizar el levantamiento topográfico del Tramo en Estudio, para definir la rasante óptima.

✚ Diseñar geoméricamente el Tramo en Estudio, aplicando las Normas del Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004).

✚ Diseñar los espesores de la Estructura de Pavimento Rígido tomando como referencia las normas AASHTO 93, y las normativas del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento Rígido (SIECA 2002).

## Ubicación del proyecto

### Macro Localización



## Micro Localización



## CAPITULO II: ESTUDIO DE TRANSITO



## **2.1. Introducción**

Con el estudio de tránsito se obtiene la información básica para el Diseño Geométrico y Estructural de la avenida en Estudio. La información consiste en la determinación del volumen y clasificación de los vehículos que transitan en el tramo de la avenida referida. Los datos obtenidos se proyectan hasta una vida útil, de 20 años.

## **2.2. Definiciones básicas.**

### **2.2.1. Volumen de tránsito.**

Es el número de vehículos que pasan un tramo de la vía en un intervalo de tiempo, sea hora o día.

### **2.2.2. Tránsito Promedio Diario (TPD).**

Es el promedio de los volúmenes de tránsito diarios registrados en un determinado periodo. Los más usuales son el tránsito promedio diario semanal (TPDS) y el tránsito promedio diario anual (TPDA).

### **2.2.3. Vehículos Ligeros o Livianos.**

Son vehículos de cargas o pasajeros, que tienen dos Ejes y cuatro ruedas. En esta denominación se incluyen los automóviles, camionetas, microbuses, motocicletas.

### **2.2.4. Vehículos Pesados.**

Son vehículo de cargas o pasajeros mayores a 3 toneladas, que tienen dos o más ejes y de 6 o más ruedas. En esta denominación se incluyen los camiones sencillos, autobuses, camiones de carga de 2 Ejes tipo C-2.

### **2.2.5. Vehículos Especiales.**

Son camiones y remolques especiales para transporte de carga pesada como troncos de madera, material mineral, maquinarias y otros productos voluminosos y densos.

### **2.3. Metodología.**

Para obtener la información del volumen y clasificación vehicular, se realiza, en forma manual, el conteo vehicular en el tramo de la avenida en estudio. De acuerdo al inciso 2.2, página 9 del anuario 2018 de aforos de tránsito del MTI para la avenida en estudio se aplica estaciones de corta duración y se realizan conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 am a 6:00 pm) por tres días consecutivos (martes, miércoles y jueves). A partir de este periodo se aplican los factores de ajustes.

Referencias básicas del conteo:

- Tramo de 460.209 metros de la Avenida, en la dirección N-S.
- Barrio Tierra Prometida.
- Estación del conteo 0+037.98 metros.
- Duración de 3 días consecutivos.
- En periodos de 6:00 am a 6:00 pm – 12 horas Ambos Sentidos.
- Aforo Inicial, el día Martes 3 de septiembre, 2019.
- Aforo final, el día Jueves 5 de septiembre, 2019.

Se tomó la opción de elegir una sola estación de conteo vehicular, la cual se ubica en la entrada principal del tramo en estudio, estación 0+037.98

Para la clasificación vehicular se tomaron de referencia las hojas elaboradas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) de Nicaragua. (Ver anexo, pág. I, tabla N°36)

## 2.4. Resultados de los Aforos de Tránsito.

Después de haber recopilado los datos de campo del conteo vehicular en el tramo de la avenida en estudio, podemos elaborar la siguiente tabla.

**Tabla N°1: Aforo Vehicular de 3 Días en ambos Sentidos. Del martes 03 al jueves 5, de septiembre del 2019.**

Tramo de 460.20 m: Barrio Tierra Prometida, Distrito III-Managua.			
HORA / SENTIDO	Martes	Miércoles	Jueves
06:00 am – 07:00 am	17	16	13
07:00 am – 08:00 am	25	24	31
08:00 am – 09:00 am	28	21	25
09:00 am – 10:00 am	25	25	31
10:00 am – 11:00 am	29	24	23
11:00 am – 12:00 am	22	25	20
<b>12:00 am – 01:00 pm</b>	<b>30</b>	26	24
01:00 pm – 02:00 pm	27	25	25
02:00 pm – 03:00 pm	27	24	23
03:00 pm – 04:00 pm	27	20	22
04:00 pm – 05:00 pm	26	30	23
05:00 pm – 06:00 pm	28	30	28
Volumen Diurno (Veh/12 horas)	<b>311 Veh</b>	290 Veh	288 Veh
Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD)= <b>30 veh. (martes 12:00 am – 01:00 pm).</b>			
Volumen Diurno Máximo (VDM)= <b>311 veh. (martes).</b>			

Fuente: Elaborado por los sustentantes.

En esta tabla se observa que el día martes 3 de septiembre ocurre el volumen horario de máxima demanda con 30 vehículos de 12:00 am a 01:00 pm y el Volumen total diurno con 311 vehículos.

### 2.4.1. Tráfico Promedio Diurno de 3 días (TPDi)

También se elaboró la tabla N°2 para la clasificación vehicular, respetando la hoja diseñada por el Ministerio de transporte e Infraestructura (MTI), la cual mostramos a continuación.

**Tabla N°2: Tráfico Promedio Diurno según la clasificación de Vehículos. Estación 0+037.98**

<b>Estación 0+037.98</b>										
<b>Tipo de Veh.</b>	<b>Vehículos Livianos</b>				<b>Pesados de Pasajeros</b>			<b>Pesados de Carga</b>		
<b>Día</b>	<b>Moto</b>	<b>Auto</b>	<b>Jeep</b>	<b>Cta</b>	<b>Mcb&lt; 15 P</b>	<b>Mnb&gt; 15 P</b>	<b>Bus</b>	<b>C-2</b>	<b>C-3</b>	<b>TOTAL</b>
martes	134	58	27	61	9	2	2	15	3	311
Miércoles	121	64	20	51	8	3	2	18	3	290
Jueves	118	60	26	53	7	3	2	17	2	288
Total	373	182	73	165	24	8		50	8	889
TPDi (12 horas)	124	61	24	55	8	3	2	17	3	296
TPDi (12 horas) %	41.96	20.47	8.21	18.56	2.70	0.90	0.67	5.62	0.90	100.00

Fuente: Elaborado por los sustentantes.

En el conteo de tránsito, se ha determinado el volumen de tránsito según la clasificación vehicular indicada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), obteniendo los resultados que se muestran en la tabla N°2.

En la tabla N°2 se resumen los volúmenes de tránsito, por cada tipo de vehículo durante los 3 días de Aforo con sus respectivos totales. Complementando la tabla N°2 se construye la gráfica N°11. (Ver anexo pág. I)

En particular es importante apreciar el Total Diurno para cada tipo y la totalidad de los vehículos, ya que con ello obtenemos el TPDi. Tráfico Promedio Diurno, dividiendo entre los 3 días de aforo en la semana.

Siendo que el volumen total de vehículos que transitan, durante los 3 días de Aforo en la semana, es de 889; el Transito Promedio Diurno será:

$$TPDi = \frac{889}{3} = 296 \text{ veh/12 hr} \quad \text{(Ecuación N° 1)}$$

En la tabla N°2, anteriormente mostrada, es notoria la relevancia del Tránsito de Vehículos Livianos, mayoritariamente Motos. En segundo orden los Automóviles y en tercer orden las Camionetas. Ello suma el 89.80% del volumen total.

En el restante 10.2% se tienen los vehículos pesados, entre ellos los Camiones C-2 Y C-3 y Autobuses. (Ver anexo, pág. II, gráfica N°12)

## 2.5. Cálculo del TPDA, Tránsito Promedio Diario Anual.

El Tránsito Promedio Diario Anual, TPDA, es un indicador que mide el uso o importancia de un camino o carretera. Este indicador se expresa en número de vehículos diarios en el periodo de un año.

Para el cálculo del TPDA se utilizan factores de ajustes para ampliar los volúmenes registrados en el conteo vehicular. Los factores de ajustes son 3:

- El Factor Día (FD): amplía el Tránsito Promedio Diurno de 12 horas al Tránsito Promedio Diario de 24 horas.
- El Factor Semana (FS): amplía el resultado obtenido para un periodo corto de tres días de la semana a los promedios semanales de siete días
- El Factor Expansión (FE): amplía el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual TPDA por tipo de vehículo.

El tráfico promedio diario anual TPDA, se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{TPDA} = \text{TPDi} \times \text{FD} \times \text{FS} \times \text{FE} \quad \text{(Ecuación N° 2)}$$

En que:

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual

TPDi: Tránsito Promedio Diurno

FD: Factor Día

FS: Factor Semana

FE: Factor Expansión

Los Factores de Ajustes se obtienen del Anuario Estadístico del (MTI) del año 2018. Estos factores de ajuste se aplican para estaciones (ECD o ECS) que dependen de la Estación de Mayor Cobertura (EMC). En consecuencia, la estación más confiable para la avenida en estudio es la Estación (EMC N° 401 MASYA-GRANADA).

Estos Factores de Ajustes se registran en la tabla N°3, mostrada a continuación.

**Tabla N°3: Factores de Ajustes Según Clasificación (EMC 401).**

Factor Según el Tipo de Vehículo	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga	
	Moto	Autos	Jeep	Cta	Mic.Bus	MB >15 P	Bus	C2 > 5 ton	C3
Factor Día	1.91	1.99	1.96	1.9	1.87	1.92	1.82	1.87	1.81
Factor Semana	0.99	1.05	1.06	1	0.95	0.95	0.96	0.87	0.86
Factor Expansión	0.99	1.00	1.06	0.97	1.05	1.04	0.97	1.14	0.99

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2018, MTI, pág.323.

Al aplicar los Factores de Ajustes al Transito Promedio Diurno TPDi obtenidos en la tabla N<sup>o</sup>2, anteriormente descrita, podemos construir la tabla N<sup>o</sup>4 de la que obtenemos el TPDA, Transito Promedio Diario Anual, para cada tipo de vehículo y para el volumen total.

**Tabla N<sup>o</sup>4: TPDA, Transito Promedio Diario Anual según la clasificación vehicular.**

Tipo de Vehículo	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga		TOTAL
	Moto	Autos	Jeep	Cta	Mic.Bus	Mb> 15 P	Bus	C2 > 5 ton	C3	
<b>TPDi</b>	<b>124</b>	<b>61</b>	<b>24</b>	<b>55</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>3</b>	<b>296</b>
Factor FD	1.91	1.99	1.96	1.9	1.87	1.92	1.82	1.87	1.81	
Factor FS	0.99	1.05	1.06	1	0.95	0.95	0.96	0.87	0.86	
Factor FE	0.99	1.00	1.06	0.97	1.05	1.04	0.97	1.14	0.99	
<b>TPDA</b>	<b>233</b>	<b>127</b>	<b>54</b>	<b>101</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>31</b>	<b>4</b>	<b>573</b>
<b>TPDA %</b>	<b>40.6%</b>	<b>22%</b>	<b>9.4%</b>	<b>17.7%</b>	<b>2.6%</b>	<b>0.9%</b>	<b>0.6%</b>	<b>5.4%</b>	<b>0.72%</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: Elaborado por los sustentantes.

## 2.6. Tasa de crecimiento vehicular (Tc).

Para obtener la tasa de crecimiento vehicular (Tc), en el tramo de la avenida en estudio se han utilizado los datos históricos del Transito Promedio Diario Anual (TPDA) de la Estación de Mayor Cobertura N<sup>o</sup>401 (EMC, Masaya Granada) por ser la Estación más confiable. (Ver anexo, pág. II, tabla N<sup>o</sup>36).

En la tabla N<sup>o</sup>5 se observan las variaciones de:

- Transito Promedio Diario Anual, TPDA obtenido en el MTI, Estación de Mayor Cobertura N<sup>o</sup>401 (EMC, Masaya Granada).
- Producto Interno Bruto, PIB obtenidos del Banco Central de Nicaragua
- Población POB, obtenidos del Banco Central de nicaragua.

Estas variaciones son obtenidas desde el año 2001 al año 2018, un periodo de 18 años.

Es notorio que los volúmenes de tránsito registrados en la tabla N°5 son desproporcionadamente más grande que los registrados en el Tramo de la Avenida en Estudio, sin embargo, son datos que se utilizan para tener una idea del crecimiento vehicular.

Para conocer la tasa de crecimiento vehicular (Tc) se utiliza frecuentemente la fórmula más frecuentemente usada.

$$Tc = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \quad \text{(Ecuación N° 3)}$$

En que:

Tc: Tasa de crecimiento de vehicular.

TPDA<sub>i</sub>: Tráfico Promedio Diario Anual del año actual

TPDA<sub>o</sub>: Tráfico Promedio Diario Anual del año base

n: Diferencia de años

Con los datos históricos de la Estación de Mayor Cobertura N°401 (EMC, Masaya Granada) referida en la tabla N°36 se tiene:

TPDA<sub>i</sub>=44706 (2018)

TPDA<sub>o</sub>=21498 (2001)

n=17

el resultado es:

$$Tc = 0.042 \times 100 = 4.20\%$$

Con este resultado el TPDA proyectado a 20 años es:

$$TPDA_{20} = 573 (1+0.042*20) = 573 (1.84) = 1054 \text{ veh/días en un año.}$$

573: TPDA total obtenido de la tabla N°4.

Se puede observar que el TPDA obtenido está comprendido 400-1500, por lo que se recomienda un ancho de calzada no mayor a 6.00 m. (Ver anexo, pág. III, tabla N°37)

Para fines de comparación se obtienen la tasa de crecimiento del PIB y del POB utilizando la misma ecuación N°3 y los datos correspondientes en anexo pág. II, tabla N°36.

- Los resultados de la tasa de crecimiento del PIB son los siguientes:

$$T_c = \left[ \left( \frac{13,844}{4,102} \right)^{1/17} \right] - 1$$

$$T_c = \left[ (3.3750)^{1/17} \right] - 1$$

$$T_c = [1.0742] - 1$$

$$T_c = 0.0742 * 100 = 7.42 \%$$

- Los resultados de la tasa de crecimiento del POB son los siguientes:

$$T_c = \left[ \left( \frac{6,394}{5,174} \right)^{1/17} \right] - 1$$

$$T_c = \left[ (1.2358)^{1/17} \right] - 1$$

$$T_c = [1.0125] - 1$$

$$T_c = 0.0125 * 100 = 1.25 \%$$

Es importante resaltar que la tasa de crecimiento vehicular para un periodo de 20 años para el TPDA es de **4.20%**. La tasa de crecimiento del PIB y del POB para el mismo periodo es de **7.42%** y **1.25%** respectivamente. Siendo el valor del POB compatible para la población del barrio en que se ubica la avenida en estudio, podemos concluir que la tasa de crecimiento obtenida para el TPDA del **4.20%** es razonable.

## CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELO



### **3.1. Introducción.**

En este trabajo monográfico, en que se presenta una propuesta para el Diseño Geométrico y Estructural de un Avenida residencial en el Barrio Lomas de San Judas del Distrito III de la Ciudad de Managua, consideramos necesario dar a conocer los datos obtenidos, del Laboratorio, las características físicas y mecánicas de los materiales, en el sitio del proyecto.

En lo que sigue, se presenta una breve descripción de los datos obtenidos. También, se explica los resultados y valoramos su incidencia en la calidad del sistema de pavimento.

### **3.2. Exploración y Muestreo.**

Los métodos de Exploración y Muestreo se aplican para tener un conocimiento razonable de las propiedades físicas y mecánicas, y la disposición de los materiales del subsuelo. A las operaciones de campo y de laboratorio, necesarias para obtener esta información, se le llama exploración de suelo. Debido a lo complejo de los depósitos naturales no hay un método de exploración específico que se adapte para todos los casos.

La importancia de la Exploración y el Muestreo de un suelo específico radican en la obtención de muestras que permita conocer las características físicas y mecánicas de un material por medio de pruebas de Laboratorio, las cuales son fundamentales para poder determinar los requerimientos del Proyecto, y así plantear las mejores soluciones posibles.

La Exploración y Muestreo que se realizó en la Avenida en estudio se conocen como Sondeos Manuales Sobre la Línea. Se realizaron 4 sondeos manuales con barra, pico y pala hasta alcanzar una profundidad de 1.50m.

En cada uno de los sondeos se obtuvieron muestras de materiales para cada uno de los estratos encontrados. De igual manera se realizaron exploración y muestreo en los bancos de materiales por medio de sondeos a profundidad.

Tanto los sondeos realizados "Sobre la Línea" cómo los realizados en los Bancos de Materiales "los Martínez" y "Hormigón Rojo" se registran en tablas elaboradas por el Laboratorio IMS (Ingeniería de Mecánica de Suelos) en año 2017. Ver página 21, Tabla N°5.

### **3.3. Sondeos Manuales Sobre la Línea.**

Con el fin de conocer los materiales que conforman la estructura del camino en estudio y determinar sus propiedades físicas y mecánicas básicas, se realizaron sondeos manuales sobre la longitud. Estos sondeos se ubican, de forma alterna, en el centro, en la izquierda y, a la derecha de la línea central de la Avenida. La longitud del tramo de la avenida en estudio es de 460.209m en la que ubican 4 sondeos, numerados del 1 al 4 y siguiendo el sentido Norte-Sur.

Los resultados de las investigaciones de estos sondeos se registran en tablas elaboradas por el Laboratorio de Materiales. Con estos resultados conocemos las propiedades de los materiales. La cantidad de muestras por sondeo está en función de la estratigrafía y sus espesores, en una profundidad de 150cm.

### **3.4. Clasificación de los Suelos.**

Hay una gran variedad de suelos que para identificar sus características generales es necesario recurrir a un lenguaje común que establecen las normas o estándares.

Para su clasificación se conocen dos sistemas:

Sistema de clasificación de los suelos según, ASTM D-3282, AASHTO M-145

Sistema de clasificación de los suelos según SUCS (ASTM D-2487)

### **3.4.1. Sistema de Clasificación AASHTO**

De acuerdo con este Sistema, el suelo es clasificado en siete grupos principales del A-1 hasta A-7.

Los suelos clasificados bajo los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales, menos del 35% de sus partículas pasan a través del tamiz N° 200.

Los Suelos clasificados bajo los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 son los que más del 35% de sus partículas pasan a través del tamiz N° 200.

Generalmente en los grupos A-1, A-2 y A-3 predominan los materiales gruesos como la grava y la arena y, en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 predominan los materiales finos como limo-arcilloso.

Es importante señalar que los materiales del grupo A-4, A-5, A-6 y A-7, normalmente tienen un 75% o más, que pasa el tamiz N° 200. También son materiales que experimentan grandes cambios de volumen entre los estados secos y húmedos y, en consecuencia, altamente compresibles.

### **3.4.2. Sistema Unificado de Clasificación del Suelo (SUCS).**

Este sistema está basado en la determinación, en Laboratorio, de la distribución del tamaño de partículas y además se determina, el límite líquido (LL) y el límite de plasticidad (LP). Este sistema de clasificación presenta las siguientes características:

### **3.4.3. Suelos de grano grueso**

Son aquellos materiales en que menos del 50% de sus partículas pasan el tamiz N° 200, generalmente en ellos predomina la grava y la arena.

#### **3.4.4. Suelos de grano fino**

Son aquellos materiales en que más del 50% de sus partículas pasan el tamiz N° 200, generalmente en ellos predominan los limo-arcillosos.

### **3.5. Propiedades Físicas de los Suelos.**

Las propiedades físicas de los suelos determinan, en gran medida, sus calidades para su uso y la elaboración de las especificaciones técnicas y el control de calidad durante la construcción. Algunas de estas propiedades, son las siguientes:

#### **3.5.1. Granulometría.**

La granulometría tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar, en porcentaje con respecto al peso total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene. Con ello se conoce la calidad de su composición.

#### **3.5.2. Contenido de humedad.**

El contenido de humedad determina, en porcentaje, la cantidad de agua que contiene un suelo, haciendo la relación entre el peso del agua que aloja y el peso de sus partículas sólidas.

#### **3.5.3. Limite líquido.**

El límite líquido (LL) es el porcentaje de humedad con que un suelo cambia, al disminuir su humedad, de la consistencia líquida a la plástica, o, al aumentar su humedad, de la consistencia plástica a la líquida.

## **Limite plástico.**

El límite plástico (LP) es el porcentaje de contenido de humedad con que un suelo cambia al disminuir su humedad de la consistencia plástica a la semisólida, o, al aumentar su humedad, de la consistencia semisólida a la plástica, y existen cambios de volumen.

Con los valores de (LL) y (LP) determinamos el Índice de Plasticidad (IP) que se define como la diferencia entre estos dos límites.

### **3.6. Resultado de las Pruebas de Laboratorio de las Propiedades Físicas de los Suelos Sobre la Línea.**

A continuación, se muestra la tabla “resultados de ensayos de suelo” con las propiedades físicas de los suelos obtenidos en las 13 muestras de materiales extraídos en los 4 sondeos Sobre la Línea. Los sondeos se realizaron hasta una profundidad de 150cm y un total de 13 muestras, una por cada estrato con espesores que varían desde 12 cm hasta 150 cm.

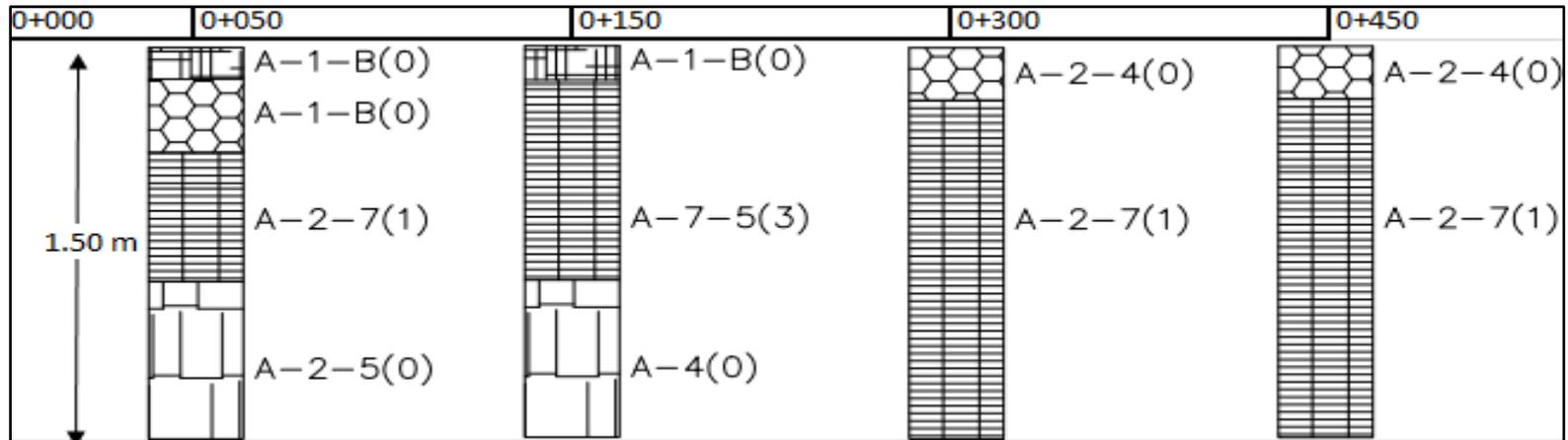
Con los datos registrados en esta tabla, elaboramos las curvas de la granulometría para cada uno de los estratos de los cuatros sondeo. (Ver anexo, pág. III-V, graficas N°13 a la N°17).

**Tabla N°5: Resultado de las Pruebas de Laboratorio de las propiedades físicas**

INGENIERIA MECANICA DE SUELOS, S.A. FECHA Marzo 2017 HOJA No. 1 PROYECTO: Investigación de los Suelos que servirán de Estructura de Pavimento para Revestimiento de Calles en el Distrito III (M Vial en Barrio Lomas de San Judas). SONDEOS: MANUALES RESULTADOS DE ENSAYES DE SUELOS																	
Estación	Desviación (m)	Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (cm)	GRANULOMETRIA										Límite %		Clasificación H.R.B.
					3"	2"	1 ½"	1"	¾"	3/8"	4	10	40	200	LL	IP	
0+050	Der.	1	1	0-12				100	92	83	71	54	29	17	-	NP	A-1-b(0)
N=1340253	1.10 m.		2	12-40				100	98	91	81	58	33	15	-	NP	A-1-b(0)
W=0575378			3	40-90				100	69	53	40	35	27	22	52	18	A-2-7(1)
			4	90-150				100	84	76	66	38	24	44	9		A-2-5(0)
0+150	LC	2	5	0-13			100	88	75	63	47	42	31	21	-	NP	A-1-b(0)
N=1340136			6	13-90					100	85	83	65	47	44	12		A-7-5(3)
W=0575400			7	90-150						100	93	71	43	-	NP		A-4(0)
0+300	lq.	3	8	0-20		100	91	83	69	53	41	31	22	15	33	9	A-2-4(0)
N=1339989	1.0 m.		9	20-150	100	92	83	69	64	56	47	42	35	27	49	20	A-2-7(1)
W=0575431																	
0+450	Der.	4	10	0-30				100	98	86	75	61	31	7	-	NP	A-1-b(0)
N=1339883	1.20 m.		11	30-100		100	93	89	72	57	47	41	32	26	44	17	A-2-7(1)
W=0575445			12	100-150			100	93	86	69	46	39	27	20	-	NP	A-1-b(0)

Fuente: ingeniería mecánica de suelos (IMS).

**Perfil Estratigráfico del Tramo de 460.209m de la Avenida en Estudio según la clasificación AASHTO.**



### **3.7. Observaciones sobre los resultados de la prueba de Laboratorio de las Propiedades Físicas de los Suelos Sobre la Línea.**

En los 4 sondeos manuales realizados, las muestras registran que la clasificación de suelos es de los grupos del A-1 al A-3, salvo dos muestras, la N°6 y N°7 del sondeo N°2. Ello significa que, en el tramo de la avenida predomina el material grueso y, en consecuencia, tiene composición estable.

### **3.8. Propiedades Mecánicas de los Suelos Sobre La Línea.**

Las propiedades mecánicas de los suelos, al igual que las propiedades físicas, son muy importante para conocer las condiciones de resistencia satisfactoria para su uso. También son básicas para la elaboración de las especificaciones técnicas y el control de calidad durante la construcción.

#### **3.8.1. Compactación Proctor.**

El ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad. Las normas para estos ensayos son:

Para Proctor Estándar Modificado ASTM D 1557, AASHTO T 180.

Para Proctor Estándar ASTM D 698, AASHTO T 99.

### 3.8.2. Valor soporte CBR.

El objetivo esencial para realizar este ensayo es determinar la máxima resistencia de un suelo que está sometido a esfuerzos cortantes, además evaluar la calidad relativa del suelo para ser usado como Subbase y Base de pavimento.

Estos ensayos miden la capacidad de los materiales, para resistir deformaciones. Existen diferentes métodos por medio de los cuales podemos determinar la resistencia de los suelos, que se someten a cargas dinámicas de tránsito, entre los cuales se utiliza el valor soporte (CBR), California Bearing Ratio. Para ello se siguen las siguientes normas:

CBR de campo ASTM D 4429.

CBR de laboratorio ASTM D 1883, AASHTO T 193.

La evaluación de las propiedades de la resistencia in situ del terreno de cimentación empleando métodos directos siempre es deseada, pero frecuentemente estos son engorrosos y costosos, como los ensayos CBR in situ y de placa. Debido a esto, se recurre a métodos indirectos, tales como el CBR de Laboratorio.

El ensayo de CBR mide la resistencia de un suelo, para poder evaluar la calidad del terreno para Base y Sub-Base de pavimento. Se efectúa bajo condiciones de humedad y densidad determinadas. De esta forma se obtiene las condiciones más críticas a las que un suelo puede ser sometido a las cargas de tránsito.

En el campo se realiza la prueba de placa para obtener directamente del terreno su resistencia a la deformación. En estos ensayos se aplica gradualmente una presión hasta introducir  $\frac{1}{2}$ " , midiendo los valores de la presión para cada deformación registrada. El resultado es una gráfica que se denomina "Curva de Penetración CBR para distintos tipos de suelos" la gráfica que resulta se compara con la curva patrón CBR y se determina su porcentaje.

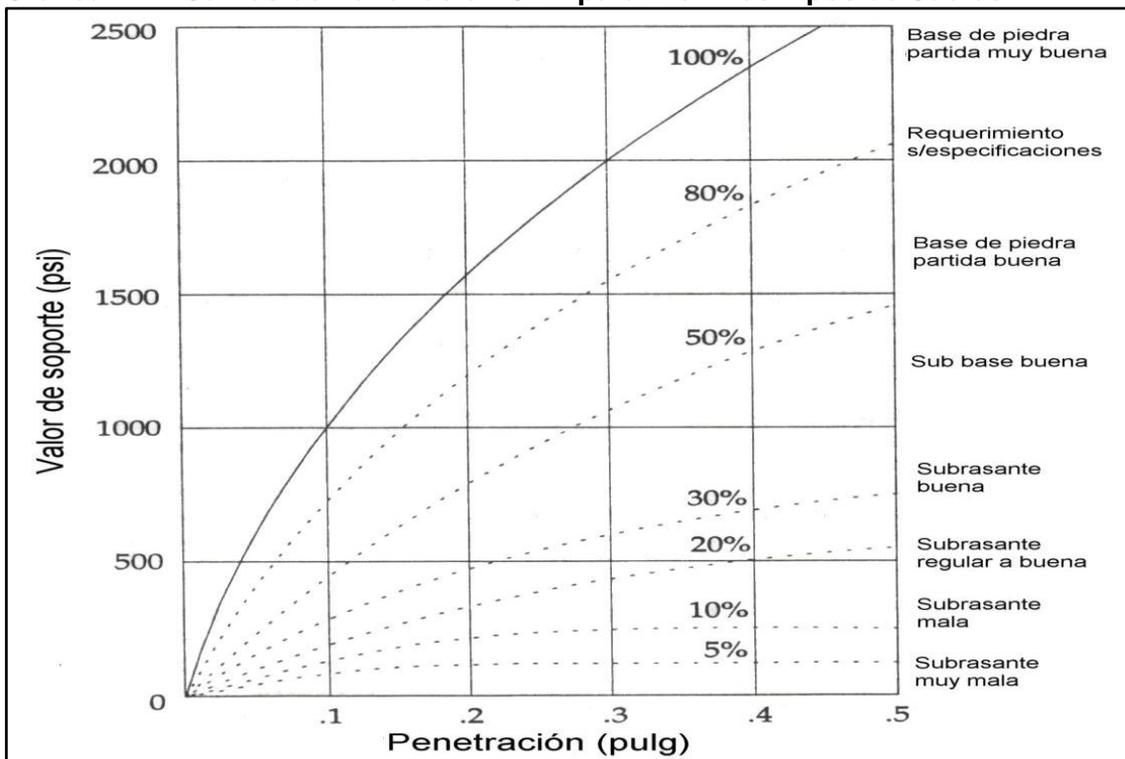
La prueba se realiza en una muestra compactada, a un contenido de humedad y densidad dada.

Dada la gráfica para el suelo en estudio, se puede obtener el CBR con la siguiente ecuación.

$$\text{CBR} = \frac{\text{carga que produce penetracion en el suelo de } 0.10''}{\text{carga que produce penetracion en la muestra patron de } 0.10''} \quad (\text{Ecuación N}^\circ 4)$$

Con esta ecuación se obtiene un porcentaje que es muy variable, desde 2 a 3% para arcillas plástica, hasta 70% para materiales granulares de buena calidad. En la gráfica N°8, se muestran curvas para distintos materiales y sus usos conforme los valores CBR. Puede observarse que para una subrasante buena es recomendable valores de CBR mayores al 20%.

**Gráfica N°1: Curvas de Penetración CBR para Distintos Tipos de Suelos.**



Fuente: Diseño de pavimento AASHTO 93.

### 3.9. Resultados de las Pruebas de las Propiedades Mecánicas de los Suelos Sobre la Línea.

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas CBR saturados de las muestras M7 del sondeo N°2 y de la muestra M12 del sondeo N°4.

Con los datos registrados en la tabla de los sondeos y muestras, elaboramos las curvas de penetración CBR de los estratos ensayados con sus respectivos porcentajes en relación a la curva patrón. (Ver anexo, pág. VI, gráfico N°18).

**Tabla N°6: Propiedades Mecánicas del Sondeo N°2**

FUENTE DEL MATERIAL				Sondeo No.2			
Profundidad (cm)				90-150			
Estación				0+150 LC			
TAMIZ	¾	3/8	4	10	40	200	
%QUE PASA			100	93	71	43	
TIPO DE PRUEBA EMPLEADA				PROCTOR ESTANDAR			
PESO VOLUM. SECO 34MAXIMO				1438 kgs/m <sup>3</sup>			
HUMEDAD OPTIMA				14.7 %			
PRUEBAS DE C.B.R. SATURADA							
METODO DE COMPACTACION EMPLEADO				DINAMICA			
% DE COMPACTACION				90	95	100	
PESO VOLUM. SECO (kgs/m <sup>3</sup> )				1294	1366	1438	
C.B.R. SATURADO				9	11	13	

Fuente: ingeniería mecánica de suelos (IMS).

**Tabla N°7: Propiedades Mecánicas del Sondeo N°4**

FUENTE DEL MATERIAL				Sondeo No.4		
Profundidad (cm)				100-150		
Estación				0+400 Der.		
TAMIZ	¾	3/8	4	10	40	200
%QUE PASA	86	69	46	39	27	20
TIPO DE PRUEBA EMPLEADA				PROCTOR ESTANDAR		
PESO VOLUM. SECO 35MAXIMO				1462 kgs/m <sup>3</sup>		
HUMEDAD OPTIMA				15.2 %		
PRUEBAS DE C.B.R. SATURADA						
METODO DE COMPACTACION EMPLEADO				DINAMICA		
% DE COMPACTACION				90	95	100
PESO VOLUM. SECO (kgs/m <sup>3</sup> )				1316	1389	1462
C.B.R. SATURADO				31	46	62

Fuente: ingeniería mecánica de suelos (IMS).

### 3.10. Observaciones sobre los Resultados de las Pruebas de las Propiedades Mecánicas de los Suelos Sobre la Línea.

El laboratorio de materiales seleccionó 2 de los 4 sondeos manuales para realizar la prueba CBR de la muestra compactada al 95%. Se seleccionaron el sondeo N°2 en que las muestra clasifican con material fino y el sondeo N°4 en que las muestras clasifican con material de composición gruesa y estable.

Las muestras obtenidas del sondeo N°2, registran un CBR del 11% con respecto al CBR patrón. Ello significa que el material califica como Regular para para subrasante.

La muestra obtenida del sondeo N°4, registra un CBR del 46%, con respecto al CBR patrón. Ello significa que el material clasifica como excelente para base y subbase.

### **3.11. Sondeos de los Bancos de Materiales.**

El Laboratorio IMS (Ingeniería de Mecánica de Suelos) nos informó que, de la misma manera que se hicieron sondeos sobre la línea, también se hicieron sondeos en los Bancos de Materiales conocidos como "Banco Selecto los Martínez" y "Banco Selecto Hormigón Rojo", ambos en las cercanías del proyecto. También nos informaron que con la mezcla de estos bancos se puede obtener un material de mejor calidad para aplicarlo en la avenida en estudio.

Como se ha explicado anteriormente, en las proximidades del proyecto, se han identificado dos Bancos de Materiales conocidos como "los Martínez" y Hormigón Rojo". El Laboratorio IMS (Ingeniería de Mecánica de Suelos) nos informo que de las varias pruebas realizada en la mezcla de los materiales proponen una mezcla de 40% de material del Banco Selecto los Martínez y 60% de Material del Banco Selecto Hormigón Rojo. El resultado de las propiedades físicas y mecánicas de esta mezcla se observan en la Tabla N°8.

### 3.11.1. Resultados de las Pruebas de Laboratorio de las Propiedades Físicas y Mecánicas de los Suelos de los Bancos de Materiales.

A continuación, mostramos los resultados con las propiedades físicas y mecánicas de los suelos obtenidos de las muestras de los Bancos de Materiales. Se obtuvo una muestra en el Banco "los Martínez" y una muestra en el Banco " Hormigón Rojo" y una mezcla de 40% del Banco "los Martínez" con un 60% del Banco " Hormigón Rojo".

De cada una de las muestras de los dos Bancos se obtuvieron las Propiedades Físicas, Clasificación de suelos y Granulometría y de la mezcla se agregan las Propiedades Mecánicas CBR. (Ver a continuación tabla N°10).

Con estos resultados se trazaron las gráficas correspondientes de la granulometría y la curva CBR. (Ver anexo, pág. VI-VII, grafica 19 a la 20).

**Tabla N°8: Propiedades Físicas y Mecánicas de la Mezcla del Bancos los Martínez y Hormigón Rojo.**

FUENTE DEL MATERIAL : Mezcla de Materiales de Base Banco Hormigón Pista Sub Urbana = 60% Banco Selecto, Los Martínez = 40%						
ANALISIS GRANULOMETRICO DE MATERIAL						
TAMIZ	¾	3/8"	4	10	40	200
%QUE PASA	80	72	57	27	11	5
LIMITE LIQUIDO : INDICE DE PLASTICIDAD <u>NP</u> CLASIFICACION S.U.C.S. <u>A-1-a(0)</u> EQUIVALENTE DE ARENA_						
TIPO DE PRUEBA EMPLEADA PROCTOR MODIFICADO						
PESO VOLUM. SECO MÁXIMO 1703 <b>kgs/m³</b>						
HUMEDAD OPTIMA 10.6%						
PRUEBAS DE C.B.R. SATURADA						
METODO DE COMPACTACION EMPLEADO:				DINAMICA		
% DE COMPACTACION				<b>90</b>	<b>95</b>	<b>100</b>
PESO VOLUM. SECO (kgs/m³)				1533	1618	1703
C.B.R. SATURADO				36	58	80
HINCHAMIENTO (%)				0.79	0.79	0.63
TIEMPO DE SATURACION (horas)				96	96	96

Fuente: ingeniería mecánica de suelos (IMS).

### **3.12. Observaciones sobre los resultados de las pruebas Físicas y Mecánicas de los Bancos de Materiales.**

En la mezcla de 40% del Banco de Materiales "Los Martínez" y 60% del Banco "Hormigón Rojo" predomina el material grueso y pertenece al grupo A-1 de la clasificación de suelos.

La muestra obtenida de la mezcla de material, 40% del Banco de Materiales "Los Martínez" y 60% del Banco "Hormigón Rojo", registra un CBR del 58% con respecto al CBR patrón. Ello significa que el material califica como excelente para Base y Sub-Base.

## **CAPITULO IV: LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.**



#### **4.1. Introducción.**

Para conocer la topografía del tramo de 460.209 metros de la avenida en estudio, hemos obtenido la información correspondiente en la Dirección General de Proyectos de la Alcaldía de Managua y realizado el reconocimiento del terreno en dicho tramo.

La Dirección General de Proyectos facilitó los planos topográficos en planta y perfil del eje de la avenida. Con los planos facilitados y la información obtenida en el reconocimiento del terreno, podemos determinar lo siguiente.

En el plano topográfico de la planta (Ver hoja de plano N<sup>o</sup>1, anexos VIII: planos topográficos – alcaldía) se tiene una poligonal abierta desde la estación 0+037.981 hasta la estación 0+460.209 en la dirección Norte Sur. Esta poligonal abierta define la línea o eje del camino. La avenida tiene un ancho total 26.00 metros. La poligonal abierta o línea central está situado 8.00 metros al Oeste y 18.00 metros Este. Es conveniente mencionar que en el costado Este existen construcciones de viviendas que no cumplen con las normas de construcción.

Por la cantidad de Puntos de Intersecciones PI en la poligonal abierta podemos proponer un trazo de la línea o Eje del camino con menos PI.

En los planos topográfico del perfil (Ver hoja de plano N<sup>o</sup>1, anexos VIII: planos topográficos – alcaldía) puede observarse que el terreno, es plano sin ondulaciones y con pendientes menores al 10%.

## **4.2. Metodología.**

El levantamiento topográfico fue realizado por la Alcaldía de Managua. Conforme la información de los planos el tramo en estudio comprende desde la Est. 0+037.981 hasta la Est. 0+460.209. Estos planos topográficos se analizaron con el objeto de mejorar el trazo del camino.

## **4.3. Planimetría.**

### **4.3.1. Alineamiento Horizontal.**

En la planta de los planos topográficos (Ver hoja de plano N<sup>o</sup>1, anexos VIII: planos topográficos – alcaldía) el trazo del camino es una poligonal abierta comprendida entre la estación 0+000 la estación 0+460.209. El tramo del camino objeto de esta monografía da inicio desde la tercera estación 0+037.981 hasta la estación final 0+460.209. Esto significa que la longitud total de la avenida 422.228 metros. La estación de inicio es la intersección de la avenida en estudio con la calle marginal de la pista Juan Pablo II.

La estación 0+000 es una estación de referencia ubicada en la pista Juan Pablo II. La información topográfica del eje o línea del camino se detalla en la tabla N<sup>o</sup>9 y tabla N<sup>o</sup>10.

**Tabla N°9: Cálculos de los Rumbos utilizando las coordenadas existentes X, Y.**

Cálculos de los Rumbos utilizando las coordenadas existentes X, Y.						
Estación	Coordenadas UTM		cálculo con formula			
	X	Y	$\Delta X_{i-j}$	$\Delta Y_{i-j}$	$\Delta X_{i-j}/\Delta Y_{i-j}$	$R_{i-j} = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta X_{i-j}}{\Delta Y_{i-j}}\right)$
0+000	574086.77	1340100.3	-0.7708	4.101	-0.188	S10° 38' 44.9"E
0+004.187	574087.55	1340096.2	-6.2498	33.2262	-0.188	S10° 39' 9.56"E
0+037.981	574093.79	1340062.9	-24.1083	128.1737	-0.188	S10° 39' 8.48"E
0+168.403	574117.9	1339934.8	-12.1286	64.1939	-0.189	S10° 41' 57.01"E
0+233.732	574130.03	1339870.6	-7.6746	33.9376	-0.226	S12° 42' 32.85"E
0+268.527	574137.71	1339836.6	-12.2895	64.6286	-0.190	S10° 45' 59.69"E
0+334.314	574150	1339772	-9.8207	63.9158	-0.154	S8° 44' 6.78"E
0+398.979	574159.82	1339708.1	-7.4583	41.036	-0.182	S10° 18' 3.87" E
0+440.688	574167.27	1339667	-8.7144	17.4674	-0.499	S26° 30' 51.78"E
0+460.209	574175.99	1339649.6				

Fuente: Elaborado por los sustentantes.

El procedimiento para el cálculo de los rumbos es el siguiente.

$$R_{i-j} = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta X_{i-j}}{\Delta Y_{i-j}}\right) \quad \text{(Ecuación N° 5)}$$

En que:

$R_{i-j}$  = Rumbo.

$\tan^{-1}$  = Tangente inversa.

$\Delta X_{i-j}$  = Diferencia de las coordenadas en X

$\Delta Y_{i-j}$  = Diferencia de las coordenadas en Y

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados del levantamiento topográfico del tramo en estudio. (Ver Tabla N°10 a continuación).

**Tabla N°10: Levantamiento Topográfico del Tramo en Estudio**

Estación	Longitud (m)	Rumbo	Coordenadas UTM		
			X	Y	Z
0+000		S10° 38' 44.9"E	574086.7743	1340100.257	151.67
0+004.187	4.187	S10° 39' 9.56"E	574087.5451	1340096.156	151.21
0+037.981	33.794	S10° 39' 8.48"E	574093.7949	1340062.93	152.66
0+168.403	130.422	S10° 41' 57.01"E	574117.9032	1339934.756	157.65
0+233.732	65.329	S12° 42' 32.85"E	574130.0318	1339870.562	163.68
0+268.527	34.795	S10° 45' 59.69"E	574137.7064	1339836.625	166.28
0+334.314	65.787	S8° 44' 6.78"E	574149.9959	1339771.996	168.57
0+398.979	64.665	S10° 18' 3.87" E	574159.8166	1339708.08	109.66
0+440.688	41.709	S26° 30' 51.78"E	574167.2749	1339667.044	170.54
0+460.209	19.521		574175.9893	1339649.577	171.43

Fuente: Elaborado por los sustentantes.

#### 4.3.2. Curvas de nivel.

En la planta del plano topográfico (Ver hoja de plano N°1, anexos VIII: planos topográficos – alcaldía) se reflejan las curvas de nivel del tramo de la avenida en estudio. También se reflejan las elevaciones de los puntos de intersecciones del eje del camino con las curvas de nivel.

#### 4.3.3. Pendientes

Conforme las observaciones de las curvas de nivel en la planta de los planos topográficos (Ver hoja de plano N°1, anexos VIII: planos topográficos – alcaldía) se elaboró la tabla N°11 en la que se describen las pendientes por secciones del tramo.

**Tabla N°11: Pendientes por secciones del tramo**

ESTACIONES		Pendiente (%)	Tipo de terreno (Según Sieca-2004)
Inicio (metros)	Fin (metros)		
0+037.981	0+168.403	3.826%	PLANO
0+168.403	0+233.732	9.230%	MONTAÑOSO
0+233.732	0+268.527	7.472%	MONTAÑOSO
0+268.527	0+334.314	3.481%	PLANO
0+334.314	0+398.979	1.686%	PLANO
0+398.979	0+440.688	2.110%	PLANO
0+440.688	0+460.209	4.559%	PLANO
Promedio		2.852%	PLANO

Fuente: Elaborado por los sustentantes.

Para el cálculo de las pendientes se utilizó la siguiente fórmula.

$$P = \frac{\text{Elev.B}-\text{Elev.A}}{d} * 100 \quad (\text{Ecuación N}^\circ 6)$$

En la que:

P: Pendiente.

Elev: Elevaciones.

D: Distancia Horizontal.

De la tabla N°11 podemos resaltar lo siguiente:

- La pendiente máxima es de 9.230%, entre la estación 0+168.403 y la 0+233.732.
- La pendiente mínima es de 1.686%, entre la estación 0+334.314 y la 0+398.979 (Ver Tabla N°11).

#### 4.3.4. Pozos de Visitas Sanitarios.

En las plantas de los planos topográficos (Ver hoja de plano N°1, anexos VIII: planos topográficos – alcaldía) se representa la ubicación de los pozos de visitas sanitarios en el tramo de la avenida en estudio. En estos pozos de visitas están determinadas las elevaciones de cada uno de ellos. Este dato es muy importante para la determinación del nivel de la superficie de rodamiento.

En la tabla N°12 se muestran los detalles más importantes de los 6 pozos identificados.

**Tabla N°12: Levantamiento de los Pozos de Visita Sanitarios dentro del tramo en estudio.**

Pozos de Visita Sanitarios						
N° de Poso	P. N° 1	P. N° 2	P. N° 3	P. N° 4	P. N° 5	P. N° 6
Estación	0+458.954	0+334.7517	0+225.3035	0+162.68	0+102.799	0+033.156
Elevación	171.35	168.51	162.99	158.20	155.18	152.65
Material	RIBLOT	RIBLOT	RIBLOT	RIBLOT	RIBLOT	RIBLOT
Diámetro (Pulg)	6"	6"	6"	6"	6"	6"
Pendientes y Distancias entre los P.V.S.						
N° de Poso	P.1 - P.2	P.2 - P.3	P.3 - P.4	P.4 - P.5	P.5 - P.6	
Pendiente %	2.287	5.043	7.649	5.043	3.633	
Distancia (m)	124.2033	109.4482	62.6235	59.881	69.643	

Fuente: Elaborado por los sustentantes.

#### 4.3.5. Intersecciones con calles

En la planta de los planos topográficos se observa que la avenida en estudio tiene intersecciones con 3 calles con orientación hacia el Oeste. Las estaciones de estas intersecciones son las siguientes:

Calle N°1 Est. 0+334.314; calle N°2 Est. 0+398.879 y calle N°3 Est. 0+0460.209.

#### **4.4. Elaboración de Planos.**

Con la información recopilada en la visita de campo y planos topográficos suministrado por la alcaldía de Managua se elaboraron los planos planta-perfil N°1, N°2 y N°3. En estos planos se muestran el eje del camino, los límites del derecho de vía, los PI encontrados a lo largo de la poligonal abierta, el perfil longitudinal con sus elevaciones y pendientes y propuesta de rasante. De la misma manera se elaboraron los planos para mostrar secciones transversales con los numerales del N°4 al N°8. Todos los planos referidos corresponden a las hojas de planos N°1, N°2, N°3, N°4, N°5, N°6, N°7 y N°8. (Ver anexos IX: planos topográficos)

## CAPITULO V: DISEÑO GEOMÉTRICO



### **5.1. Introducción.**

De acuerdo a las observaciones generales que hemos obtenido en el estudio de tránsito, en el reconocimiento del terreno y en el levantamiento topográfico, podemos proponer el mejoramiento del Eje del tramo de la avenida en estudio. La propuesta tiene el propósito de lograr una rasante con reducido movimiento de tierra y de fácil ejecución. La propuesta también contempla el dimensionamiento de una sección transversal constante con su ancho de calzada, su cuneteado y su banqueta peatonal.

### **5.2. Metodología.**

Para la elaboración del Diseño Geométrico se adoptarán las especificaciones del Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004) y la bibliografía disponible.

Las Normas de Diseño se definen con los criterios aportados por los diseñadores. Referente al Diseño Horizontal, se definirá directamente de acuerdo con la topografía que mejor se ajuste al terreno.

### **5.3. Clasificación Funcional.**

En el caso del tramo de la Avenida en Estudio, se clasifica como colectora secundaria.

### **5.4. Datos de Tránsito.**

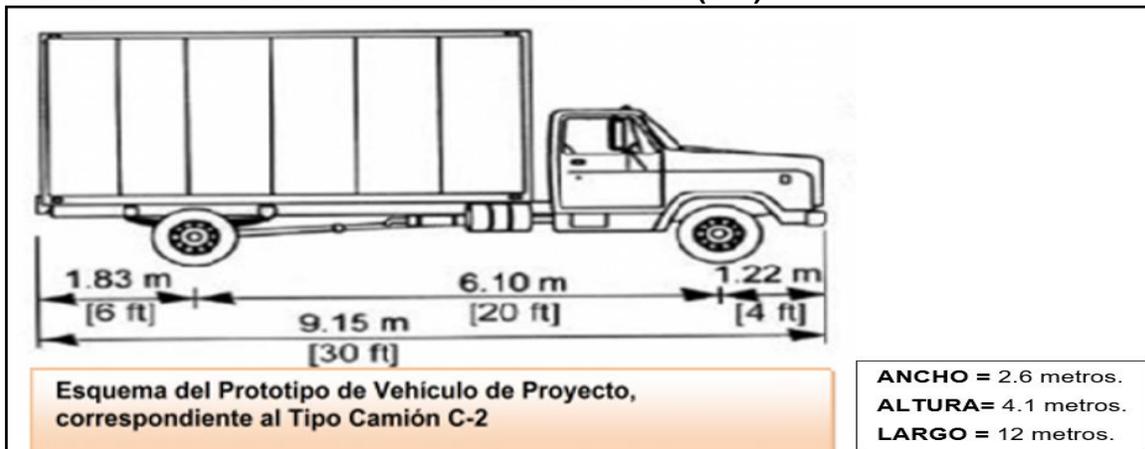
En el estudio de tránsito se registra un volumen bajo, siendo un máximo volumen Horario de 31 vehículos, un TPDi de **296** y, un TPDA proyectado a 20 años de **573**. (Ver tablas N°2 y tabla N°4)

### 5.5. Vehículo de Diseño.

De la misma manera en el conteo de tránsito se observa que la presencia mayoritaria es de los vehículos Livianos. A la vez se aprecia la poca circulación de vehículos de tipo C-2.

Hemos considerado, conservadoramente, utilizar para el diseño el vehículo Tipo C-2. El eje trasero de este vehículo pesa 8.40 toneladas y sus dimensiones se presenta en la gráfica N°2.

**Grafica N°2: Dimensiones del Vehículo de Diseño (C-2).**



Fuente: Normas SIECA, 2da Edición 2004

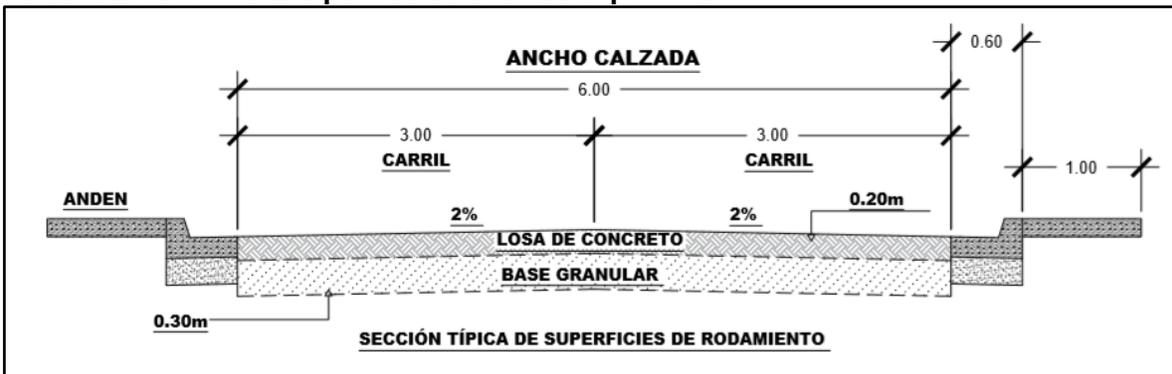
### 5.6. Velocidad de Diseño (Vd).

Las características topográficas, la clasificación del tránsito y las características físicas de la avenida en estudio nos permitieron establecer una velocidad de Diseño de 40 KPH (Kilómetros por Hora). La escogencia de esta velocidad permite contar con beneficios económicos, un mejor servicio y seguridad a los usuarios.

## 5.7. Sección Transversal Típica de Diseño.

El esquema que a continuación se presenta corresponde a la sección transversal típica de Diseño establecida para el Tramo de la avenida en estudio. Según las normas de diseño referida en la mitología refiere para un TPDA entre 400-1500 y una velocidad de diseño de 40 km/hora, la superficie de rodamiento tendrá un ancho de 6 metros, con dos carriles de 3 metros cada uno.

**Grafica N°3: Sección Típica Transversal Propuesta.**



Fuente: Elaborado por los sustentantes.

### 5.7.1. El ancho de la vía.

El ancho total de la vía comprende el ancho de la superficie de rodamiento más las cunetas para alcanzar un ancho total 7.20 metros. En la sección transversal también reflejamos el ancho de los andenes de 1.00 metros.

### 5.7.2. Pendiente transversal de calzada.

Para la colectora secundaria se puede utilizar Pendiente transversal entre 1.5% y 3%. Siendo que la superficie de rodamiento es de concreto rígido proponemos una pendiente transversal o bombeo del 2%.

### 5.7.3. Cunetas Tipo Pie o Cordón.

El drenaje superficial debe ser muy efectivo para evacuar rápidamente las aguas de la superficie del pavimento y evitar que éstas se infiltren dentro de la estructura del pavimento. Proponemos un ancho de cuneta de 0.50metros.

### 5.8. Pendientes Obtenidas.

Según la tabla N°11 la pendiente mínima es de 2.852% y la pendiente máxima es de 10.986%.

### 5.9. Distancias Recomendadas por el Manual de la SIECA 2004.

Con el objeto de lograr mayor seguridad y establecer las señalizaciones adecuadas hemos considerado conveniente obtener del manual de la SIECA 2004, las distancias que se recomiendan para carreteras. Aclaramos que las características de la avenida en estudio son muy diferentes a las características de las carreteras. Estas distancias se definen a como sigue:

#### 5.9.1. Distancia Mínima de visibilidad de Parada (Dvp).

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido. La distancia de visibilidad de parada en su primer componente (D1) y la distancia de frenado (D2) se calculan de la siguiente manera:

$$D1 = 0.278 (v * t) \quad \text{(Ecuación N° 7)}$$

$$D2 = \frac{v^2}{254 f} \quad \text{(Ecuación N° 8)}$$

En que:

v = Velocidad inicial, kilómetros por hora.

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

f = coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y superficie de rodamiento.

En la Tabla N°13 se presenta un resumen de distancias de visibilidad de parada y de frenado de acuerdo con la velocidad de diseño.

**Tabla N°13: Distancias de visibilidad de parada y de frenado en terreno plano.**

Velocidad de Diseño Km/h	Velocidad de Marcha Km/h	Tiempo de Percepción y Reacción		Coeficiente de Fricción f	Distancia de Frenado (m)	Distancia de Parada para (m)
		Tiempo (s)	Distancia (m)			
30	30 - 30	2.5	20.8 - 20.8	0.40	8.8 - 8.8	30 - 30
40	40 - 40	2.5	27.8 - 27.8	0.38	16.6 - 16.6	45 - 45
50	47 - 50	2.5	32.6 - 34.7	0.35	24.8 - 28.1	57 - 63
60	55 - 60	2.5	38.2 - 41.7	0.33	36.1 - 42.9	74 - 85
70	67 - 70	2.5	43.8 - 48.6	0.31	50.4 - 62.2	94 - 111
80	70 - 80	2.5	48.6 - 55.6	0.30	64.2 - 83.9	113 - 139
90	77 - 90	2.5	53.5 - 62.4	0.30	77.7 - 106.2	131 - 169
100	85 - 100	2.5	59.0 - 69.4	0.29	98.0 - 135.6	157 - 205
110	91 - 110	2.5	63.2 - 76.4	0.28	116.3 - 170.0	180 - 246

Fuente: SIECA, Manual Centroamericano "Normas Para El Diseño Geométrico de Las Carreteras Regionales" 2ª edición, P 4-28.

Con la velocidad de diseño seleccionada, en la tabla N°13 obtenemos la siguiente información:

- Velocidad de Diseño: 40 km/hora.
- Tiempo de reacción: 2.5 segundos.
- Distancia de reacción (estimada): 27.8 metros.
- Coeficiente de fricción: 0.38.
- Distancia de frenado (estimada): 16.6 metros.

La Distancia de Visibilidad de parada Dvp se calculó con la siguiente fórmula:

$$DVP = [0.278 (v * t)] + \left[ \frac{v^2}{254 f} \right] \quad (\text{Ecuación N° 9})$$

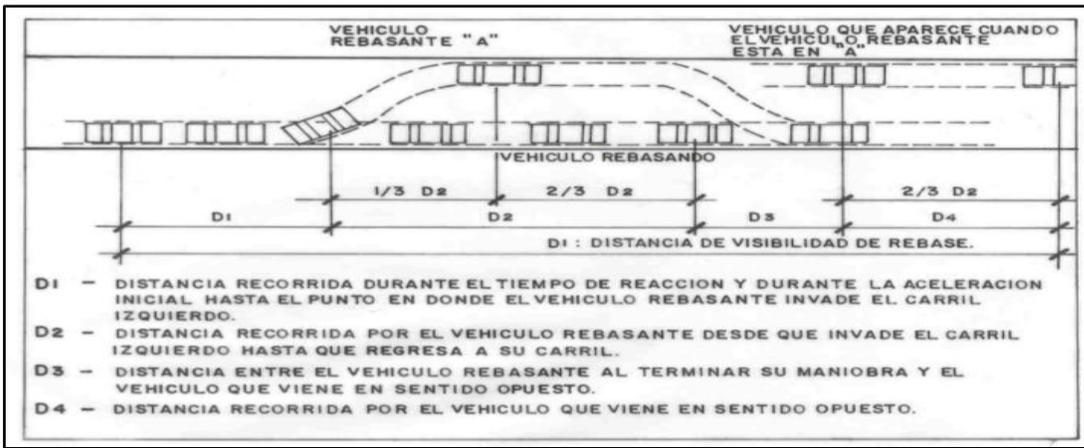
El resultado es:

DVP = **45** metros

### 5.9.2. Distancia de visibilidad de adelantamiento (Dva).

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. (Ver Grafica N°4 a continuación)

Grafica N°4: Maniobra de Adelantamiento.



Fuente: Introducción a la Ingeniería de Caminos.

Tabla N°14: Distancia de Visión para Adelantar en base a la Velocidad de Diseño.

Velocidad de Diseño	Velocidades Km/h		Distancia mínima de adelantamiento (m)
	Vehículo que es rebasado	Vehículo que rebasa	
30	29	44	220
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	410
70	59	74	480
80	65	80	540
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	730

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 13.

Con la velocidad de diseño seleccionada, en la tabla N°14 obtenemos la siguiente información:

- Velocidad de Diseño: **40** km/hora.
- Velocidad del que Rebasa: 51 km/hora.
- Distancia mínima de adelantamiento: 285 metros

Como puede verse las recomendaciones para una velocidad de Diseño de 40 km/hora se requiere una distancia mínima de adelantamiento de **285** metros según la tabla N°19.

Con este resultado para el tramo de la Avenida en Estudio lo indicado es que la señalización de Transito indique que la Velocidad máxima de circulación sea de 40 km/hora y la prohibición de no adelantamiento o rebase, a menos que el vehículo a rebasar este detenido.

#### **5.10. Diseño del Alineamiento Horizontal.**

El alineamiento horizontal es una proyección sobre un plano horizontal en el cual se representa el Eje de la avenida y lo componen tangentes y curvas. La intersección de dos tangentes horizontales de mandan la intervención de una curva para eliminar el vértice que se origina entre ellas, la cual servirá de unión entre las dos tangentes y deberá ajustarse a la topografía del terreno.

La topografía de la línea central, originalmente facilitada por la alcaldía, se ha modificado con el objeto de facilitar el diseño del alineamiento horizontal. En la modificación se tiene solamente una intersección o PI entre dos tangentes ósea una curva horizontal

#### **5.11. Elementos y fórmulas para el diseño de curvas horizontales**

Las curvas circulares horizontales son arcos de curvas circulares de un radio que armonice con la topografía del terreno.

### 5.11.1. Sobreelevación máxima (e) y coeficiente de fricción (f).

Para dar seguridad y economía a la operación del tránsito, se han introducido factores limitantes en los métodos de diseño del alineamiento horizontal, como la tasa de sobreelevación máxima o peralte máximo (**e**) y coeficientes de fricción (**f**). Para seleccionar los valores de (**e**) y (**f**) se tiene como referencia la tabla N°15 del SIECA 2004. Por la similitud con los países del salvador y honduras se seleccionado un peralte máximo **e=4%** y un coeficiente de fricción **f= 0.17**.

Tabla N°15: Valores máximo de “e” y “f”.

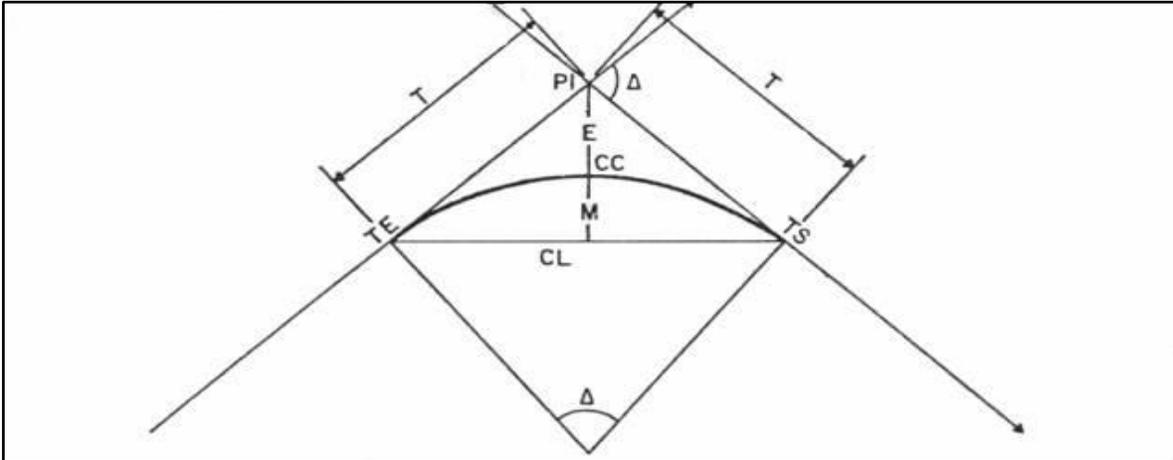
País	e	f	Velocidad de Diseño km/h	Tipo de Carreteras
Gran Bretaña	0.06	0.15	100	Especiales
	0.07	0.10	120	Autopistas
Estados Unidos	0.08	0.14	80	Rurales
	0.12	0.10	110	Rurales
Alemania	0.06	0.04	160	Autobahn-Terreno plano
		0.10	100	Autobahn-Terreno montañoso
Malasia	0.10	0.15	95	Camino Rural
Honduras	0.04	0.18	30	Rurales
	0.10	0.13	100	Autopistas suburbanas
El Salvador	0.04	0.17	30	Urbanas y Rurales
	0.10	0.11	110	Autopistas Suburbanas y Rurales

Fuente: SIECA 2004.

### 5.11.2. Radio Mínimo (Rmin).

En la poligonal abierta del Eje modificado de la avenida en Estudio se puede identificar el punto de intersección PI de dos tangentes y el ángulo de deflexión  $\Delta$ . (Ver grafica N°5)

### Grafica N°5: Elementos para el diseño de curvas horizontales



Fuente: Diseños de caminos (Ing., Salvador Ayestas Camacho) (julio 2012)

A través de investigaciones y experiencia de la AASHTO (American Association of state Highway and Transportation officials), se ha llegado a la siguiente fórmula para determinar el radio mínimo Rmin.

$$R_{\min} = \frac{0.00878V_d^2}{\frac{P_{\max}}{100} + f_{\max}} \quad \text{(Ecuación N° 10)}$$

En que:

**Vd**, velocidad de diseño = 40 km/hora

**Pmax = (e)**, peralte máximo = 4%

**Fmax = (f)**, coeficiente de fricción lateral máximo = 0.17

Con la formula obtenemos el siguiente resultado:

**Rmín = 60 m**

Para fines de ilustración del diseño de curvas horizontales utilizaremos la gráfica N°5 y el valor del radio de la curva horizontal, R = 60 metros.

La ilustración comprende el diseño de la curva horizontal en la estación 0+440 en la que se encuentra el vértice o punto de intersección de dos tangentes y cuya deflexión es  $\Delta = 16^\circ 12' 47''$ .

### 5.11.3. Longitud de la curva

Conociendo el ángulo entre las tangentes de la curva o deflexión  $\Delta$  y con el radio de la curva  $R$ , se determina la longitud de la curva por medio de una relación geométrica.

$$L_c = \Delta^{\circ} * R = \frac{\Delta^{\circ} * \pi}{180} R \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 11)$$

En que:

$\Delta^{\circ}$ : deflexión =  $16^{\circ} 12' 47'' = 16.217^{\circ}$

$R$ : radio de la curva = 60 m

Con la formula obtenemos el siguiente resultado:

$$L_c = 17 \text{ m}$$

### 5.11.4. Longitud de la Tangente.

La longitud de la tangente se determina por la siguiente relación geométrica.

$$T = R * \tan \frac{\Delta^{\circ}}{2} \quad (\text{Ecuación N}^{\circ} 12)$$

En que:

$R$ : radio de la curva = 60 m

$\Delta^{\circ}$ : ángulo de deflexión =  $16^{\circ} 12' 47'' = 16.217^{\circ}$

Con la formula obtenemos el siguiente resultado:

$$T = 8.55 \text{ m}$$

### 5.11.5. Longitud de la cuerda

La longitud de la cuerda se calcula por la siguiente relación geométrica:

$$CL = 2 * R * \text{Sen} \frac{\Delta^{\circ}}{2} \quad \text{(Ecuación N}^{\circ}\text{ 13)}$$

En que:

R: radio de la curva= 60 m

$\Delta^{\circ}$ : ángulo de deflexión=16° 12' 47" = 16.217°

Con la formula obtenemos el siguiente resultado:

$$CL= 16 \text{ m}$$

Puede observarse que la longitud de la curva, la longitud de la tangente y la longitud de la cuerda son directamente proporcionales al radio de la curva. Por tanto, manteniendo el valor de la deflexión  $\Delta$  y aumentando el radio de la curva, las longitudes mencionadas crecen. Esto nos permite proponer la curva horizontal más conveniente para el tránsito vehicular y las características del terreno.

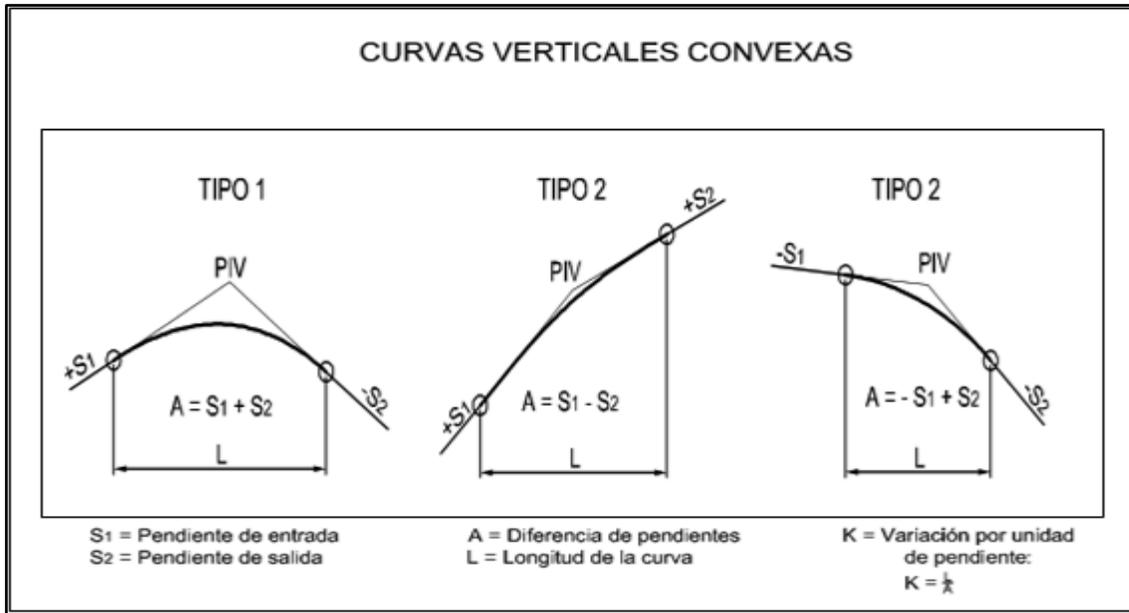
### 5.12. Alineamiento Vertical.

La topografía del terreno y la ubicación de la obra son factores fundamentales en el alineamiento vertical. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificando las pendientes ascendientes (+) y descendientes (-), expresadas usualmente en porcentajes. Aparte de las consideraciones de estética, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los siguientes factores: Visibilidad, Composición del tránsito y Relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo.

### 5.12.1. Elementos y fórmulas para el diseño de Curvas Verticales.

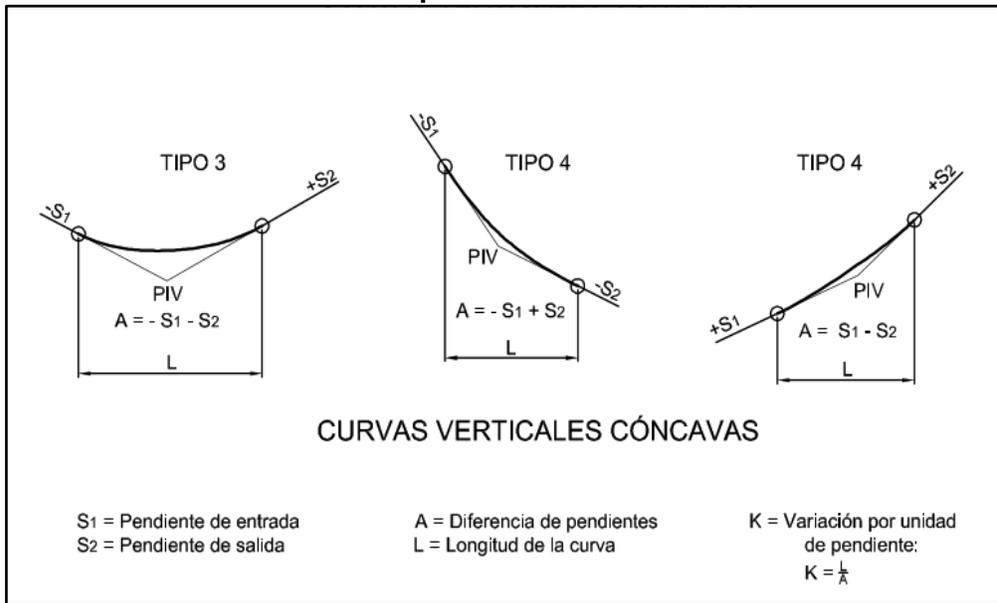
Las curvas verticales pueden tener su concavidad hacia arriba o hacia abajo. Las curvas cóncavas hacia arriba se denominan Curvas en Cresta, y las curvas cóncavas hacia abajo se llaman Curvas en Columpio. (Ver graficas N°6 y N°7).

Gráfica N°6: Curvas en Cresta o Convexas.



Fuente: OSPINA, 2002.

### Grafica N°7: Curvas en Columpio o Cóncavas.



Fuente: OSPINA, 2002.

Dentro de estos tipos de curvas verticales, el diseñador geométrico tiene la opción de calcular las curvas como curva vertical simétrica o curva vertical asimétrica; estas opciones dependen del presupuesto del proyecto, características del terreno, estética y criterios de diseño que se estén tomando en cuenta.

#### 5.12.2. Cálculo de curvas verticales en cresta.

Datos conocidos del levantamiento topográfico:

- Elevación y estación del PIV.
- Pendientes
- Velocidad de diseño. (Estudio del tráfico.)

Determinación de la Longitud de la Curva Vertical:

$$L = K * A$$

(Ecuación N° 14)

Si:  $S < L$  (Formulada tomada de la AASHTO)

$$K = \frac{s^2}{450}$$

(Ecuación N° 15)

En que:

L: Longitud de la cuerda

K: Relación de curvatura vertical.

A: Diferencia algebraica de las pendientes.

S: Distancia de visibilidad de parada.

**Tabla N°16: Relación de curvatura vertical en cresta con la distancia de visibilidad de parada.**

Velocidad de Proyecto (km/h)	Distancia de Visibilidad de Parada Mínima	K = Relación de Curvatura Vertical.	
		Longitud en metros por % de variación de A.	
30	30	2	2
35	40	3.6	4
<b>40</b>	<b>45</b>	<b>4.5</b>	<b>5</b>
45	55	6.7	7
50	60	8	8
55	70	10.9	11
60	75	12.5	13
65	85	16.1	16
70	90	18	18
75	100	22.2	22

Fuente: Especificaciones Generales para Proyectos Geométricos de Camino de Penetración.

Criterio de comodidad:

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{V_D^2}{395} \quad \text{(Ecuación N° 16)}$$

$$L \geq \frac{V_D^2 \cdot A}{395} \quad \text{(Ecuación N° 17)}$$

En que:

A en %.

Criterio de Apariencia:

$$K = \frac{L}{A} \geq 30 \Rightarrow L \geq 30 \cdot A \quad \text{(Ecuación N° 18)}$$

En que:

A en %.

Criterio de drenaje:

$$K = \frac{L}{A} \leq 43 \Rightarrow L \leq 43 \cdot A \quad \text{(Ecuación N° 19)}$$

En que:

A en %.

Los resultados se ajustan a lo recomendado por la Sieca, tal y como se muestra en la Tabla N°17.

**Tabla N°17: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta.**

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)*	Tasa de curvatura vertical, K, long (m) por % de G*
30	30-30	30-30	3-3	217	50
40	40-40	45-45	5-5	285	90
50	47-50	60-65	9-10	345	130
60	55-60	75-85	14-18	407	180
70	67-70	95-110	22-31	482	250
80	70-80	115-140	32-49	541	310
90	77-90	130-170	43-71	605	390
100	85-100	160-205	62-105	670	480
110	91-110	180-245	80-151	728	570

Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana ,2004

### 5.12.3. Cálculo de Curvas verticales en columpio.

$L \geq S$  S: Distancia de visibilidad de parada, mts; L: Longitud de curva, mts; A: Diferencia Algebraica.

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3.5S} \quad \text{(Ecuación N° 20)}$$

L: en metros

$$K = L/A = \frac{A^2}{120 + 3.5S} \quad \text{(Ecuación N° 21)}$$

Calculando el valor de K para una velocidad 40 km/hora

$$K_{40} = \frac{(40)^2}{120 + (3.5(40))} = 6.15$$

Para verificar, se consultaron las siguientes Tablas N°18 y N°19, y se comprobó que el diseño y consideraciones del proyecto coinciden con las cifras de las tablas.

Se observa que las condiciones de cálculo es que la distancia de la curva sea igual o mayor que la distancia de visibilidad de parada y las tablas de SIECA consideran distancias de visibilidad de parada y rebase.

**Tabla N°18: Relación de curvatura vertical en columpio con la distancia de visibilidad de parada.**

Velocidad de Proyecto (km/h)	Distancia de Visibilidad de Parada mínima	K = Relación de Curvatura Vertical.	
		Longitud en m por % de Variación de A.	
		Calculado	Redondeado
30	30	3.5	4
35	40	5.5	6
<b>40</b>	<b>45</b>	<b>6.5</b>	<b>7</b>
45	55	8.8	9
50	60	9.9	10
55	70	12.3	12
60	75	13.6	14
65	85	16.1	16
70	90	17.3	17
75	100	19.9	20

Fuente: Especificaciones Generales para Proyectos Geométricos de Camino de Penetración.

**Tabla N°19: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio.**

Velocidad de diseño Km/h	Rango de velocidad de marcha Km/h	Coeficiente de fricción	Valores DVP (m)		Factor K de diseño *
			Menores	Mayores	
30	30-30	0.40	30	30	4.4
40	40-40	0.38	45	45	8.8
50	47-50	0.35	60	65	11-12
60	55-60	0.33	75	85	15-18
70	63-70	0.31	95	110	20-25
80	70-80	0.30	115	140	25-32
90	77-90	0.30	130	170	30-40
100	85-100	0.29	160	205	37-51
110	91-110	0.28	180	245	43-62

Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana ,2004.

### 5.13. Resultados del Alineamiento Horizontal y Vertical.

#### 5.13.1. Resultados obtenidos del alineamiento Horizontal.

En el eje de la avenida en estudio se determinó una curva horizontal, cuyas características se detallan en la Tabla N°20.

**Tabla N°20: Curva Horizontal Trazada.**

Estación	Coord. X		Coord. Y
PC	574159.8166		1339708.08
PI	574167.2749		1339667.044
PT	574175.9893		1339649.577
Radio (m)	60	Delta	16° 12' 47"
LC (m)	17	Tangente (m)	8.55
CL (m)	16	VR (Kph)	39
VD (Kph)	40	Sa (m)	1.70
eD	4.0%	N (m)	8
LT (m)	17		

Fuente: Elaborado por los sustentantes.

#### 5.13.2. Resultados obtenidos del alineamiento Vertical

Se proyectaron 3 PIV (Punto de Intersección Alineamiento Vertical) en los cuales se trazaron 3 curvas verticales, 2 son en columpio y 1 en cresta. Aplicando las ecuaciones del N°18 al N°25, se obtienen los resultados indicados en la tabla N°21.

**Tabla N°21: Datos de Curvas Verticales Proyectadas.**

N° Curva	1	2	3
Tipo de Curva	Columpio	Cresta	Columpio
PCV	0+063.15	0+178.37	0+351.63
PIV	0+120.39	0+238.37	0+381.63
PTV	0+177.63	0+298.37	0+411.63
Longitud (metros)	114.5	120.0	60.0
A	7.36	6.74	1.65
K	15.554	17.804	36.363
P1	1.61	6.03	0.36
P2	-5.75	-0.71	-1.29
ELEV.1	154.45	161.88	169.25
ELEV.2	156.06	167.91	169.61
ELEV.3	161.81	168.62	170.9

Fuente: Elaborado por los sustentantes.

**Tabla N°22: Resumen de Criterios Finales de Diseño.**

ITEM	DESCRIPCIÓN / PARAMETRO.	ABREVIATURA	UNIDAD DE MEDIDA	VALORES.
1	Clasificación Funcional.		colectora secundaria	
2	Ancho de la Vía.	ADV	metros	<b>9.20</b>
3	Tipo de Terreno		Plano/ Ondulado	
4	Velocidad de Diseño.	VD	KPH	<b>40.00</b>
5	Velocidad de Ruedo.	VR	KPH	<b>39.00</b>
6	Vehículo de Proyecto.	Veh.	Tipo.	<b>C2</b>
7	Distancia entre ejes	Lee	metros	<b>6.10</b>
8	Distancia de Visibilidad de Parada	DVP	metros	<b>45.00</b>
9	Distancia de Visibilidad de Rebase.	DVR	metros	<b>285</b>
10	Coefficiente de Fricción Lateral.	f1	S/U	<b>0.17</b>
11	Radio de Curvatura Mínimo.	Rm	metros	<b>60.00</b>
12	Grado de Curvatura Máximo.	GC	G. Min. Seg.	<b>19° 5' 55.2"</b>
13	Número de Carriles de Rodamiento.	Nc	Unid.	<b>2.00</b>
14	Ancho Carril de Rodamiento.	AC	metros	<b>3.00</b>
15	Ancho Total de Rodamiento.	AR	metros	<b>6.00</b>
16	Ancho de Corona.	AC	metros	<b>6</b>
17	Pendiente Transversal (Bombeo).	B	%	<b>2.00</b>
16	Cunetas tipo Pie	CT	metros	<b>0.60</b>
19	Sobreelevación Máxima (Peralte).	emax.	0.04%	<b>4.00</b>
20	Pendiente Relativa.	mr	%	<b>0.72 (1/138)</b>
21	Sobre ancho Máximo en Curvas Horizontal.	Smax	metros	<b>1.10</b>
22	Sobre ancho Mínimo en Curvas Horizontal.	Smin	metros	<b>0.60</b>
23	Superficie-carpeta de Rodamiento.	Srod.	Tipo.	<b>Pavimento rígido (4,000 PSI)</b>

**Fuente: Elaborado por los Sustentantes.**

## CAPITULO VI: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO



## 6.1. Introducción

Para determinar el espesor de Pavimento Rígido intervienen varios factores. Unos están relacionados al trazo del Camino, sean la Topografía y otros factores relacionados a la carga vehicular, las características del suelo y a las características de material de la capa de rodamiento.

En el reconocimiento del terreno y la información obtenida, la avenida, objeto de nuestro trabajo monográfico, es una obra existente en una zona residencial, por tanto, tiene definido el trazo del camino y el ancho de la avenida. Este ancho es determinado por el volumen de tránsito expresado en TPDA.

Identificadas las características topográficas de la avenida y su ubicación en zona residencial, los factores que tomamos en cuenta para proponer el espesor de pavimento rígido son: La carga vehicular, las características físicas y mecánicas del suelo y las características del material con que se construirá la capa de rodamiento.

En cuanto a la carga vehicular, en el capítulo correspondiente al Censo de Tráfico se identificó la carga vehicular máxima, proyectada a 20 años, del vehículo C-2. Según la clasificación vehicular del Ministerio de Transporte e Infraestructura, MTI, el vehículo C-2 transmite a la capa de Rodamiento una carga total de 12.60 toneladas (12,600 kg). 4.20 toneladas en el Eje delantero y 8.40 toneladas en el Eje trasero; es decir 4.20 toneladas por cada llanta trasera.

En cuanto a las características físicas y mecánicas de los suelos, en el capítulo correspondiente al estudio de suelo se explica que a lo largo de los 460.209m de la avenida se realizaron 4 sondeos manuales.

En dicho capítulo se detallan ampliamente los resultados obtenidos de las muestras de todos y cada uno de los sondeos.

Los resultados reportados de las pruebas realizadas en las muestras de materiales en los sondeos Sm-1, Sm-2, Sm-3 y Sm-4 indican que los suelos tienen una composición estable y una resistencia satisfactoria en relación al patrón CBR de California. En resumen, en el tramo de 460.209m de la avenida en estudio tenemos material del suelo satisfactorio para soportar la Base del sistema de pavimento.

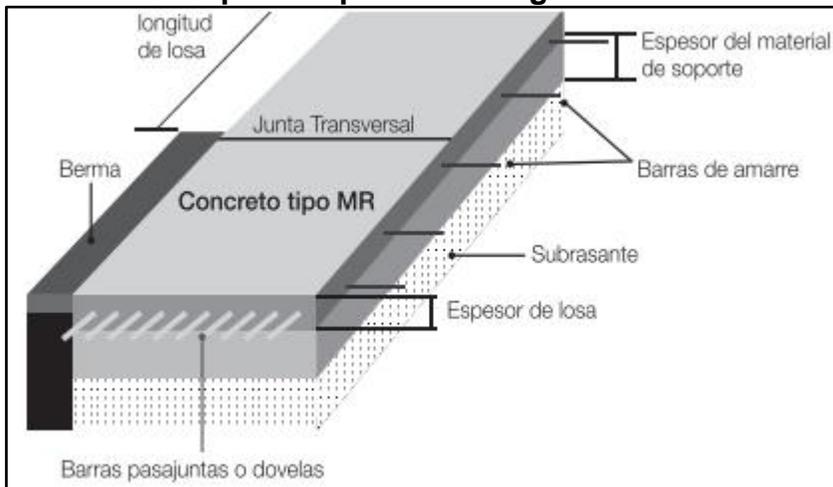
Esta condición excluye las muestras del sondeo Sm-2, lo que obliga a realizar otro sondeo y verificar las pruebas para hacer el mejoramiento pertinente previo a la construcción.

Para el mejoramiento se conocen las buenas características Físicas y Mecánicas de los bancos de Materiales "Los Martínez" y "Hormigón Rojo"

## 6.2. Diseño de pavimento Rígido

Las superficies de rodamiento de pavimento rígido se construyen con losas de concreto cuya función es soportar y transmitir la carga vehicular que sobre ella actúa. Las losas de concreto se colocan sobre material preparado que funciona como subbase. El espesor de la losa de concreto más el espesor de la Sub-Base conforman lo que se conoce como Estructura o Sistema de Pavimento, Mostrado a continuación Figura N°8.

**Grafica N°8. Capas del pavimento rígido.**



Fuente: Ministerio de transporte, instituto nacional de vías

La **Losa (superficie de rodadura)** es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

La **Subbase** es el material colocado sobre la subrasante cuya función fundamental es soportar y distribuir las cargas rodantes, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. El material colocado para la subbase, también tiene el propósito de proveer drenaje y estabilidad a la losa de concreto. En la colocación del material de la subbase debe tenerse el cuidado de aplicar capas sucesivas cuyo espesor no sea mayor a 15 cm.

La **Subrasante** es el material sobre el cual se construirá la estructura o sistema de Pavimento, por tanto, debe ser capaz de soportar las cargas transmitidas por dicha estructura. Durante la construcción deben verificarse las calidades físicas y mecánicas del material según el estudio de suelo.

### **6.3. Metodología de Diseño**

En esta monografía se propone como capa de rodamiento, el pavimento rígido o pavimento de concreto. El concreto utilizado debe alcanzar una resistencia a la ruptura  $f_c'$ , a los 28 días de fabricado, de 4000 PSI o 280 kg/cm<sup>2</sup>.

Manteniendo el valor de  $f_c'$ , puede disminuirse el tiempo de endurecimiento o mejorar la trabajabilidad de la mezcla con los aditivos correspondientes y según los requerimientos del dueño del proyecto.

Una vez verificadas las calidades físicas y mecánicas de los suelos en el tramo de la avenida en estudio, podemos determinar el espesor de la capa de concreto, en función básicamente de la carga vehicular y la calidad del concreto aplicado, entre otros factores. Para ello hemos consultado las normativas referenciales, particularmente la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), el Manual de la SIECA del año 2002 y los procedimientos de la ACI. En estas consultas también obtuvimos información sobre el Diseño de espesores de pavimento rígido aplicables a recolectora secundaria tal como el Tramo de la Avenida en Estudio.

## 6.4. Propuesta del Espesor de Pavimento Rígido Método AASHTO-93.

En nuestro trabajo monográfico tenemos como referencia la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), para determinar el espesor de la losa de concreto D en pavimentos rígidos. Dicha referencia establece la siguiente fórmula con sus respectivos parámetros de diseños:

(Ecuación N° 22)

1986-93 Ecuación de Diseño de Pavimentos Rígidos

$$\log_{10} (E18) = \left\{ \begin{array}{l} Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10} (D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{4.5-1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} \\ + (4.22 - 0.32 \times p_t) \times \log_{10} \left[ \frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[ \frac{D^{0.75}}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right] \end{array} \right.$$

Labels in the diagram:

- Desviación Estándar Normal (points to  $Z_r$ )
- Error Estándar Combinado (points to  $S_o$ )
- Espesor (points to  $D$ )
- Diferencia de Serviciabilidad (points to  $\Delta \text{PSI}$ )
- Serviciabilidad Final (points to  $p_t$ )
- Módulo de Ruptura (points to  $S'_c$ )
- Coefficiente de Drenaje (points to  $C_d$ )
- Coefficiente de Transmisión de Cargas (points to  $J$ )
- Módulo de Elasticidad (points to  $E_c$ )
- Módulo de Reacción (points to  $k$ )
- Tráfico (points to  $E18$ )

Estos parámetros son los siguientes:

**W<sub>82</sub>**: Número previsto de ejes equivalentes a lo largo del período de diseño.

**Z<sub>r</sub>**: Desviación normal estándar.

**S<sub>o</sub>**: Error estándar combinado en la producción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

**D**: Espesor de la losa de concreto del pavimento rígido (**asumido**).

**ΔPSI**: Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

**P<sub>t</sub>**: Índice de servicio final.

**M<sub>r</sub>**: Resistencia media del concreto a la tensión, debido a la flexión a los 28 días de fabricados.

**C<sub>d</sub>**: Coeficiente de drenaje.

**J**: coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

**E<sub>c</sub>**: Módulo de elasticidad del concreto.

**K**: Módulo de reacción de la superficie en la que se apoya el pavimento de concreto.

La súper facie de apoyo es (la base, subbase o subrasante).

### 6.4.1. Obtención de los valores de los Parámetros de diseño a considerar

- La desviación normal estándar  $Z_r$  la determinamos según la confiabilidad en el diseño  $R$  con forme la tabla N°29 y N°30

**Tabla N°23: Niveles de confiabilidad (R) en función del tipo de carretera.**

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad (R)	
	Sub-urbanas	Rurales
Autopista Regional	85-99.9	80-99.9
Troncales	80-99	75-95
<b>Colectoras</b>	<b>80-95</b>	<b>50-80</b>

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, SIECA, 2001.

**Tabla N°24: Relación de confiabilidad y el valor ( $Z_r$ )**

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar $Z_r$
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
<b>75</b>	<b>-0.674</b>
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 para diseño de estructura de pavimentos, AASTHO-93

Siendo el tramo en estudio de la avenida, una colectoras secundaria, tomamos como valor de confiabilidad **R=75%**. Con este valor podemos observar en la tabla **N°30** que el parámetro **Zr=-0.674**

- El error estándar combinado **So** lo determinamos según las recomendaciones de las normas.

Para pavimento rígido se toman valores entre **0.30-0.40**. Específicamente en el caso de diseño de pavimento rígido **So=0.35**.

La diferencia entre los índices inicial y final **ΔPSI** se determina tomando como índice de servicio inicial **Po=4.50** para pavimento rígido. Para índice de servicio final se tomó el valor de **Pt=1.80**, que corresponde a colectoras secundaria según la tabla N°31. **ΔPSI=4.50-1.80=2.70**

**Tabla N°25: Valor de la serviciabilidad final**

Características de la vía	Valores de (Pt)
Autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico	2.5 - 3.0
Autopista urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas	2.0 - 2.5
<b>Vías locales, ramales, secundarias y agrícolas</b>	<b>1.8 - 2.0</b>

Fuente: guía para diseño de estructura de pavimentos, AASTHO

La resistencia media del concreto a tensión lo hemos obtenido de acuerdo a la norma del ACI en que **S`c=0.15\*4000 = 600psi = 42kg/cm2**

- El coeficiente de drenaje lo determinamos siguiendo las recomendaciones de las tablas N°26 y N°27, en la que calificamos el drenaje como bueno y un tiempo de exposición a la humedad entre 5%-25%, **Cd=1.10**.

**Tabla N°26: Calidad del drenaje**

Calidad del drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
<b>Bueno</b>	<b>1 día</b>
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy Malo	El agua no evacua

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

**Tabla N°27: Valores de coeficiente de drenaje (C<sub>d</sub>)**

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximas a la saturación.			
	Menor de 1%	1% - 5%	5% - 25%	Más del 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
<b>Bueno</b>	1.20-1.15	<b>1.15-1.10</b>	1.10-1.00	1.00
Mediano	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Malo	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy Malo	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

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

- El coeficiente de transmisión de carga en las juntas **J** lo determinamos en función de la calidad y colocación de los pasadores en las juntas de las losas de concreto del pavimento rígido. De esa manera seleccionamos el coeficiente de acuerdo a la tabla N°28 en la que seleccionamos para el concreto un valor entre **2.50 y 3.10; J=2.80**.

**Tabla N°28: Valores de coeficiente de transmisión de carga (J)**

Hombro					
Elemento de transmisión de carga					
		Concreto asfáltico		Concreto hidráulico	
Tipo de pavimento	Si	No	Si	No	
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 - 4.4	<b>2.5 - 3.1</b>	3.6 - 4.2	
Reforzado continuo	2.9-3.2	-	2.3-2.9	-	

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993. Cap.7 Pág. 59

El coeficiente de transmisión de carga considera el esfuerzo de transferencia a través de la junta o grieta como se observa en las siguientes figuras.

- El módulo de elasticidad del concreto **E<sub>c</sub>** lo determinamos correlacionado con la resistencia a la compresión **f<sub>c</sub>**.

$$E_c = 21000\sqrt{f_c} = 21\ 000\sqrt{4000} = 1\ 328\ 1557\ \text{psi} \quad \text{(Ecuación N° 27)}$$

- El módulo de reacción de la superficie **K** corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento, según el tipo de suelo.

Tabla N°29: Tipos de suelo de subrasante y valores aproximados de k.

TIPOS DE SUELO	SOPORTE	RANGO DE VALORES DE K (PCI)
Suelo de grano fino en el cual el tamaño de las partículas de limo y arcilla predominan	Bajo	75 – 120
Arenas y mezclas de arena con gravas, con una cantidad considerable de limo y arcilla	Medio	130 – 170
Arenas y mezclas de arena con grava, relativamente libre de finos.	Alto	180 – 220
Subbase tratada con cemento	Muy alto	250 - 400

Fuente: Salazar Rodríguez Aurelio. Guía para diseño y construcción de pavimentos rígidos

- En el caso del suelo de la avenida en estudio que se encuentra libre de finos hemos seleccionado un valor de **K=180**.

#### 6.4.2. Calculo ESAL´S de diseño.

Para el cálculo del **ESAL´S** de diseño se utilizaron las siguientes tablas:

Tabla N°30: Tránsito de carril de diseño para el cálculo del ESAL´S

<i>Transito de carril de diseño para el cálculo del ESAL´S</i>							
<i>Tipo de vehiculos</i>	<i>Transito Actual (2018)</i>	<i>F.C.</i>	<i>Dias del año</i>	<i>Transito de diseño</i>	<i>Factor por carril(Fc)</i>	<i>Factor de Dirección (Fs)</i>	<i>Transito para el carril de diseño</i>
Autos	127.00	30.41	365	1,409,655.55	0.50	1.00	704,828
Jeep	54.00	30.41	365	599,381.10	0.50	1.00	299,691
Camionetas	101.00	30.41	365	1,121,064.65	0.50	1.00	560,533
McBus<15 pas	15.00	30.41	365	166,494.75	0.50	1.00	83,248
MnBus 15-30 pas	5.00	30.41	365	55,498.25	0.50	1.00	27,750
Bus	3.00	30.41	365	33,298.95	0.50	1.00	16,650
C2 5 +ton	31.00	30.41	365	344,089.15	0.50	1.00	172,045
C3	4.00	30.41	365	44,398.60	0.50	1.00	22,200
<b>Total</b>							<b>1,886,945</b>

Fuente: elaborado por los sustentantes

Tabla N°31: cálculo del ESAL´S del carril de diseño.

Calculo ESAL´S del carril de diseño								
Asumimos un número estructural (SN=5), Pt=2.0								
Tipo de vehiculos	Peso X eje(Ton.me)	Peso X eje (Kips)	Tipo de eje	To. 2019	TD	TD corregido	Factor ESAL	ESAL de diseño
Autos	1.00	2.20	Simple	127	704,828.00	704,828	0.00020	141
	1.00	2.20	Simple				0.00020	141
Jeep	1.00	2.20	Simple	54	299,691.00	299,691	0.00020	60
	1.00	2.20	Simple				0.00020	60
Camionetas	1.00	2.20	Simple	101	560,533.00	560,533	0.00020	112
	2.00	4.40	Simple				0.0020	1121
McBus<15 pas	2.00	4.40	Simple	15	83,248.00	83,248	0.0020	166
	4.00	8.80	Simple				0.0350	2914
MnBus 15-30 pas	4.00	8.80	Simple	5	27,750.00	27,750	0.0350	971
	8.00	17.60	Simple				1.0000	27750
Bus	5.00	11.00	Simple	3	16,650.00	16,650	0.0800	1332
	10.00	22.00	Simple				2.32	38628
C2.5 +ton	5.00	11.00	Simple	31	172,045.00	172,045	0.0800	13764
	10.00	22.00	Simple				2.32	399144
C3	5.00	11.00	Simple	4	22,200.00	22,200	0.0800	1776
	16.50	36.30	Doble				2.42	53724
<b>Total ESAL´S de diseño(W18)</b>								<b>541,804</b>

Fuente: elaborado por los sustentantes

A continuación, explicamos el contenido de las tablas N°31 y N°30 mostradas anteriormente.

- **To:** Es el tránsito actual o TPDA obtenido en la Tabla N°4.
- **FC:** Factor de crecimiento para una vida estimada de n=20 años que se obtiene de la siguiente fórmula:

$$F.C = \frac{((1+i)^n - 1)}{i} \quad \text{(Ecuación N° 23)}$$

$$i=4.20\%=0.042, n=20$$

resultado:

$$F.C. = 30.41$$

- Días del año = **365**
- **TD:** Transito de Diseño para dos carriles. se obtiene con la siguiente formula:

$$\mathbf{TD = T_o * FC * 365} \quad \mathbf{(Ecuación N^o 24)}$$

- **Fc:** Factor carril = 0.50
- **Fd:** Factor dirección= 1.00
- **TDC:** Transito para el carril de Diseño

$$\mathbf{TDC = TD * Fc * Fd} \quad \mathbf{(Ecuación N^o 25)}$$

- **Factor ESAL´S:** Son estándar para los ejes traseros y delanteros para los distintos tipos de vehículos que transitan la superficie de rodamiento.
- **ESAL´S de diseño:** Se calcula con la siguiente operación:

$$\mathbf{ESAL´S \text{ de diseño} = TDC * \text{Factor ESAL´S}} \quad \mathbf{(Ecuación NO 26)}$$

El **ESAL´S** total se obtiene sumando los ESAL´S obtenidos para cada uno de los ejes de los tipos de vehículos que transitan la avenida. **ESAL´S total E18 = 541,804.**

#### **6.4.3. Resultado obtenido de la aplicación de la Formula AASHTO-93 y comparada con el ESAL´S total.**

Una vez determinado los parámetros de diseño, indicados anteriormente y proponiendo un espesor de losa de concreto  $D=4.50 \text{ pulg} = 11.43 \text{ cm}$ , con la **(Ecuación N° 22)**, obtenemos el siguiente Resultado.

$$\mathbf{\text{Log}_{10} (E18) = 5.72}$$

Por otra parte, tomando el valor del **ESAL´S total** obtenemos:

$$\text{Log}_{10} ( 541,804 ) = 5.73$$

Este resultado nos indica que el valor supuesto del espesor de pavimento  $D= 4.50$  pulg = 11.43 cm, es correcto. Es decir, el espesor de la losa podría diseñarse con un espesor  $D= 4.50$  pulg.

Las especificaciones AASHTO recomienda que el espesor de la losa de concreto para pavimento rígido no debe ser menor de 13 cm = 5.12 pul. Con esta información procedimos a investigar otras fuentes y encontramos el Manual de Diseño de Pavimento de concreto, editado por el Ministerio de Transporte de la República de Colombia. Este manual está respaldado por la AASHTO versión 1993.

#### **6.5. Recomendaciones del Manual AASHTO para espesores de losas de concreto en pavimento rígido. (Manual editado por República de Colombia)**

Este manual considera que en el diseño del pavimento es necesario tener en cuenta varios elementos, de los cuales los más importantes son el tránsito vehicular, las características del suelo y la calidad del material de la superficie de rodamiento.

En base de lo anterior se definen las siguientes variables y se indican en las correspondientes tablas.

- Las categorías de tránsito **T** que se consideró para el diseño del pavimento se indica en la Tabla N°32.
- El tipo de vía, se refiere a la clasificación según su importancia. La avenida en estudio es una vía secundaria Vs.
- El TPDS, es el promedio diario, obtenido del conteo de una semana, de los vehículos que pasan por una sección de la vía  $\text{TPDS}= 296$  veh/sem.

- Ejes acumulados de 18 kips, son los ejes equivalentes que pasan por el carril de diseño durante 20 años, **ESAL'S total=541,804**

**Tabla N°32: Categorías de tránsito para la selección de espesores**

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T <sub>0</sub>	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1'000.000
T1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1'000.000 a 1'500.000
T2	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1'500.000 a 5'000.000
T3	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5'000.000 a 9'000.000
T4	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9'000.000 a 17'000.000
T5	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17'000.000 a 25'000.000
T6	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25'000.000 a 100'000.000

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto. Ministerio de transporte república de Colombia.

Según las características de tránsito de la avenida y de acuerdo a la tabla N°31, la categoría de tránsito seleccionada es **T1**.

- Se indican 5 clases de suelos (S), en la tabla N°33.

**Tabla N°33: Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.**

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm <sup>2</sup> )
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 - 500
S3	5 - 10	500 - 1.000
S4	20 - 10	1.000 - 2.000
S5	> 20	> 2.000

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto. Ministerio de transporte república de Colombia.

Las propiedades mecánicas de los suelos en las muestras obtenidas en los sondeos predominan un CBR mayor al 20% en el 95% de compactación. Esto significa que podríamos seleccionar en la clase **S5**. Sin embargo, hemos seleccionado conservadoramente la clase **S3** cuyo CBR varía entre **5 y 10%**

- Se indican 4 calidades de concreto, según su resistencia, en la tabla N°34.

**Tabla N°34. Valores de resistencias ha la flexo tracción del concreto (Módulo de rotura).**

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto. Ministerio de transporte república de Colombia.

La resistencia media del concreto a la tensión es  $M_r=600 \text{ psi} = 42 \text{ kg/cm}^2$ . Por lo tanto, la calidad es **MR3**.

- Con las variables definidas de categoría de tránsito **T1**, clasificación del suelo **S3** y calidad del concreto **MR3**, se puede obtener en la tabla N°35 mostrada continuación, el espesor recomendado de la losa de concreto **D=20 cm**.

**Tabla N°35: Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T1 como factor principal**

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO DE ACUERDO CON LA COBMINACIÓN DE VARIABLES (cm)											
Tránsito T1											
		S1		S2				S3			
		No D y B	No D y No B	D y B	D y no B	No D y B	No D y No B	D y B	D y no B	No D y B	No D y No B
SN	MR1	24	28	23	27	23	27	21	24	21	24
	MR2	23	27	22	26	22	26	20	24	20	24
	<b>MR3</b>	23	26	21	25	21	25	<b>20</b>	23	20	23
	MR4	21	24	20	24	20	24	19	22	19	22
BG	MR1	23	26	22	26	22	26	21	24	21	24
	MR2	22	25	21	25	21	25	20	23	20	23
	MR3	21	24	20	24	20	24	29	22	19	22
	MR4	20	23	19	23	19	23	28	21	18	21

Fuente: Manual de diseño de pavimentos de concreto. Ministerio de transporte república de Colombia.

En resumen, utilizando las tablas del manual **AASHTO**, el espesor de la losa de concreto es de **8 pulg = 20 cm**.

## 6.6. Procedimiento directo para determinar el espesor de losa de concreto.

Tal como lo dijimos anteriormente, por la información obtenida sobre el Diseño de Espesores de Pavimento Rígido, consideramos que el procedimiento más aplicable al Tramo de la Avenida en Estudio es la formulada en el libro "Tratado de CONSTRUCCIÓN", escrita por el ingeniero Antonio Miguel Saad, de amplia experiencia en el campo de la Construcción.

El procedimiento formulado es el siguiente:

$$D = \sqrt{\frac{Z*W*c}{s}} \quad \text{(Ecuación N° 27)}$$

En nuestro caso:

D: Espesor de la losa concreto

Z: Factor de ponderación de la carga vehicular, generalmente Z=2.

W: Carga vehicular máxima transmitida por rueda. Vehículo C-2, W=4 200 kg.

c: coeficiente según la estabilidad del suelo. c=1, para suelos inestables, c=0.90, para suelo estable. Seleccionamos c=1.00

s: módulo de tensión por flexión. En el concreto generalmente se toma

$f''t=0.15 fc' = 0.15 * 4 200 \text{ kg} = 42 \text{ kg/cm}^2$ .

Con un factor de seguridad de 2,  $S = \frac{ft'}{2} = \frac{42}{2} = 21 \text{ kg/cm}^2$

Con la información obtenida, la carga vehicular y las calidades mecánicas del concreto a utilizar en el sistema de pavimento podemos estimar el espesor de la capa de concreto con la Formula Simplificada.

$$D = \sqrt{\frac{2W}{S}}$$

Reemplazando datos:

$$W=4200\text{kg}$$

$$S=21 \text{ kg/cm}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{2 \times 4200 \text{ kg}}{21 \text{ kg/cm}^2}} = \sqrt{400} = 20 \text{ Cm}$$

#### 6.7. Resumen de resultado de los espesores de la losa de concreto.

- Aplicando la formula AASHTO-93 el espesor de losa es  $D=4.5 \text{ pulg.} = 11.43 \text{ cm}$ .
- Aplicando el manual de diseño del ministerio de transporte de la república de Colombia basado en la AASHTO versión 1993,  $D=20 \text{ cm}$ .
- Aplicando la formula del ingeniero Miguel Antonio Saad,  $D=20 \text{ cm}$ .

Con los resultados anteriores, proponemos que el espesor de la losa de concreto para construir la superficie de rodamiento de la avenida en estudio sea de 20 cm.

## 6.8. Juntas de Dilatación o Contracción

La losa de concreto que constituye la superficie de rodamiento está sometida a deformaciones causadas por los cambios de temperatura. Estas deformaciones, sean dilataciones o contracciones, generan fuerzas internas que agrietan la masa de concreto.

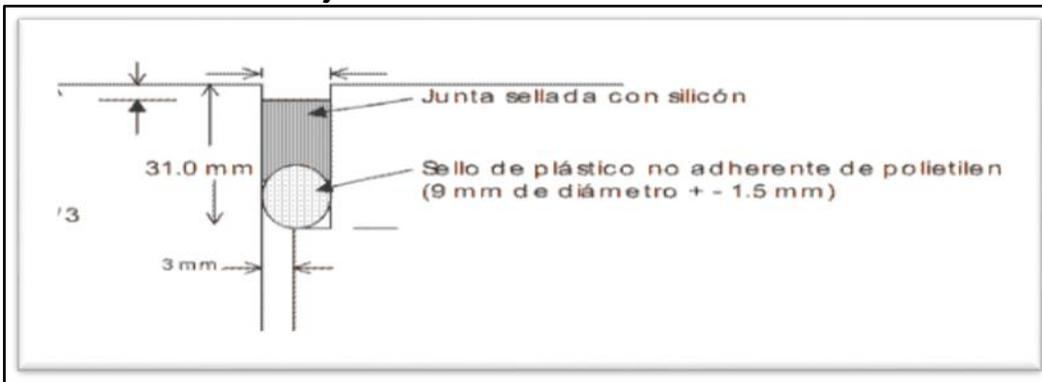
La experiencia e investigaciones realizadas indican que el agrietamiento puede controlarse dividiendo el pavimento en porciones de losas separadas a distancias razonables. La separación deja, entre losas, espacios que permiten deformaciones sin generar fuerzas internas por temperatura.

Las separaciones entre las porciones de losas son transversales o longitudinales con relación al Eje de la Avenida. Estas separaciones se conocen como juntas transversales y longitudinales respectivamente.

Para la Avenida en Estudio, que tiene un ancho de calzada de 6 metros para dos carriles y dos vías, es razonable proponer porciones de losas cuadradas de 3 metros de lado. De esa manera las juntas transversales y longitudinales se forman cada 3 metros.

Según las normas, las juntas de contracción o de control son ranuras que permiten el movimiento en el plano de la losa de concreto e inducen a un agrietamiento controlado, (Ver grafica N°9) en la que se muestran los detalles de la anchura y profundidad de la ranura.

### Grafica N°9: detalle de junta de contracción o control



Fuente: instituto nicaragüense del cemento y del concreto incyc.

Se recomiendan que las juntas de contracción deben extenderse dentro de la losa hasta una profundidad de al menos un cuarto de su espesor sin exceder un tercio. Para el caso de la losa de 20 (veinte) centímetros de espesor, el ancho de la ranura es de 6 (seis) milímetros y 5 (cinco) centímetros de profundidad.

La profundidad y la anchura de la junta son muy importante para la colocación del sello. El sello no debe quedar muy profundo porque impide el movimiento horizontal de la losa, ni superficial ya que las llantas de los vehículos pueden desprenderlo. En la misma figura 18 se ilustran los detalles de las Juntas con sus sellos.

### 6.9. Barra de transmisión o dovelas

Estas barras de refuerzo se colocan a todo lo ancho de la losa y tienen la función de transmitir las cargas impuestas en una losa hacia la losa Adyacente, evitar el desplazamiento vertical de las losas separadas por las juntas.

Las dovelas son barras lisas de acero colocadas a la mitad del espesor de la losa de concreto. Estas barras se colocan a todo lo ancho de la losa (en los 3 metros).

Estas barras tienen la función de transmitir las cargas del vehículo de una losa hacia la adyacente y permitir el movimiento por dilatación.

La longitud embebida en el concreto debe ser al menos, 15 cm en cada losa. De un lado debe garantizarse la adherencia de la barra en el concreto y del otro lado la barra se engrasa para permitir el deslizamiento.

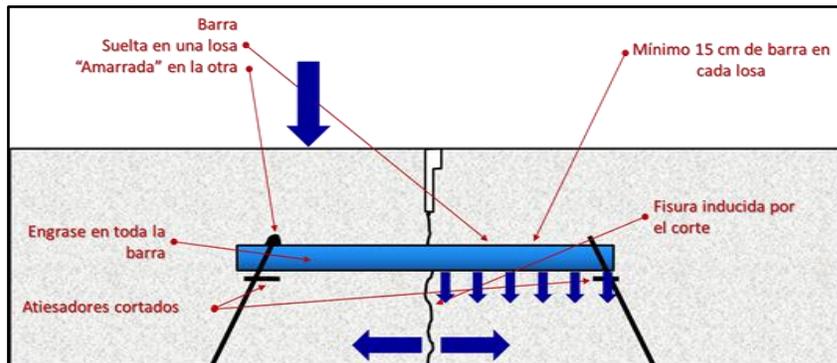
El diámetro de las dovelas debe de ser al menos, 1/8 del espesor de la losa.

Para losa de 20 cm de espesor, el diámetro de la dovela es de 1" (una pulgada).

La separación entre barras debe ser homogénea con un paralelismo total entre ellas.

Usualmente se usan 30 cm de separación entre dovelas, medidos centro a centro y se distancian 15 cm de los bordes de las losas. (Ver grafica N°10).

**Grafica N°10: detalle de colocación de dovelas**



Fuente: elaborado por los autores

En la losa de 3 metros se colocan 10 varillas de una pulgada, espaciada a 30 cm. Además de las dovelas que se colocan en las juntas transversales, también se recomienda la colocación de barras de amarre en las juntas longitudinales, generalmente estas barras son de media pulgada de diámetro y espaciadas a 30cm.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- En el volumen total de tránsito se contaron 9 tipos de vehículos, siendo los tipos C-2 y C-3 los de mayor peso, pero de menor frecuencia ya que suman apenas el 6.10% del volumen total.
- En el estudio de tránsito se hizo el conteo correspondiente obteniendo un TPDi de 296 y un TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) de 573. Proyectado a 20 años con una tasa de crecimiento de 4.20% resulta un TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) de 1042.
- En el análisis de los planos topográficos del tramo en estudio encontramos que la pendiente promedio es de 2.85% y la pendiente máxima es del 10% en una longitud de 4 metros.
- Para proponer el espesor de las losas de concreto en pavimentos rígidos, recurrimos a tres procedimientos, aplicación de parámetros en fórmula AASHTO, aplicación de variables en tablas del manual AASHTO y procedimiento analítico Directo. Una vez utilizados los tres procedimientos de cálculo concluimos que nuestro espesor de losa propuesto es de 20 cm.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda colocar en la entrada principales señales de tránsito para restringir la circulación de vehículos con pesos mayores a los C-2 o más ejes.
- Se recomienda que, durante la ejecución de las obras, el material del sondeo NO2 sea estabilizado con cemento para mejorar su capacidad soporte, ya que las características del suelo no cumplen con los requerimientos de la AASHTO.
- En base a la mezcla de material del Banco los Martínez y Hormigón Rojo cumplir con lo recomendado por el laboratorio, ingeniería mecánica de suelos (IMS) para la construcción de la base.
- Se deberá señalar en las entradas principales de la vía con velocidad a no más de 40 km/hora.
- Se recomienda señalar en la estación 0+220 el no rebase, en el tramo de 460.209 m.
- Para la capa de rodamiento se recomienda un concreto con una resistencia de 4000 PSI o 280 kg/cm<sup>2</sup>, en base a las normas de la ACI.
- Durante la colocación del concreto se recomienda dejar juntas transversales a cada 3 m y juntas longitudinal en el eje de la calzada.

## BIBLIOGRAFIA

- BCN, (2018). Banco Central de Nicaragua (Informe anual).
- Guia básica para el control de la calidad del concreto en obras.
- Hoel, N. J. (2005). Ingeniería de Tránsito y carreteras. Mexico: International Thomson Editores, S.A. de C.V.
- MTI, M. d. (2018). Anuario de Tráfico. Managua: División de Administración Vial.
- Manual Centro Americano de Normas 2da. Guatemala: Secretaria de la Integración Económica Centroamericana SIECA. (2002).
- Manual de diseño de pavimento de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de transito. Manual de diseño de pavimentos de concreto. Ministerio de transporte república de Colombia.
- Método de Diseño de Pavimento versión 1993 de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) para pavimento rígido.
- Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. Secretaria de la Integración Económica Centroamericana SIECA. (2004).
- tratado de CONSTRUCCION. Ingeniero Antonio Miguel Saad

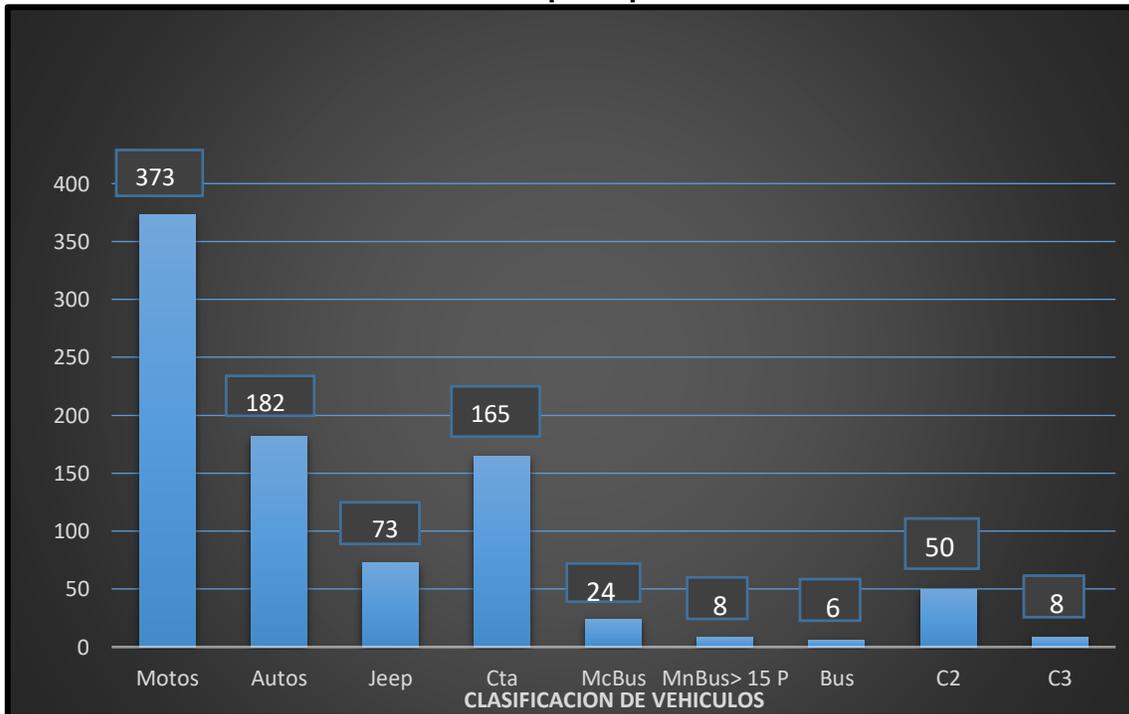
# **ANEXOS**

**Tabla N°36: Clasificación vehicular**

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, Cuadraciclo, Moto Taxi, 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 tiras en la parte trasera, incluyendo los 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.
	MNIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
VEHICULOS DE CARGA	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMION DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 ejes) y C3 (3 ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMION DE CARGA PESADA T<sub>x</sub>C<sub>x</sub>=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo T<sub>x</sub>C<sub>x</sub>=4.
	T<sub>x</sub>C<sub>x</sub>=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	C<sub>x</sub>R<sub>y</sub>=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como C<sub>x</sub>R<sub>y</sub>=4
EQUIPO PESADO	C<sub>x</sub>R<sub>y</sub>=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hué, 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)
OTROS	VEHICULOS DE CONSTRUCCION		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
	REMOQUES 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).

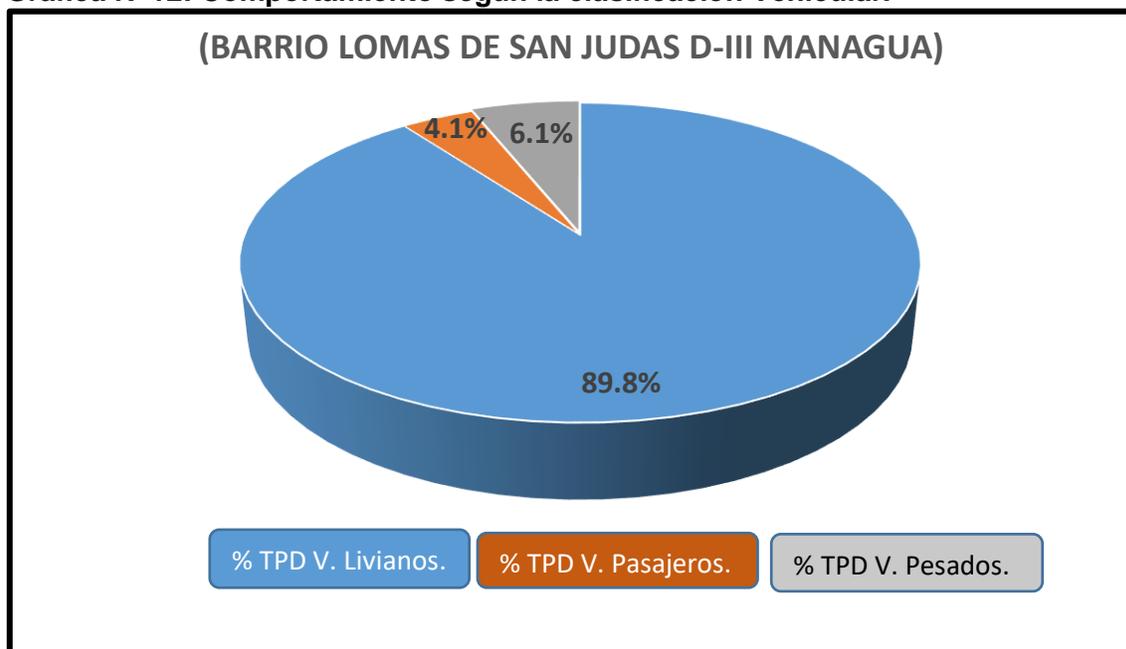
Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) de Nicaragua.

**Gráfica N°11: Tráfico Promedio Diurno por Tipo de Vehículo.**



Fuente: elaborado por los sustentantes

**Gráfica N°12: Comportamiento según la clasificación Vehicular.**



Fuente: elaborado por los autores

**Tabla N°36: Datos Históricos del TPDA, PIB y POB.**

AÑO	TPDA EMC 401	PIB (Miles \$)	POB (Miles de habitantes)
2001	21498	4.102	5.174
2002	23400	4.026	5.245
2003		4.101	5.313
2004	24855	4.465	5.381
2005		4.872	5.450
2006	40841	6.764	5.638
2007		7.423	5.708
2008		8.497	5.779
2009		8.299	5.850
2010	35269	8.759	5.923
2011		9.774	5.997
2012	32730	10.533	6.071
2013	40472	10.983	6.134
2014		11.880	6.198
2015		12.611	6.263
2016	41172	13.184	6.328
2017		13.844	6.394
2018	44706	13.118	6.460

Fuente: Banco Central de Nicaragua (Informe Anual 2018) y Banco central de nicaragua.

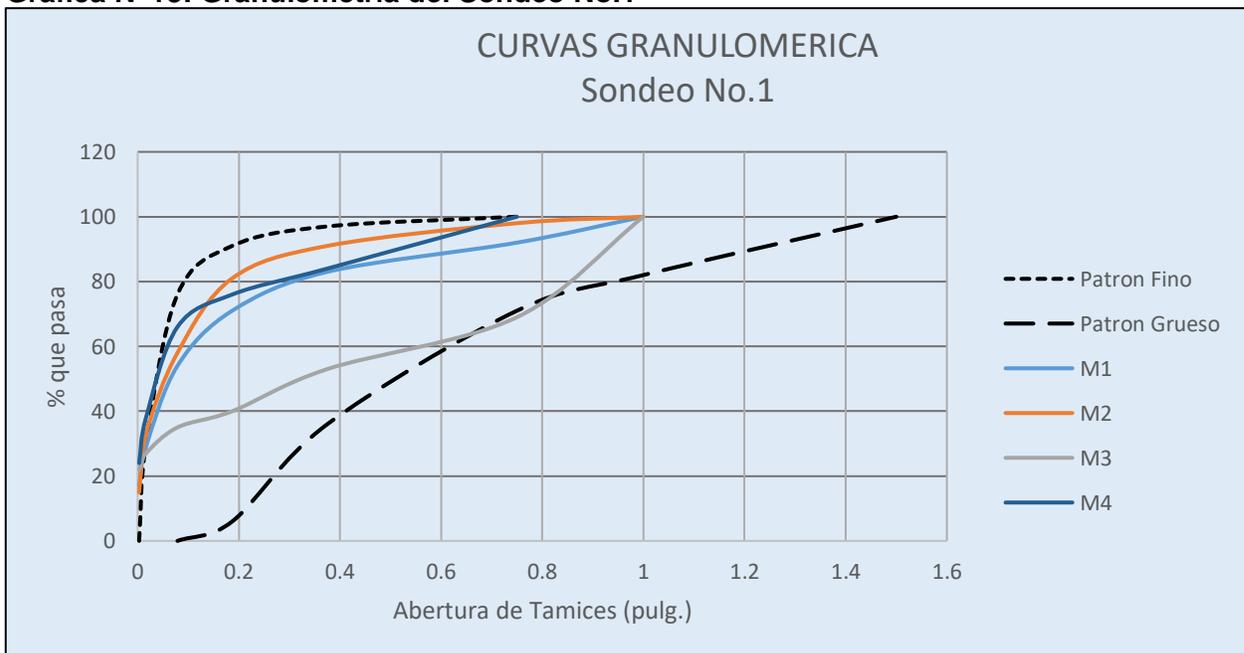


**Tabla N°37: Diseño de calzada para diferentes volúmenes de tránsito**

Velocidad de Diseño (km/h)	TPDA menor	TPDA	TPDA	TPDA Mayor
	400	400-1500	1500-2000	1500
<b>Ancho de Calzada (m)</b>				
30	6.00	6.0	6.6	7.2
40	6.00	6.0	6.6	7.2
50	6.00	6.0	6.6	7.2
60	6.00	6.6	6.6	7.2
70	6.00	6.6	6.6	7.2
80	6.00	6.6	6.6	7.2
90	6.6	6.6	7.2	7.2
100	6.6	6.6	7.2	7.2
110	6.6	6.6	7.2	7.2
<b>Ancho de Hombros a Cada Lado (m)</b>				

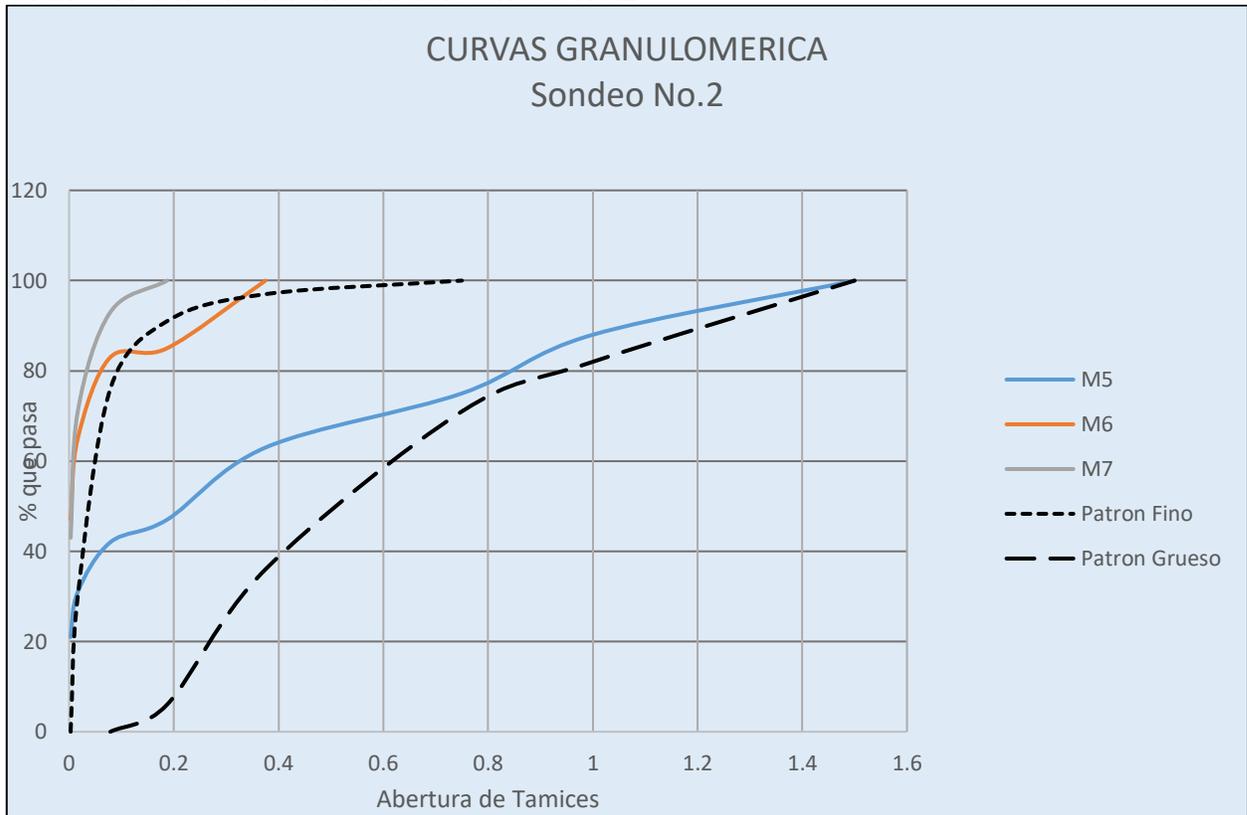
Fuente: Guía Práctica para localización y Diseños de Caminos, julio 2012.

**Grafica N°13: Granulometría del Sondeo No.1**



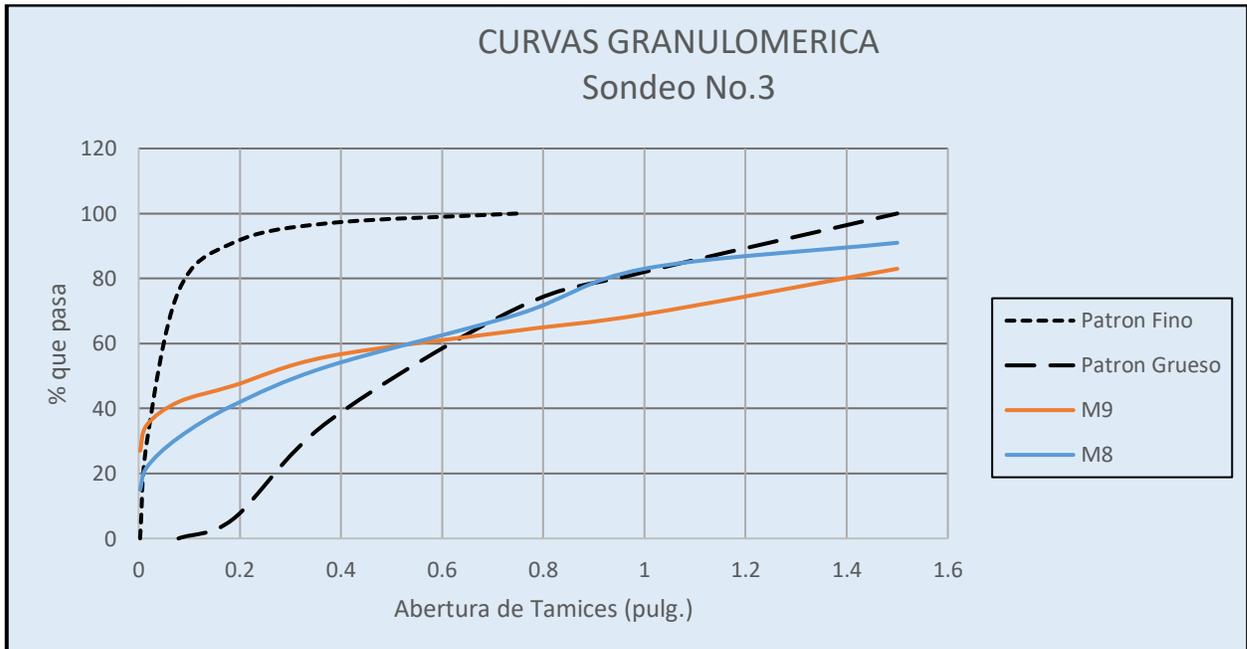
Fuente: elaborado por los autores

**Grafica N°14: Granulometría del Sondeo No.2**



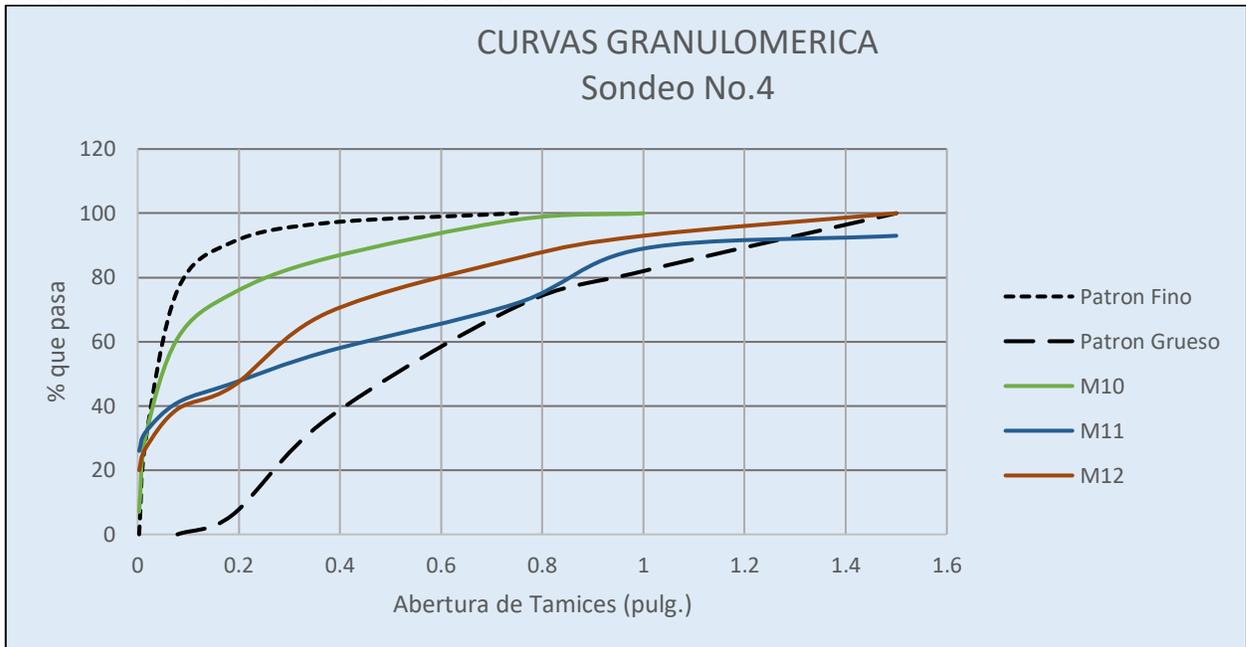
Fuente: elaborado por los autores

**Grafica N°15: Granulometría del Sondeo No.3**



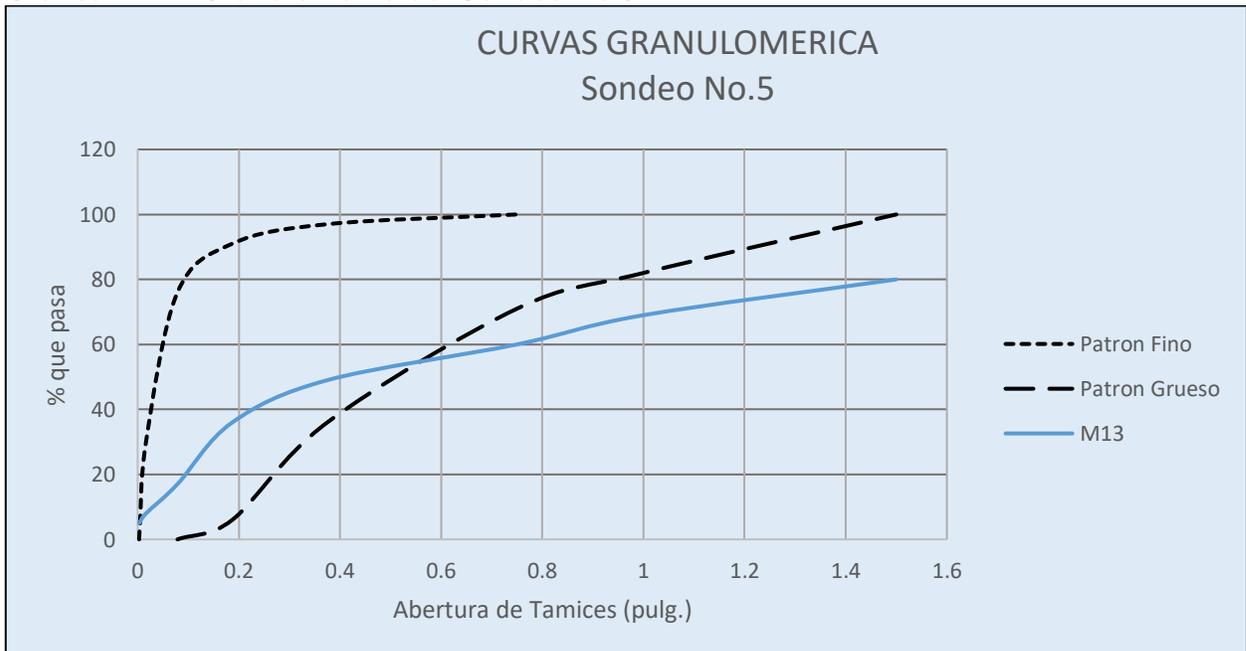
Fuente: elaborado por los autores

**Grafica N°16: Granulometría del Sondeo No.4**



Fuente: elaborado por los autores

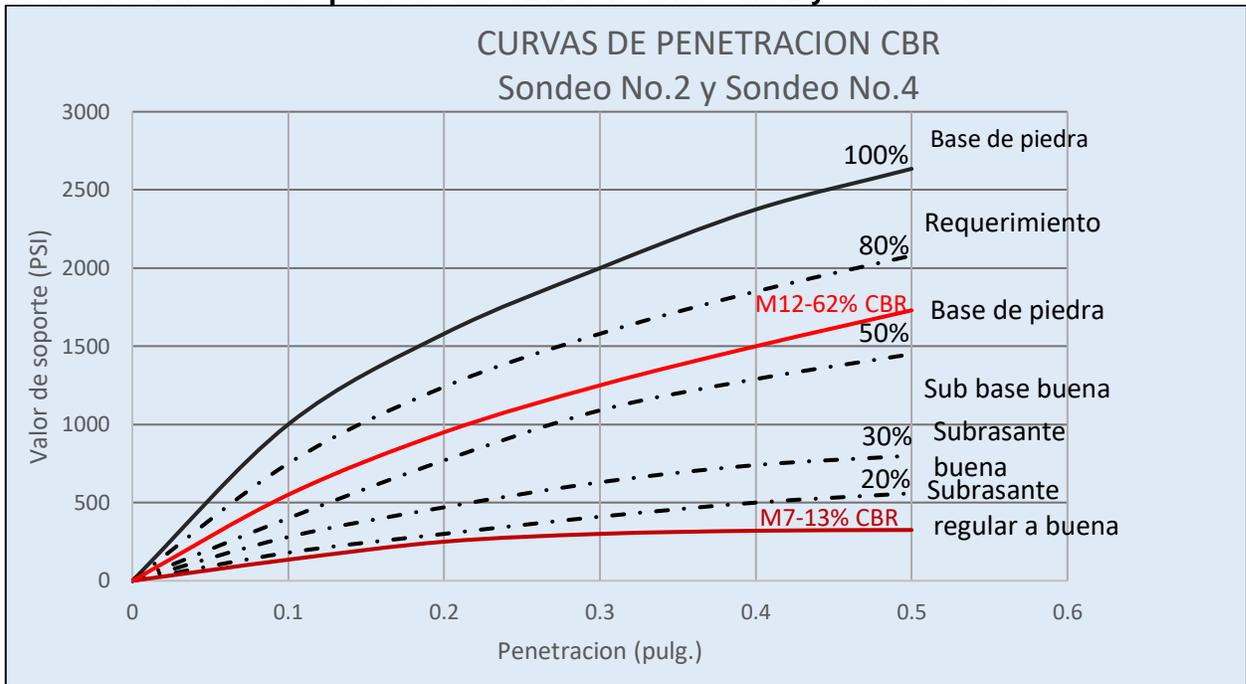
**Grafica N°17: Granulometría del Sondeo No.5**



Fuente: elaborado por los autores

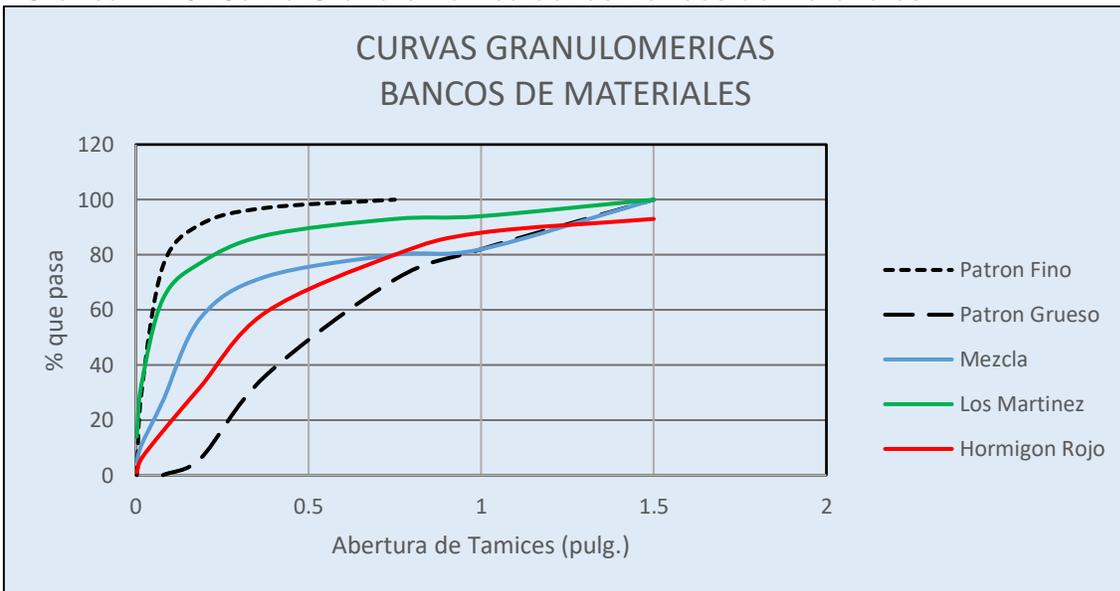


**Grafica N°18: curva de penetración CBR del Sondeo No.2 y Sondeo No.4**



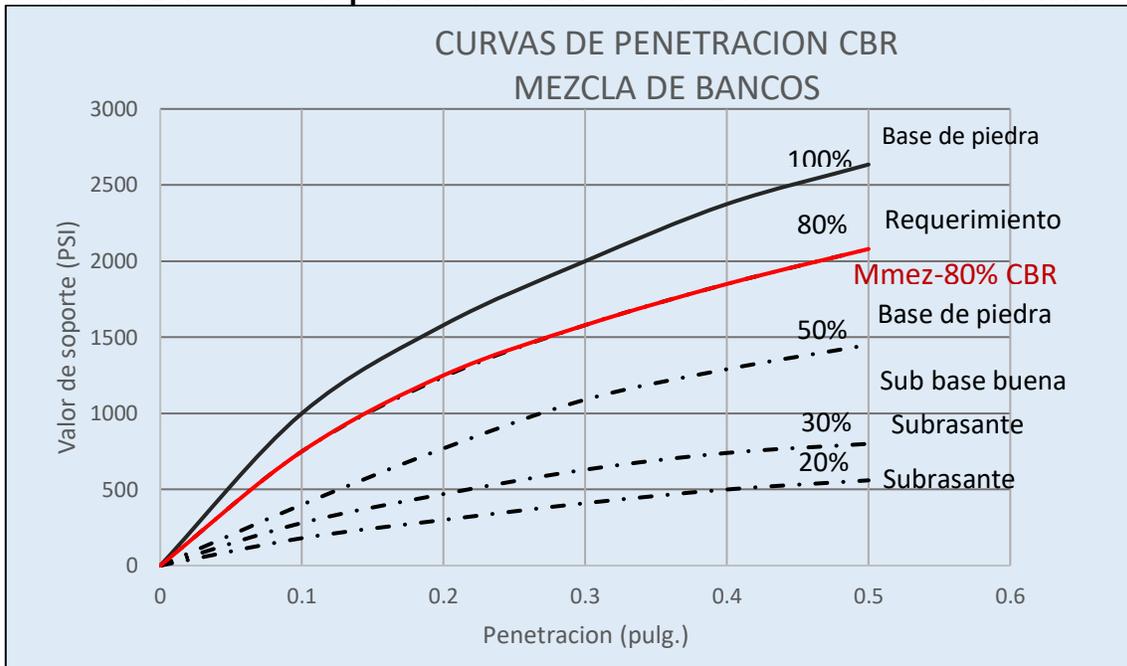
Fuente: elaborado por los autores

**Grafica N°19: Curva Granulométrica de los Bancos de materiales**



Fuente: elaborado por los autores

**Grafica N°20: Curvas de penetración CBR de la mezcla de bancos de materiales**



Fuente: elaborado por los autores

**ANEXOS VII: PLANOS  
TOPOGRAFICOS – ALCALDIA**

# **ANEXOS IX: PLANOS TOPOGRAFICOS**