



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

**Monografía**

**“DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO  
MEDIANTE EL MÉTODO DE AASTHO 93 EN UN TRAMO DE CALLE DE 1.4  
KM LINEALES EN EL BARRIO SAN FRANCISCO UBICADO EN EL  
MUNICIPIO DE MATEARE, DEPARTAMENTO DE MANAGUA.”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

**Elaborado por**

Br. Osmar Daniel García Montenegro  
Br. Mauro Alexander Gutiérrez Bone

**Tutor**

Ing. Keving Roberto Sánchez Rocha

Managua, octubre 2021



## **DEDICATORIA**

Le agradezco a mi Dios Padre Celestial, creador de todo nuestro universo, ya que cada día me llena de grandes bendiciones, permitiéndome la vida, la salud y las ganas de seguir adelante y no abandonar mis sueños, dándome su amor incondicional e infinito. Me brindó la sabiduría necesaria para realizar cada parte de esta monografía, me dio la paciencia para plasmar de una manera correcta cada una de mis ideas entre otras infinidad de bendiciones que me brindo en todo el transcurso de esta monografía.

Le agradezco grandemente a mi madre Marta Lizzethe Montenegro Pérez y abuela María Elena Pérez que siempre han sido los pilares principales de mi vida, que han hecho de mi un hombre de valor y soñador. Me han brindado todo su amor y nunca me han abandonado, que a pesar de todas las adversidades que hemos atravesados han hecho grandes sacrificios para que yo pueda salir adelante y poder culminar este gran logro.

A mi novia Cinthia Valeska Gonzaga López, que en los casi 5 años de relación que llevo con ella, siempre ha creído en mí y en mi potencial, me ha animado a salir adelante ha estado ahí en mis momentos más duros y me motiva para que siga adelante y no me rinda.

A mi tía Lilliam Emperatriz Montenegro Pérez que me brindo una ayuda súper especial que necesitaba para poder seguir con mis planes de vida, por sus consejos y amor que me ha dado en toda mi vida.

A mis demás familiares y amigo que creyeron en mí desde pequeño que dije que quería ser ingeniero civil, me motivaron, confiaron en mí y fueron de vital ayuda en mi vida.

Br. Osmar Daniel García Montenegro.

## **DEDICATORIA**

Primeramente, dedico este trabajo a Dios que me ha permitido gozar de vida y es mi gran apoyo espiritual, para seguir siempre adelante en las adversidades que se presentan en mi vida y por permitirme culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mis padres, Mauro Gutiérrez Escobar y Sandra Bone Toruño, que siempre han estado velando por mi bienestar brindándome todo su amor y apoyo incondicional y gracias a sus consejos me han enseñado a ser mejor persona y a seguir luchando por mis metas y ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas

A mi Novia Cristy Blanco Contreras, siendo mi gran motivación en mi vida encaminada al éxito, fue el ingrediente perfecto para poder lograr alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria en la vida, creyendo en mi persona y brindándome su amor y que se preocupó por mí en cada momento y que siempre quiso lo mejor para mi porvenir.

También a mi hermana Lisseth Bone Carrión y mi hermanito Eduard Bone Carrión quien ha estado presente en mi formación apoyándome y brindándome su cariño, y de manera muy especial le dedico a mi hermano Juan Gutiérrez Bone, quien ya no está presente en vida, pero desde un inicio fue gran motivador para que yo me encaminara en esta meta que estoy logrando culminar.

De manera muy especial dedico este trabajo a familiares y amigos que creyeron en mí y estuvieron en toda mi formación y más de alguna otra forma me han apoyado para salir adelante.

Br. Mauro Alexander Gutiérrez Bone.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradecemos a Dios por darnos las fuerzas necesarias de salir adelante y la sabiduría para realizar cada etapa de nuestra monografía.

A nuestros padres y familiares que siempre nos brindaron un apoyo incondicional y siempre creyeron en nosotros motivándonos cada día para dar lo mejor de nosotros.

Al ingeniero Jonny encargado del laboratorio de suelos “Ing. Julio Padilla Juárez” que fue de mucha ayuda para aclararnos dudas que tuviéramos sobre los ensayos pertinentes de suelos en nuestra monografía.

Al Ingeniero Hanner, que sirvió como asesor del diseño geométrico de nuestra calle en estudio en el Software AutoCAD Civil 3D 2020.

A nuestro tutor Ingeniero Keving Roberto Sánchez que nos brindó las herramientas correctas para poder realizar esta monografía.

A nuestros compañeros Ing. Carlos e Ing. Georgy que nos dieron muchos consejos que nos sirvieron de mucha utilidad para nuestro estudio monográfico.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente estudio denominado “DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO MEDIANTE EL MÉTODO DE AASTHO 93 EN UN TRAMO DE CALLE DE 1.4 KM LINEALES EN EL BARRIO SAN FRANCISCO UBICADO EN EL MUNICIPIO DE MATEARE, DEPARTAMENTO DE MANAGUA.”

Este documento consta de 6 capítulos donde se reflejan los resultados obtenidos después de realizados los estudios pertinentes para dicho proyecto.

### **Capítulo 1: Generalidades.**

Aborda generalidades del tramo en estudio, donde se aborda la introducción, antecedentes, justificación, objetivos, y Ubicación precisa del tramo en estudio.

### **Capítulo 2: Levantamiento Topográfico.**

Se realizó el levantamiento topográfico del barrio San Francisco, el cual cuenta con 1.4 km lineales, resaltando que al momento de la realización del levantamiento se tomaron en cuenta 1.501 km lineales, todo esto con el fin de proporcionar mejores datos a la hora de realizar el diseño geométrico en el programa AutoCAD Civil 3D 2020, además en este capítulo se abordó el método usado y la fase de levantamiento en campo.

### **Capítulo 3: Diseño Geométrico.**

Se realizó el diseño geométrico del tramo de la entrada principal del barrio San Francisco, basándose en el Manual Centroamericano de Normas de Diseño Geométrico De Las Carreteras Regionales con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA 3ª Edición 2011 y el programa AutoCAD Civil 3D 2020, el diseño consta en la realización de calles transversales de la entrada principal y accesos a esta, además se realizaron las evaluaciones necesarias para determinar los criterios de diseño necesarios, tales como velocidad de diseño, vehículo de diseño, sección de bombeo, diseño de rasante, así como la elaboración de los planos.

Teniendo en cuenta que es un tramo considerablemente recto y localizado en una zona urbana con baja velocidad de diseño se omitirá el peralte y las curvas horizontales y verticales se aplicaron en dependencia a las calles en estudio.

#### **Capítulo 4: Estudio de Suelos.**

En este capítulo se abarcó el procedimiento en campo para la realización de los 6 sondeos con una profundidad de 1.5 m y un diámetro aproximado de 0.40 m, todo con el objetivo de conocer las propiedades físico mecánicas del suelo en dicho tramo en estudio.

Los ensayos de laboratorio se realizaron siguiendo los procedimientos estándares descritos en las normas internacionales Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM). Las muestras extraídas fueron sometidas a análisis granulométrico, análisis de límites de consistencia, ensayo Proctor, y ensayo de Relación de Soporte de California (CBR). También se analizó material extraído del banco de materiales Mira Flores, el cual también fue sometido a cada ensayo consecuente y así identificar los tipos de suelo existente determinando la factibilidad de su uso y su correcta utilización al momento de la ejecución de la obra.

#### **Capítulo 5: Estudio de Tránsito.**

En este capítulo tomando en cuenta el Anuario de Aforos 2018 del Ministerio de Infraestructura y Transporte (MTI) se realizó un aforo vehicular en el cual se presenta el estudio y análisis del tránsito, necesario para determinar el número de ejes equivalente (ESAL'S). Describe la recopilación de datos, clasificación de vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, procesamiento de la información, tasas de crecimiento, período de diseño, proyección del tránsito, tránsito Inicial en el año 0, factor de crecimiento, factor de distribución direccional, factor carril, tránsito en el año n y número de año en el período de diseño.

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) calculado para el año base 2020, se proyectó para un periodo de diseño de 20 años, utilizando una tasa de crecimiento de 3.97%, encontrándose así el tránsito proyectado para el año 2040.

### **Capítulo 6: Diseño de Estructura de Pavimento Articulado.**

Se realizó el diseño de espesores de pavimento de forma manual, basándose en el método AASHTO 93 (Asociación Estadounidense de funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte) para pavimentos flexibles (adoquín), en función de los ejes equivalentes (ESAL) para el periodo de diseño y la calidad de los suelos de las terracerías según los ensayos de Relación de Soporte de California (CBR) de diseño, en el cual se realizó el cálculo de los espesores de cada capa que conforman el pavimento. A la vez se detalla el procedimiento para seleccionar los parámetros de diseño tales como: Ejes equivalentes de diseño, confiabilidad, serviciabilidad, desviación estándar y el CBR el cual sirvió como base para determinar el módulo resiliente y el valor de los coeficientes estructurales obtenidos del ábaco dado por la AASHTO 93, para así, obtener los espesores adecuados de pavimento, cabe mencionar que el pavimento adoquines se considera como un pavimento flexible para efectos de diseño según el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos en su sección “5.2.4 Superficie de Rodadura en Pavimentos Flexibles”

### **Conclusiones y Recomendaciones.**

Estas estarán basadas en los resultados de los estudios y diseño realizados en el presente trabajo.

Recomendaciones: Información a tomar en cuenta con el objetivo que sea de utilidad para la construcción y ejecución del tramo en estudio.

### **Anexos y Planos.**

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

**Limitaciones:**

En este documento no se tomaron en cuenta todos los estudios que se tienen que llevar a cabo en un diseño geométrico de carreteras, tales como es un estudio hidrográfico e impacto ambiental, así como también no se presentará un estudio del diseño de las intersecciones, y tampoco se presentará un estudio de drenaje debido a que el documento se volvería muy amplio y teniendo en cuenta el alto costo que este conllevaría al tratar de realizar dichos estudios.

Cabe mencionar que del banco de materiales "Mira Flores", se tuvieron dificultades con la obtención de las muestras, ya que al momento de retirarlas fueron reducidas, ocasionándonos problemas al momento de realizar los ensayos ya que estas no fueron suficientes.

## Contenido

### Capítulo 1: Generalidades

<b>1.1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Antecedentes</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. Justificación</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4. Objetivos</b> .....	<b>4</b>
1.4.1. Objetivo General: .....	4
1.4.2. Objetivos Específicos: .....	4
<b>1.5. Ubicación del proyecto</b> .....	<b>5</b>

### Capítulo 2: Levantamiento Topográfico

<b>2.1. Topografía</b> .....	<b>7</b>
2.1.1. División operacional de la topografía .....	7
<b>2.2. Levantamiento Topográfico</b> .....	<b>7</b>
2.2.1. Tipos de levantamientos Topográficos .....	8
2.2.2. Métodos de levantamiento topográfico .....	9
<b>2.3. Fase de levantamiento de campo</b> .....	<b>11</b>

### Capítulo 3: Diseño Geométrico

<b>3.1. Introducción</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2. Componentes principales del diseño geométrico</b> .....	<b>13</b>
3.2.1. Velocidad de diseño .....	13
3.2.2. Tipo de área .....	14
3.2.3. Condiciones del terreno .....	14
3.2.4. Clasificación funcional:.....	15
3.2.5. Distancia de visibilidad de parada .....	16
3.2.6. Distancia de visibilidad de adelantamiento .....	17
3.2.7. Vehículo de Diseño .....	18
3.2.8. Radio mínimo .....	18
3.2.9. Elementos de la sección transversal .....	20
<b>3.3. Alineamiento horizontal</b> .....	<b>24</b>
3.3.1. Curvas de nivel .....	25
3.3.2. Perfil longitudinal.....	25

3.3.3. Drenaje superficial .....	25
3.3.4. Rasante.....	26
<b>3.4. Secciones transversales .....</b>	<b>26</b>
<b>3.5. Derecho de vía .....</b>	<b>26</b>
<b>3.6. Curvas Circulares Simple .....</b>	<b>27</b>
3.6.1. Tangente de curva o sub tangente .....	28
3.6.2. Grado de curvatura: .....	28
3.6.3. Radio de curvatura: .....	28
3.6.4. Longitud de la curva: .....	28
3.6.5. Externa:.....	28
3.6.6. Ordenada media (M): .....	29
3.6.7. Cuerda larga: .....	29
<b>3.7. Alineamiento vertical.....</b>	<b>29</b>
3.7.1. Tipos de pendientes: .....	29
3.7.2. Curvas Verticales: .....	31
3.7.3. Tipo de curvas verticales.....	32

## **Capítulo 4: Estudio de Suelos**

<b>4.1. Introducción.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2. Exploración y Muestreo .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3. Caracterización de los suelos .....</b>	<b>38</b>
4.3.1. Clasificación de los suelos. ....	38
4.3.2. Descripción de los grupos de clasificación .....	39
4.3.3. Clasificación unificada de suelos (SUCS).....	41
<b>4.4. Sondeos manuales sobre la línea .....</b>	<b>41</b>
<b>4.5. Sondeo de Banco de Material.....</b>	<b>42</b>
<b>4.6. Trabajo en Laboratorio.....</b>	<b>42</b>
4.6.1. Análisis de Granulometría ASTM D-422.....	43
4.6.2. Límite de ATTERBERG.....	48
4.6.3. Ensayo de Proctor estándar.....	49
4.6.4. Ensayo Proctor modificado. ....	52
4.6.5. Ensayo de Valor Soporte California (CBR).....	56
4.6.5.1. Procedimientos de ensayos:.....	57
4.6.5.2. Clasificación del suelo según su CBR.....	58

4.6.6. Estabilización con suelo cemento para capa base en el banco de material.....	60
---	----

## **Capítulo 5: Estudio de Tránsito**

<b>5.1. Introducción.....</b>	<b>65</b>
<b>5.2. Volumen de Tránsito .....</b>	<b>66</b>
<b>5.3. Tipos de estaciones de conteo vehicular .....</b>	<b>67</b>
<b>5.4. Composición del tránsito.....</b>	<b>67</b>
5.4.1. Tipos de vehículos .....	68
<b>5.4. Tipos de Tránsito.....</b>	<b>69</b>
<b>5.5. Tasa de Crecimiento (TC).....</b>	<b>69</b>
<b>5.6. Proyecciones de Tránsito .....</b>	<b>70</b>
<b>5.7. Metodología .....</b>	<b>70</b>
5.7.1. Recopilación de datos .....	70
5.7.2. Estación de mayor cobertura asociada al camino en estudio .....	72
<b>5.8. Procesamiento e interpretación de resultados .....</b>	<b>75</b>
5.8.1. Expansión a Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA2020).....	75
<b>5.9. Proyección de tráfico .....</b>	<b>76</b>
5.9.1. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).....	76
5.9.2. Producto Interno Bruto (PIB): .....	77
5.9.3. Crecimiento poblacional (POB) .....	77
5.9.4. Correlación de variables.....	79
5.9.5. Tasa de crecimiento a emplear .....	81
5.9.6. Período de Tránsito de diseño .....	82
5.9.7. Tránsito de Diseño .....	83
5.9.7.1. Tránsito inicial del año 0 ( $T_0$ ).....	83
5.9.7.2. Factor de crecimiento (FC) .....	83
5.9.7.3. Factor Distribución (FD).....	84
5.9.7.4. Factor Distribución carril ( $f_c$ ) .....	84
5.9.8. Tránsito en el año n ( $T_n$ ).....	85

## **Capítulo 6: Diseño de Estructura de Pavimento Articulado**

<b>6.1. Introducción.....</b>	<b>88</b>
6.1.1. Clasificación de pavimentos .....	88

<b>6.2. Estructura de diseño de pavimento de adoquín .....</b>	<b>89</b>
6.2.1. Consideraciones para subrasante .....	91
6.2.2. Consideraciones para base .....	92
<b>6.3. Tipos de Ejes .....</b>	<b>92</b>
6.3.1. Ejes simples: .....	92
6.3.2. Ejes Tándem: .....	93
6.3.3. Eje Trídem:.....	93
<b>6.4. Consideraciones y referencias de las variables de diseño .....</b>	<b>94</b>
6.4.1. Confiabilidad .....	94
6.4.2. Serviabilidad .....	95
6.4.2.1. Serviabilidad Inicial .....	95
6.4.2.2. Serviabilidad Final .....	95
6.4.2.3. Pérdida de Serviabilidad .....	96
6.4.3. Análisis de Cargas y ejes equivalentes para el Diseño.....	96
6.4.4. Desviación estándar (S0) .....	99
6.4.5. Coeficiente de drenaje .....	99
6.4.6. Módulo de resiliencia Mr.....	100
6.4.7. Coeficientes estructurales .....	101
6.4.7.1. Coeficiente estructural de la capa de adoquín a1 .....	101
6.4.7.2. Coeficiente estructural de capa de base granular a2.....	102
6.4.7.3. Coeficiente estructural de capa de base granular a3.....	103
6.8. Cálculo de espesores.....	103
6.8.1. Número estructural.....	103
6.8.2. Espesores por capa: .....	107
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>108</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>109</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXOS Y PLANOS .....</b>	<b>I</b>
1. Anexo para Topografía .....	I
2. Anexos para Diseño Geométrico .....	IV
3. Anexo para Estudio de Suelos.....	VI
4. Anexo para Estudio de Tránsito:.....	XVI
5. Anexo para Diseño de Estructura de Pavimento.....	XVII

<b>Tabla N° 1:</b>	<b>Resumen de estaciones de banco de marca (BM) y puntos de intersección (PI) del levantamiento topográfico.</b>	<b>12</b>
<b>Tabla N° 2:</b>	<b>Clasificación del terreno según su pendiente</b>	<b>14</b>
<b>Tabla N° 3:</b>	<b>Clasificación de las carreteras</b>	<b>15</b>
<b>Tabla N° 4:</b>	<b>Distancia de visibilidad de parada y de decisión en terreno plano</b>	<b>17</b>
<b>Tabla N° 5:</b>	<b>Tasa de sobreelevación según su área</b>	<b>19</b>
<b>Tabla N° 6:</b>	<b>Radio mínimo y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño</b>	<b>20</b>
<b>Tabla N° 7:</b>	<b>Ancho de mediana recomendable para las carreteras regionales</b>	<b>22</b>
<b>Tabla N° 8:</b>	<b>Ancho mínimo de hombros y aceras</b>	<b>23</b>
<b>Tabla N° 9:</b>	<b>Datos de curva circular simple</b>	<b>30</b>
<b>Tabla N° 10:</b>	<b>Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada</b>	<b>34</b>
<b>Tabla N° 11:</b>	<b>Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de rebase</b>	<b>34</b>
<b>Tabla N° 12:</b>	<b>Parámetros de diseño</b>	<b>36</b>
<b>Tabla N° 13:</b>	<b>Criterios para sondeos en una vía</b>	<b>38</b>
<b>Tabla N° 14:</b>	<b>Ensayos realizados en laboratorio</b>	<b>42</b>
<b>Tabla N° 15:</b>	<b>Resumen de resultados de ensayos en muestras de sondeos de línea</b>	<b>44</b>
<b>Tabla N° 16:</b>	<b>Resumen de clasificación de los suelos según la AASHTO</b>	<b>45</b>
<b>Tabla N° 17:</b>	<b>Resultados de laboratorio de ensayos de banco de materiales: Selecto gris</b>	<b>47</b>
<b>Tabla N° 18:</b>	<b>Resultados de laboratorio de ensayos de banco de materiales: Hormigón</b>	<b>47</b>
<b>Tabla N° 19:</b>	<b>Resultados de límites de ATTERBERG a muestras de sondeos de línea</b>	<b>49</b>
<b>Tabla N° 20:</b>	<b>Recopilación de datos para compactación de suelos</b>	<b>50</b>
<b>Tabla N° 21:</b>	<b>Recopilación de datos para compactación de suelos</b>	<b>55</b>
<b>Tabla N° 22:</b>	<b>Clasificación cualitativa del suelo según su CBR</b>	<b>58</b>
<b>Tabla N° 23:</b>	<b>Resultados de Ensayo C.B.R de la muestra de los sondeos sobre la línea para capa sub rasante</b>	<b>59</b>
<b>Tabla N° 24:</b>	<b>Resultados de Ensayo C.B.R de la muestra del banco de materiales para capa base</b>	<b>59</b>
<b>Tabla N° 25:</b>	<b>Valores de C.B.R. con suelo estabilizado con cemento</b>	<b>62</b>
<b>Tabla N° 26:</b>	<b>Resumen de resultados de estudio de suelos</b>	<b>63</b>

<b>Tabla N° 27: Resultados de aforo vehicular de 12 horas en ambos sentidos de la comarca los Brasiles .....</b>	<b>71</b>
<b>Tabla N° 28: Porcentaje vehicular de mayores coberturas.....</b>	<b>73</b>
<b>Tabla N° 29: TPDA para tramo de calle del barrio San Francisco .....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla N° 30: Datos históricos de TPDA EST Entrada Ciudad Sandino- Los Brasiles .....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla N° 31: Estadísticas macroeconómicas en millones de córdoba y porcentaje del Producto Interno Bruto .....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla N° 32: Tasa de crecimiento poblacional en Mateare (2005-2020) .....</b>	<b>78</b>
<b>Tabla N° 33: Variables sin el logaritmo natural y con el logaritmo natural.</b>	<b>79</b>
<b>Tabla N° 34: Promedio de tasas de crecimientos.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla N° 35: Periodo de diseño para pavimentos según AASHTO 1993 ....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla N° 36: Número de carriles en ambas direccionales para el factor de distribución .....</b>	<b>84</b>
<b>Tabla N° 37: Porcentaje ESAL.....</b>	<b>84</b>
<b>Tabla N° 38: Proyección del tráfico 2040 .....</b>	<b>86</b>
<b>Tabla N° 39: Estimación de tránsito de diseño del periodo 2020 al 2040 ...</b>	<b>87</b>
<b>Tabla N° 40: Niveles sugeridos de confiabilidad para diversas clasificaciones funcionales .....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla N° 41: Interpolaciones para el valor de LEF.....</b>	<b>97</b>
<b>Tabla N° 42: Ejes Equivalentes de 18kips, con un periodo de diseño de 20 años, Pt=2.0 y SN=5 .....</b>	<b>98</b>
<b>Tabla N° 43: Variación estándar global S0 .....</b>	<b>99</b>
<b>Tabla N° 44: Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles .....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla N° 45: Mezcla de material selecto gris y hormigón .....</b>	<b>XII</b>
<b>Tabla N° 46: Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de sub-rasante. ....</b>	<b>XII</b>
<b>Tabla N° 47: Proporción adecuado para mezcla de muestras .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Tabla N° 48: Márgenes del valor meta para graduaciones de sub base, base o capas superficiales de agregados .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Tabla N° 49: Valores de la Carga Unitaria Patrón .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Tabla N° 50: Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico de la oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y Puentes .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Tabla N° 51: Factores Equivalente (F. E.) de Carga.....</b>	<b>XVII</b>
<b>Tabla N° 52: F.E. de Carga para Pav. Flexibles, ejes Tándem, Pt=2.0 .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>Tabla N° 53: F. E. de Carga para Pavi. Flexibles, Ejes Tridem, Pt=2.0 .....</b>	<b>XIX</b>



# Capítulo 1: Generalidades

## 1.1. Introducción

El diseño vial en Nicaragua ha ido revolucionando en los últimos años con la construcción de pasos de desnivel, reconstrucción de caminos hacia zonas rurales usando el pavimento de concreto hidráulico, pavimento articulado, entre otros, debido al aumento de los volúmenes de tránsito a nivel del país. En la ciudad de Managua se han venido ejecutando múltiples proyectos de diseño vial, así como también hay localidades donde aún no se plantean soluciones y se ven afectados por calles deterioradas por antigüedad o incluso calles sin pavimentar.

La calle en estudio se ubica a las afuera de la capital con coordenadas GCS (Geographic Coordinate System) iniciales 12°11'36.95"N-86°22'13.22" O, el cual le pertenece al barrio San Francisco, comarca los Brasiles, municipio de Mateare y presenta coordenadas de fin de 12°12'16.89"N-86°21'44.15"O. (Ver Imagen No.2, pág. 6).

Para la ejecución de este documento se realizaron una serie de estudios en campo y en laboratorio. Dentro de los estudios de campo fueron conformados primeramente por un levantamiento topográfico altiplanimétrico usando el método de perfil y secciones transversales, donde se levantaron 1501 metros lineales. Por consiguiente, se hizo un estudio de tránsito tomando en cuenta el anuario de Aforos 2018 del Ministerio de Infraestructura y transporte (MTI).

Dentro del estudio de suelo tenemos, sondeos exploratorios, en donde se tomaron muestras alteradas representativas en el tramo y banco de materiales mira flores y fueron ensayados en laboratorios de acuerdo a las normas ASTM para la determinación de las propiedades físicas-mecánica, posteriormente a estos estudios se realizó una propuesta de diseño de espesores mediante el método de la AASTHO 93 para un pavimento articulado, debido al ser una alternativa de bajo costo, fácil y rápida ejecución con respecto a otro tipo de pavimentos, por ende, se realizó un diseño geométrico basándose en el Manual Centroamericano de Normas de Diseño Geométrico De Las Carreteras Regionales con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA 3ª Edición 2011 y el programa AutoCAD Civil 3D 2020.

## **1.2. Antecedentes**

Para el año 1940 en Nicaragua existían 201 km de carreteras de los cuales solamente 52 km eran pavimentados, 11 años después en el departamento de carreteras se dieron un sin número de innovaciones técnicas dirigida al desarrollo de la infraestructura vial el cual tuvo su primer freno con el paso del terremoto de 1972 y el segundo y más dramático freno los sufrió para el tiempo de guerra entre 1977 y 1984.

El pavimento articulado es una de las más antiguas superficies para el rodamiento de vehículos en donde el uso de esta carpeta de rodamiento en el país cuenta con aproximadamente 80 años de uso en zonas urbanas y rurales.

Según datos brindados por la alcaldía de Mateare el último mantenimiento que se realizó a la vía fue en el año 2012, el cual contó con la remoción de adoquines en los tramos más dañados de la vía, para posteriormente colocar unos nuevos.

La calle del barrio San Francisco sirvió como una vía alterna excediendo su capacidad vehicular, ya que en el año 2019 el tráfico de la vía principal NIC 28 (Carretera nueva a León), aproximadamente con un flujo vehicular de 22 mil vehículos diarios, circuló sobre esta carretera al menos 1 mes, debido a daños provocados por el invierno en el puente Saratoga que se construía en el km 14, el cual provocó el cierre de dicha vía principal (NIC 28). Todos estos factores han provocado el deterioro de la calle principal del barrio San Francisco.

### **1.3. Justificación**

El tramo en estudio es de 1.4 km y cuenta con 200 metros de adoquinados en buen estado y otros 500 metros de un adoquinado en un muy mal estado, en tiempos de lluvias sufre inundaciones y siempre circula aguas residuales sobre la calle debido al deficiente sección de bombeo, otro problema de esta calle es que no posee una adecuada pendiente transversal provocando que el sistema de drenaje sea muy deficiente.

También debido a las industrias, terminal de buses y algunos talleres de maquinarias pesadas que se encuentran sobre ese tramo, el paso de vehículos pesados es inevitable, por lo tanto, todo esto también ha influido a que se dé un asentamiento generando profundos baches y protuberancias en el adoquinado.

Debido al ser una alternativa de bajo costo, fácil y rápida ejecución con respecto a otro tipo de pavimentos, se va elaborar un diseño en base a adoquín teniendo en cuenta que brinda los beneficios suficientes para suplir las necesidades de la comunidad.

La ejecución de este proyecto de diseño geométrico permitirá que los habitantes asentados en el tramo de calle tengan mejores perspectivas de desarrollo y ayudando a su vez que crezcan económicamente, abriendo oportunidades de empleo, nuevos negocios, mayor comodidad de moverse sobre la calle y a su vez un mejor intercambio de comercio. Se prevé que con este proyecto ayude dar lugar a nuevos emprendimientos sobre esta comunidad ya que hay terrenos baldíos que pueden ser aprovechados para negocios.

La justificación de este proyecto está vinculada estrechamente con los objetivos, políticas y estrategias que el gobierno está impulsando como es el de mejorar la infraestructura de apoyo al sector productivo, con el que se podrá beneficiar al sector agrícola y ganadero, por donde se traslada la producción de granos básicos, leche, carne etc. Con dicho proyecto de pavimento articulado se espera reducir los costos de operación vehicular y mejorar las condiciones de vida de la población.

## **1.4. Objetivos**

### 1.4.1. Objetivo General:

- Realizar el diseño geométrico y estructura del espesor de pavimento articulado mediante el método de AASTHO 93 en un tramo de calle de 1.4 Km lineales en el barrio San Francisco ubicado en el municipio de Mateare, departamento de Managua.

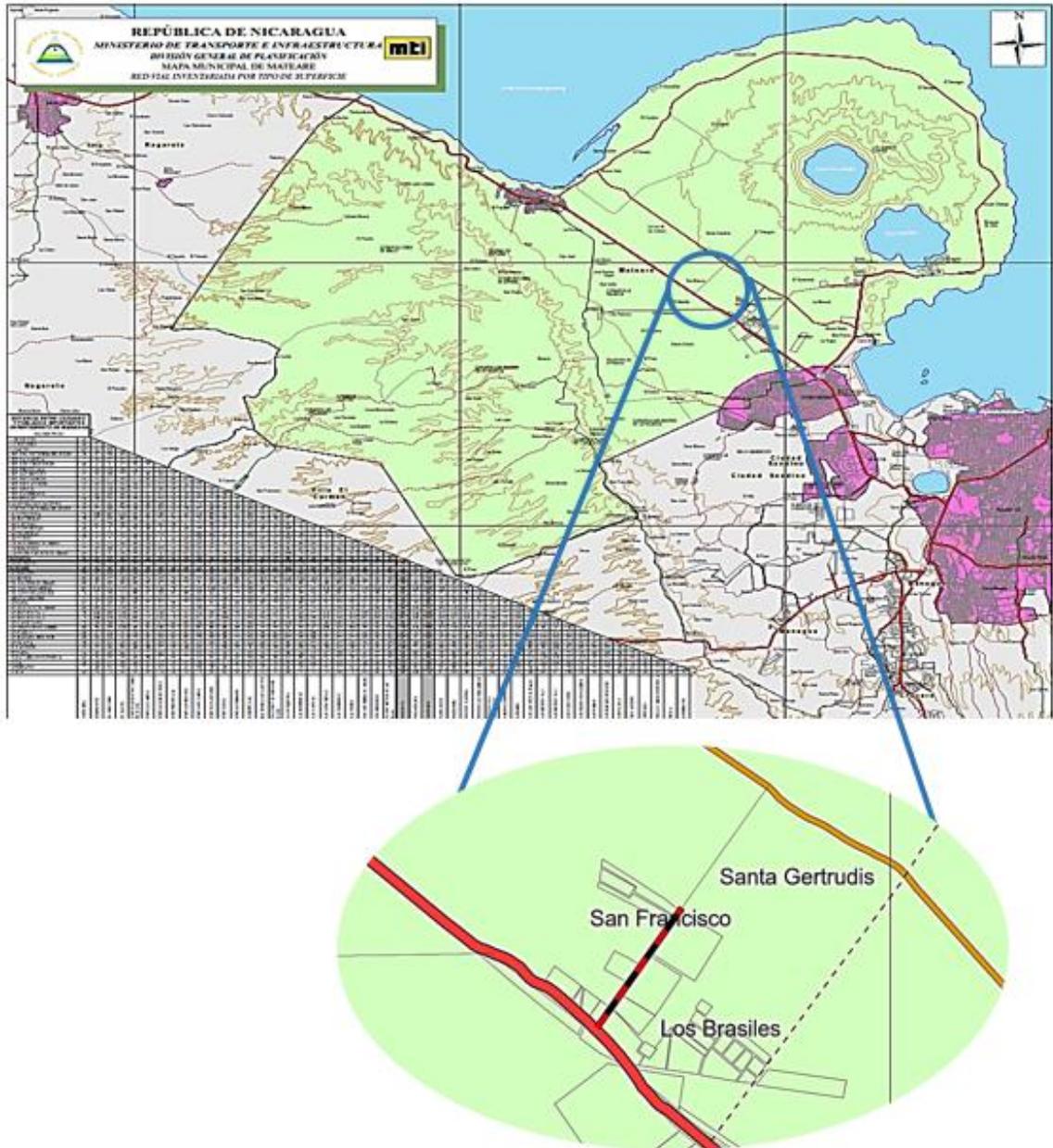
### 1.4.2. Objetivos Específicos:

- Realizar el levantamiento topográfico de la vía principal de 1.4 km del barrio San Francisco para definir la rasante óptima.
- Elaborar el diseño geométrico del tramo en estudio haciendo uso del software Civil 3D 2020 y el Manual Centroamericano de Normas de Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA 3a Edición 2011.
- Efectuar un estudio de tránsito mediante un conteo vehicular manual para calcular el tránsito promedio diario anual (TPDA); el tránsito de diseño (TD) del tramo en estudio y así obtener la carga vehicular que soporta dicha estructura.
- Analizar las propiedades físicas-mecánicas del suelo en el tramo de calle en estudio para la determinación del material adecuado con el que se ejecutará el proyecto mediante las normas de ASTM (American Society for Testing and Materials).
- Diseñar los espesores de la estructura de pavimento articulado que soporte el esfuerzo efectuado por las cargas vehiculares usando el método de AASTHO 93.

## 1.5. Ubicación del proyecto

### 1.5.1. Macro localización:

#### Imagen N° 1: Macro localización



Fuente: Documento de la red vial del MTI 2017.

### 1.5.2. Micro localización del tramo en estudio

**Imagen N° 2: Micro localización del tramo en estudio**



Fuente: Google Earth Pro 2021



## Capítulo 2: Levantamiento Topográfico



## **2.1. Topografía**

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

### **2.1.1. División operacional de la topografía**

→ Planimetría:

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

→ Altimetría:

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

→ Altiplanimetría

Combinación de las dos anteriores por lo que se puede realizar un trabajo de planimetría y otro por altimetría y después se fusionan ambas.

## **2.2. Levantamiento Topográfico**

Los levantamientos topográficos se realizan con el fin de determinar la configuración del terreno la posición sobre la superficie de la tierra, de elementos naturales o instalaciones construidas por el hombre. En el levantamiento topográfico se toman los datos necesarios para la representación grafica o elaboración del mapa de estudio.

El levantamiento del tramo en estudio tiene una longitud de 1501 metros lineales, los cuales fueron levantados mediante una estación total Leica, prismas, cintas métricas y aerosol color rojo. Dicho levantamiento se realizó en un período de 2 días para conocer las características topográficas de la calle en estudio.

### 2.2.1. Tipos de levantamientos Topográficos

El método de campo a utilizar para el levantamiento y representación de superficies depende de múltiples factores entre los cuales se pueden mencionar: Área de estudio, tipo de terreno, equidistancia de las curvas de nivel, características y tipo de proyecto a desarrollar, equipo disponible.

De acuerdo con la finalidad de los trabajos topográficos existen varios tipos de levantamientos, que, aunque aplican los mismos principios, cada uno de ellos tiene procedimientos específicos para facilitar el cumplimiento de las exigencias y requerimientos propios.

- Levantamientos de tipo general:

Estos levantamientos tienen por objeto marcar o localizar linderos, medianías o límites de propiedades, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones.

- Levantamiento longitudinal o de vías de comunicación:

Son los levantamientos que sirven para estudiar y construir vías de transporte o comunicaciones como carreteras, vías férreas, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc.

- Levantamientos de minas:

Estos levantamientos tienen por objeto fijar y controlar la posición de los trabajos subterráneos requeridos para la explotación de minas de materiales minerales y relacionados con las obras superficiales.

- Levantamientos hidrográficos:

Estos levantamientos se refieren a los trabajos necesarios para la obtención de los planos de masas de aguas, líneas de litorales o costeras, relieve del fondo de lagos y ríos, ya sea para fines de navegación, para embalses, toma y conducción de aguas, cuantificación de recursos hídricos, etc.

- Levantamientos catastrales y urbanos:

son los levantamientos que se hacen en ciudades, zonas urbanas y municipios para fijar linderos o estudiar las zonas urbanas con el objeto de tener el plano que servirá de base para la planeación, estudios y diseños de ensanches, ampliaciones, reformas y proyecto de vías urbanas y de los servicios públicos, (redes de acueducto, alcantarillado, teléfonos, electricidad, etc.).

- Levantamiento aéreo o fotogramétricos:

Se hacen por fotogrametría generalmente desde aviones y se usan como auxiliares muy valiosos de todas las otras clases de levantamientos. Se realizan por medio de fotografías aéreas tomadas con cámaras especiales ya sea desde un avión, o desde estaciones de la tierra.

### 2.2.2. Métodos de levantamiento topográfico

→ Poligonal:

“Método topográfico, el cual consiste en estacionar en un punto de coordenadas conocidas y orientar a una referencia cuyo azimut también es conocido. Se define como una sucesión encadenada de radiaciones.

Denotación: A, B, C y D se denominan estaciones o vértices de la poligonal. Las magnitudes AB, BC y CD son los tramos o ejes de la poligonal. Este método es usado para dar coordenadas a distintos puntos (A, B, C, D) o bien para colocar esos vértices y poder radiar desde ellos.

→ Métodos Taquimétricos:

“Por definición la taquimetría, es el procedimiento topográfico que determina en forma simultánea las coordenadas Norte, Este y Cota de puntos sobre la superficie del terreno. Este procedimiento se utiliza para el levantamiento de detalles y puntos de relleno en donde no se requiere de grandes precisiones. Con la introducción en el mercado de las estaciones totales electrónicas, de tamaño reducido, costos accesibles, funciones reprogramadas y programas de aplicación incluidos, la aplicación de la taquimetría tradicional con teodolito y mira ha venido siendo desplazada por el uso de estas estaciones.

→ Levantamiento con estación Total:

Una de las grandes ventajas de levantamientos con estación total es que la toma y registro de datos es automático, eliminando los errores de lectura, anotación, transcripción y cálculo; los datos se almacenan en forma digital y los cálculos de coordenadas se realizan por medio de programas de computación incorporados a dichas estaciones. Generalmente estos datos son archivados en formato ASCII para poder ser leídos por diferentes programas de topografía, diseño geométrico y diseño y edición gráfica.

→ Método de Radiación:

El método de radiación es el método comúnmente empleando en levantamientos de superficies de mediana y gran extensión, en zonas de topografía accidentada, con vegetación espesa. Este método se apoya en una poligonal base previamente levantada a partir de cuyos vértices se hacen radiaciones a fin de determinar la ubicación de los puntos de relleno y de detalles. Los equipos utilizados para levantamiento por radiación son la estación total y prisma. En caso de utilizar teodolito y mira vertical, se deben anotar los ángulos verticales u horizontales y las lecturas a la mira con los hilos distancio-métricos. Cuando se usa estación total con prisma, generalmente los puntos quedan grabados automáticamente por sus coordenadas, en un archivo con formato ASCII en la libreta de campo electrónica.

### **2.3. Fase de levantamiento de campo**

Primeramente, se realizó una visita de campo donde se observó las irregularidades que presentaba la calle en estudio, donde se presentaban, asentamientos, baches, un sistema de bombeo nulo sobre la calle adoquinada y un sistema de drenaje deficiente en los primeros 700 metros y posteriormente los 700 metros restantes de calle no presenta ningún sistema de pavimento por lo cual se presenta como una calle de tierra, desnivelada y llena de vegetación a sus costados.

Para la obtención de la información topográfica necesaria, se empleó un levantamiento altiplanimétrico, utilizando como equipo topográfico una Estación total Leica, plantando el equipo y establecer los bancos de marca BM1 y BM2 en la localizados por GPS al inicio, la coordenada Z la asumimos a  $Z= 100.00$ , m. sobre el nivel del mar, al ingresar esta información al equipo se procede a enrasarse al norte magnético.

El banco de marca No 1 se localiza en la estación 0+000, entrada al barrio, (ver anexo Pág. I, Fotografía N° 1.) que será nuestro estacionamiento y punto de partida del levantamiento, de igual manera se ubicó el banco de marca No 2 teniendo en cuenta las indicaciones del Ingeniero a cargo del levantamiento topográfico y que hubiera visibilidad entre los dos BM (Ver anexo, Pág. II, Fotografía N° 3), la ubicación con coordenadas UTM de cada banco de marca y PI, en tabla N° 1, Pág. 12.

Se procedió al inicio del levantamiento comenzando con un segmento del tramo de la carretera NIC-28 de 70 metros y luego la calle en estudio y así simultáneamente se fueron ubicando los puntos auxiliares en cada intersecciones para tomar secciones en los caminos aledaños y teniendo en cuenta que se iba recopilando información de las secciones transversales a cada 20 metros, dicho motivo nos llevó a la realización del levantamiento tomando en cuenta 1501 metros lineales de los 1400 antes indicado, con esto se logra una apreciación más detallada del comportamiento de los desniveles del área para el proyecto, detalles

como postes de tendidos eléctricos, bordes de calle, centro de calle, intersecciones, canal, para obtener más detalles y una mejor precisión para el diseño geométrico.

**Tabla N° 1: Resumen de estaciones de banco de marca (BM) y puntos de intersección (PI) del levantamiento topográfico.**

Punto	Coordenadas UTM			Descripción
	X	Y	Z	
I	568490	1348039	100	BM1
88	568540.672	1348094.48	99.5499	BM2
89	568572.75	1348148.88	99.8049	PI1
135	568640.437	1348227.43	99.3059	PI2
226	568697.454	1348301.45	99.4177	PI3
287	568772.53	1348415	100.1482	PI4
288	568786.143	1348422.51	100.1464	PI5
320	568858.61	1348530.05	100.762	PI6
335	568917.582	1348609.44	101.1624	PI7
377	568944.545	1348648.08	101.7701	PI8
378	568974.453	1348676.34	102.0428	PI9
427	569013.634	1348722.58	102.4719	PI10
501	569132.943	1348868.74	103.8928	PI11
531	569219.558	1348962.95	104.7633	PI12
554	569276.003	1349030.29	105.6235	PI13
575	569336.876	1349104.35	106.4537	PI14
594	569387.997	1349170.26	107.2404	PI15

Fuente: Elaboración por sustentantes.



## Capítulo 3: Diseño Geométrico



### **3.1. Introducción**

Es el proceso de correlacionar los elementos físicos de la carretera con las características de operación de los vehículos. Es geométrico ya que esos elementos físicos se representan por su geometría, como es el caso de las alineaciones, visibilidades, anchuras, pendientes, taludes y secciones transversales, entre otros.

Este proceso supone la parte más importante de la concepción de la carretera, puesto que permite establecer su disposición espacial más adecuada sobre el territorio, para que se adapte a sus características y condicionantes, como las alineaciones vertical y horizontal y sus secciones transversales. A su vez, el diseño óptimo de la carretera dependerá también del criterio del ingeniero diseñador y de las especificaciones establecidas para la misma.

Para poder determinar las características del alineamiento horizontal, vertical y sección transversal fue necesario evaluar la topografía y el tránsito de la zona (capítulos II y V respectivamente) y establecer los parámetros técnicos que definirán los componentes de diseño geométrico en el cual se emplearon los siguientes detalles recopilados del Manual Centroamericano de Normas de Diseño Geométrico De Las Carreteras Regionales con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, SIECA 3<sup>ra</sup> Edición, 2011 y forma de apoyo versión 2004.

### **3.2. Componentes principales del diseño geométrico**

#### **3.2.1. Velocidad de diseño**

La velocidad de diseño (también conocida como velocidad directriz) es la velocidad seleccionada para determinar varias características geométricas de la carretera. La velocidad de diseños asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera.

La velocidad de proyecto es un factor de primordial importancia que determina normalmente el costo del camino y es por ello por lo que debe limitarse para

obtener costos bajos. Todos los elementos del proyecto de un camino deben calcularse en función de la velocidad de proyecto.

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

### 3.2.2. Tipo de área

En el tipo de área se pueden definir dos tipos:

- Rural: (Menor índice poblacional, se dedican a la agricultura y ganadería).
- Urbana: (Mayor índice de población y una economía orientada a la industria o los servicios)

Por lo tanto, se puede clasificar el área del tramo de diseño como un tipo de área urbana, ya que el tramo en estudio forma parte de un barrio de la comarca y se encuentran localizadas varias industrias promoviendo el comercio.

### 3.2.3. Condiciones del terreno

Los tipos de condiciones de un terreno son las siguientes:

- Plano
- Ondulado
- Montañoso

**Tabla N° 2: Clasificación del terreno según su pendiente**

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

**Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2004, Pág. 4-63.**

Tomando en cuenta el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004), la topografía del terreno y las vitas planta perfil usando la herramienta del software Auto Cad, Civil 3D 2020,

la pendiente fue de del 2.18%, por lo tanto, se puede clasificar como un terreno llano o plano.

#### 3.2.4. Clasificación funcional:

La clasificación funcional es el proceso por el cual las carreteras y calles son agrupadas en clases, o sistemas, de acuerdo a las características de servicio al tráfico que se intente proveer.

La clasificación funcional de las carreteras, admite el establecimiento de doce tipos básicos de carreteras entre rurales y urbanas, con límites en lo que respecta a volúmenes de tránsito para diseño.

**Tabla N° 3: Clasificación de las carreteras**

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

**Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA, 2011, pág.33)**

Teniendo en cuenta el capítulo 5, Estudio de Tránsito, Pág. 86 el resultado del TPDA proyectado a 20 años, (4605 vpd) y la tabla N° 3, podemos obtener la clasificación funcional de la carretera: “Arterial menor urbana” ya que esta atraviesa un medio urbano densificado, donde se desarrollan numerosas

actividades que necesitan de la vía para mantener un grado adecuado de accesibilidad dando lugar a conexiones múltiples con el viario transversal y a pasos de peatones.

Para el caso del proyecto en estudio se consideró establecer una velocidad de proyecto que se ajuste en todo lo posible a las necesidades, características y condiciones existentes en el corredor del camino, y que a la vez nos permita mejorar tanto la velocidad de recorrido actual como considerablemente la infraestructura existente así como la confortabilidad de los usuarios del camino de toda el área de influencia del proyecto, el manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales dice textualmente:

Se admite que, en las categorías inferiores de la clasificación vial, con la debida consideración de las condiciones topográficas del terreno, se reduzcan en forma gradual las velocidades recomendadas para diseño, hasta límites prácticos y razonables. En las arterias urbanas reguladas por los conocidos dispositivos de control del tránsito, se acepta que las velocidades de ruedo sean limitadas a 30 y en determinadas circunstancias hasta 25 kilómetros por hora, con lo que las menores velocidades de diseño pueden ubicarse en los 40 kilómetros por hora.” (Véase “2.4.2 Velocidad de diseño” Pág.2-13 del Manual Centroamericano de Normas SIECA-2004).

De acuerdo a las características del proyecto, conforme el “Manual de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales”, se seleccionó una velocidad de diseño de 40 KPH.

### 3.2.5. Distancia de visibilidad de parada

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto delante de su recorrido. Esta distancia se calcula para que un conductor, por debajo del promedio, alcance a detener su vehículo ante el peligro u obstáculo que se le presente.

La distancia de visibilidad de parada está dada por lo siguiente:

**Tabla N° 4: Distancia de visibilidad de parada y de decisión en terreno plano**

Velocidad de diseño	Velocidad de Marcha	Tiempo de Percepción y Reacción		Coeficiente de Fricción	Distancia de Frenado	Distancia de Parada
		Tiempo (s)	Distancia (m)			
Km/h	Km/h			f	(m)	(m)
30	30-30	2.5	20.8-20.8	0.4	8.8-8.8	30-30
<b>40</b>	<b>40-40</b>	<b>2.5</b>	<b>27.8-27.8</b>	<b>0.38</b>	<b>16.6-16.6</b>	<b>45-45</b>
50	47-50	2.5	32.6-34.7	0.33	24.8-28.1	57-63
60	55-60	2.5	38.2-41.7	0.31	36.1-42.9	74-85
70	67-70	2.5	43.8-48.6	0.3	50.4-62.2	94-111
80	70-80	2.5	48.6-55.6	0.3	64.2-83.9	113-139
90	77-90	2.5	53.5-62.4	0.3	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, Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, 2004, Cuadro 4.6, p.4-28

Por lo tanto, la distancia requerida es de 45 m

### 3.2.6. Distancia de visibilidad de adelantamiento

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

Debido que la zona en estudio es una calle urbana, y las intersecciones que se anexan al tramo se encuentran muy próximas entre sí y teniendo en cuenta la Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA- 2011, pág. 79, cuadro 3.3, en donde la distancia necesaria para una velocidad de diseño de 40 KPH es de 270 m, se recomienda no adelantar dentro de este tramo.

### 3.2.7. Vehículo de Diseño

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

De acuerdo al estudio de tránsito, los tipos de vehículos que hacen mayor presencia en la vía, exceptuando los vehículos livianos como el automóvil, camioneta, jeep, y motos, y teniendo en cuenta que los vehículos pesado de carga no hacen mucha presencia en la vía, el bus es el que cuenta con mayor presencia con un porcentaje de 6.81%, (ver capítulo V: Estudio de Tránsito, pág.75, Tabla N° 29) y basándose en la Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA- 2011, pág. 37, un bus puede utilizarse en el diseño de intersecciones de carreteras colectoras con calles urbanas que han sido diseñadas como rutas de buses y que la usen relativamente pocos camiones grandes. En anexos, Imagen N° 20, Pág. IV, se presenta esquema de las características estructurales funcionales operativas del vehículo de diseño.

### 3.2.8. Radio mínimo

El radio mínimo es un valor limitante de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relaciona con el peralte máximo y la máxima fricción lateral seleccionada para el diseño.

Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte o la sobreelevación de la curva no son suficiente para contrarrestar la velocidad, o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se

produce el deslizamiento del vehículo. Un vehículo derrapa en las curvas debido a la presencia de agua y arena sobre la superficie de rodamiento.

El uso de radio más reducidos solamente puede lograrse a costas de incómodas tasas de peralte o apostando a coeficiente de fricción lateral que pueden no estar garantizados por la adherencia de las llantas con la superficie de rodamiento de la carretera.

Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación ( $e_{max}$ ), el valor del radio mínimo se calcula de la siguiente manera:

$$R_{MIN} = \frac{v^2}{127(e_{max}+f)} \quad \text{Ecuación No. 1}$$

En donde:

Rmin = Radio mínimo de la curva, en metros.

emax = tasa de sobreelevación en fracción decimal

f = factor de fricción lateral

V = velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

**Tabla N° 5: Tasa de sobreelevación según su área**

Tasa de Sobreelevación "e <sub>max</sub> " "en (%)"	Tipo de Área
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	urbana

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA- 2004, pág. 4-36

**Tabla N° 6: Radio mínimo y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño**

velocidad de Diseño	Factor de Ficción Máxima	Peralte Máximo 4%		
		Radio		Grado de Curvatura
		Calculado	Recomendado	
30	0.17	33.7	35	32°44'
40	0.17	60	60	19°06'
50	0.16	98.4	100	11°28'
60	0.15	149.2	150	7°44'
70	0.14	214.3	215	5°20'
80	0.14	280	280	4°05'
90	0.13	375.2	375	3°04'
100	0.12	492.1	490	2°20'
110	0.11	635.2	635	1°48'
120	0.09	872.2	870	1°19'

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA- 2004, pág. 4-41

→ Cálculo del radio mínimo

$$R_{MIN} = \frac{40^2}{127.0(0.04 + 0.17)}$$

$$R_{MIN} = 59.99 \cong 60 \text{ m}$$

Para la velocidad de diseño propuesta y la súper-elevación máxima adoptada, basados en las recomendaciones del Manual Centroamericano el radio mínimo de curvatura es de 60 m para la una velocidad de 40 kph siendo este el recomendado.

### 3.2.9. Elementos de la sección transversal

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

### 3.2.9.1. Pendiente transversal o bombeo

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

Para el diseño geométrico se ocupará un bombeo del 2.0%, en base a lo citado tanto en la SIECA el cuales dice lo siguiente:

La pendiente transversal de una carretera de primera clase con dos carriles en tangente, debe ser del 2.0 por ciento del centro de la sección hacia fuera. Cuando existan más de dos carriles por sentido, cada carril adicional irá incrementando su pendiente transversal entre 0.5 y 1.0 por ciento. En áreas de intensa precipitación pluvial, la pendiente de los carriles centrales puede incrementarse a 2.5 por ciento, con un medio por ciento incremental en los carriles contiguos hacia fuera, pero sin superar un 4.0 por ciento. Para carreteras con superficie de calidad intermedia, la pendiente transversal desde la cresta de la sección puede variarse entre 1.5 y 3.0 por ciento, en tanto que las carreteras con superficie de rodamiento de baja calidad, el rango de pendiente transversal puede fijarse entre 2.0 y 4.0 por ciento (Véase “Cap.4, Componentes del diseño geométrico, 4.3.1” Pág.4-6 del Manual Centroamericano de Normas SIECA-2004).

### 3.2.9.2. Ancho de carril

El ancho de carril de 3.6 metros es deseable para las carretas de la red regional, de manera que una calzada de dos carriles con 7.2 metros ofrecerá óptimas condiciones para circulación vehicular. Cuando haya restricciones en el derecho de vía, el carril de 3.3 metros se considerará recomendable; en tanto que el carril de 3.0 metros de ancho es aceptable únicamente en el caso de vías diseñadas para baja velocidad. Se admite el uso de carriles de 3.3 metros en la parte interior de autopista y hasta 3.8 metros en los carriles exteriores, para permitir más comodidad y seguridad a los vehículos lentos y las bicicletas, en el centro de la

sección transversal para facilitar los giros a izquierda, los anchos recomendables varían entre 3.0 y 4.8 metros

El ancho de carril que se definirá será del 3.5 m teniendo en cuenta que es una zona urbana, por donde transitan un sin número de peatones y circulan una gran cantidad de Buses

### 3.2.9.3. Medianas

La mediana o franja separadora central es una franja de terreno localizada al centro de dos carriles de sentido contrario en carreteras divididas, que pueden construirse al nivel de la pista principal, o tener su sección transversal elevada o deprimida, siendo preferible esta última solución por su contribución al drenaje longitudinal en las autopistas y carreteras divididas recomendándose en este caso particular que la pendiente de la mediana sea en la proporción 6 a 1, aunque una relación 4 a 1 puede ser igualmente aceptable.

**Tabla N° 7: Ancho de mediana recomendable para las carreteras regionales**

Tipo	Clasificación	Ancho de Mediana (m)
AA	Autopista	12 o mas
AR y AU	Arterial Rural y Arterial Urbana	4 - 12
CMR y CMU	Colectora Mayor Rural y Colectora Mayor Urbana	2 - 6
AMR y AMU	Arterial Menor Rural Y Arterial Menor Urbana	Sin mediana
CR, CS	Colectora Menor Rural y Colectora Menor Urbana	Sin mediana

**Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras regionales. SIECA 2011, Pág. 144**

Por su clasificación como Arterial Menor Urbana, no amerita mediana.

### 3.2.9.4. Acera

Donde hay abundancia de peatones, los volúmenes de tránsito son elevados y las velocidades permitidas son significativas (mayores de 60 km por hora), especialmente en sitios de circunvalación de poblados y ciudades, se recomienda que, al lado de los carriles exteriores, se construya aceras o andenes para la circulación peatonal. Como una recomendación general de aplicación en Centroamérica, se deben construir aceras en las calles y en las carretas que carezca de hombros, procurándose en este último caso que las aceras estén fuera de la pista de rodaje y, posiblemente, en los límites del derecho de vía. Los Datos de tránsito confirman que las aceras ofrecen un medio efectivo para reducir accidentes peatonales.

En áreas urbanas y suburbanas, debe existir una franja de un mínimo de 3.0 metros de ancho como espacio de amortiguación para la construcción de aceras y la instalación de servicios como alumbrado público, hidrantes, teléfonos, etc. Las aceras pueden variar entre 1.0 y 2.0 metros de ancho, con una franja verde que separa de la pista principal de 0.6 metros de anchos, como mínimo. Cuando la acera se construya a la orilla del bordillo de la cuneta, debe tener un ancho extra de 0.6 metros, para compensar la carencia de la zona verde de transición.

**Tabla N° 8: Ancho mínimo de hombros y aceras**

Tipo de Carretera	Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de Aceras (m)	
			Internos	Externos		
AA	Autopista	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 - 3.0	
AR	Arterial Rural	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 - 3.0	2
AU	Arterial Urbana	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 - 3.0	2
AMR	Arterial Menor Rural	-	Alto	-	1.2 -1.6	1.0 - 1.2
AMU	Arterial Menor Urbana	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 - 1.2
CMR	Colectora Mayor Rural	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 - 3.0	1.2 - 2.0
CMU	Colectora Mayor Urbana	-	Alto	0.5 - 1.0*	1.2 -1.8	1.2 - 1.5
CR	Colectora Menor Rural	-	Intermedio	-	1.2 -1.6	1.0 - 1.2
CS	Colectora Menor Urbana	-	Intermedio	-	1.2 -1.6	1.0 - 1.2
LR	Local Rural	-	Intermedio	-	0.75 -1.6	1.0 - 1.2
LU	Local Urbano	-	Intermedio	-	0.75 -1.6	1.0 - 1.2
R	Rural	-	Bajo	-	-	-

**Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras. SIECA 2004, Pág.4-9**

Este tramo por ser considerada un arterial menor urbano tendrá un ancho de acera de 1 metro.

#### 3.2.9.5. Bordillos y cunetas

Los bordillos se usan extensamente en las carretas urbanas y suburbanas, siendo su uso muy limitado, más bien nulo, en las carretas rurales. Esto tiene que ver con la función que desempeñan dichos dispositivos, como son el control del drenaje, la delimitación del borde del pavimento, la determinación del borde de las aceras o de la zona de protección de los peatones o, simplemente, por razones de estética.

El ancho del bordillo se considera como un elemento de la sección transversal fuera del ancho de los carriles, podría decirse que más bien debe estar situado a unos 0.3-0.6 metros del borde del carril en vías urbanas, y en el borde del hombro en carretas rurales.

Combinados con una sección de cuneta, los bordillos pueden formar parte integral del sistema de drenaje superficial longitudinal de la carretera. El bordillo-cuneta se instala normalmente cuando la carreta discurre en un ambiente urbano y suburbano, para encauzar las aguas hacia los tragantes y tuberías de drenaje, cajas o puentes.

Tomando en cuenta las indicaciones del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras. SIECA 2004, Pág.4-11, se propuso un tipo de bordillo de barrera o un bordillo-cuneta, para facilitar el escurrimiento superficial de las aguas en la vía. (Ver Anexo, Pág. V, Imagen N° 22)

### **3.3. Alineamiento horizontal**

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

### 3.3.1. Curvas de nivel

El sistema de representación de curvas de nivel consiste en cortar la superficie del terreno mediante un conjunto de planos paralelos entre sí, separados una cierta distancia unos de otros. Cada plano corta al terreno formando una figura (plana) que recibe el nombre de curva de nivel. La proyección de todas estas curvas de nivel sobre un plano común da lugar a la representación buscada.

### 3.3.2. Perfil longitudinal

Al proyectar sobre un plano vertical las distintas elevaciones del eje de la carretera, se obtiene el alineamiento vertical o perfil del eje de la carretera. En este alineamiento se representan tanto el perfil del terreno natural como el perfil terminado del eje de la carretera, al cual se le llama rasante, o el perfil del eje terminado de la terracería, también conocido como subrasante.

### 3.3.3. Drenaje superficial

El drenaje superficial debe de estar bien diseñado para lograr evacuar rápidamente las aguas de la superficie de pavimento, evitando que el agua se infiltre en la estructura de pavimento provocando daños considerables a corto o largo plazo.

Una pendiente mínima de 0.30 % es aceptable para facilitar el drenaje, no obstante, es recomendable que se utilice una pendiente del 0.50% o más. Si hay banquetas adyacentes, se recomienda una pendiente máxima del 5.0 % para cumplir con los criterios aplicables como Uniform Federal Accessibility Standards (UFAS) (8) y otros. La pendiente en una calle urbana generalmente se diseña debajo de nivel del terreno colindante para drenar las propiedades adyacentes al área de bordillos y de estos al sistema de drenaje pluvial.

En este caso se dará una pendiente longitudinal que cumpla al  $\pm 0.50\%$  para que se dé un drenaje satisfactorio en el tramo de vía.

#### 3.3.4. Rasante

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

#### **3.4. Secciones transversales**

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

#### **3.5. Derecho de vía**

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

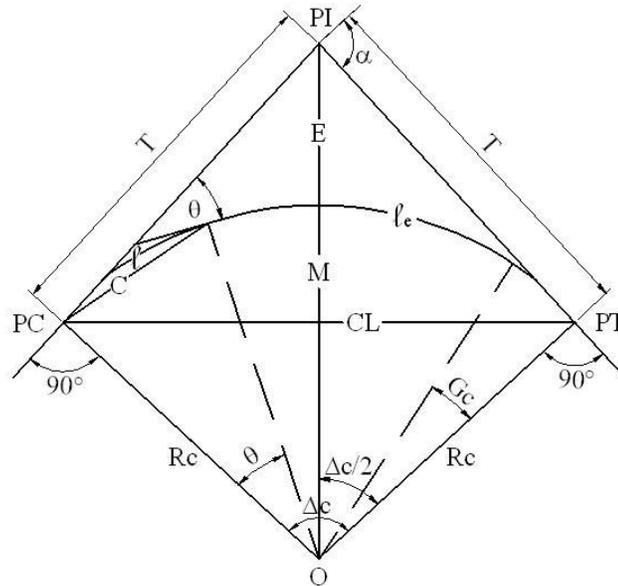
El derecho de vía es variable, fluctúa desde los 12.0 metros hasta los 18.0 metros, con un promedio de 15.0 metros en los sectores de menos población.

Durante la proyección de la geometría planimetría de la vía se ha ajustado en todo lo posible a la geometría y configuración del trazo existente a fin de reducir al mínimo las afectaciones a las propiedades aledañas al camino. Por lo que se recomienda un ancho de 16.0 m.

### 3.6. Curvas Circulares Simple

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

#### Imagen N° 3 Elementos de una curva circular simple.



**Fuente:** Tesina metodología para diseños de proyectos

Donde:

PI: Punto de intersección de la prolongación de las tangentes

PC: Punto en donde empieza la curva simple

PT: Punto en donde termina la curva simple

$\alpha$ : Angulo de deflexión de las tangentes

$\Delta C$ : Angulo central de la curva circular

$\theta$ : Angulo de deflexión a un punto sobre la curva circular

GC: Grado de curvatura de la curva circular

RC: Radio de la curva circular

T: Tangente de la curva circular o sub-tangente

E: Externa (E)

M: Ordenada (M)

CL: Cuerda larga

l: Longitud de un arco

le: Longitud de la curva circular

### 3.6.1. Tangente de curva o sub tangente

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

$$T = R * \tan(\Delta/2) \quad \text{Ecuación No. 2}$$

### 3.6.2. Grado de curvatura:

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

$$G_c = \left( \frac{1145.92}{R} \right) \quad \text{Ecuación No. 3}$$

### 3.6.3. Radio de curvatura:

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

$$R = \frac{1145.92}{G_c} \quad \text{Ecuación No. 4}$$

### 3.6.4. Longitud de la curva:

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

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} \quad \text{Ecuación No.5}$$

### 3.6.5. Externa:

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

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

Ecuación No. 6

3.6.6. Ordenada media (M):

Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva.

Se representa con la letra "M" y su fórmula de cálculo es:

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

Ecuación No. 7

Si los dos puntos de la curva son el PC y el PT, a la cuerda resultante se la llama

3.6.7. Cuerda larga:

Se la representa con las letras "CL" y su fórmula es:

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

Ecuación No. 8

### 3.7. Alineamiento vertical

El alineamiento vertical, es la proyección sobre un plano vertical, del desarrollo del eje de la sub corona (sub rasante). Los elementos que integran esta proyección, son tangentes y curvas. La proyección del eje en un tramo recto define la tangente y el enlace, de dos tangentes consecutivas de pendientes diferentes se efectúa por medio de una curva.

3.7.1. Tipos de pendientes:

- Pendiente Gobernadora

Es la pendiente del eje de un camino que se puede mantener indefinidamente y que sirve como base para fijar las longitudes máximas que se da a pendientes mayores a ella, para una velocidad de proyecto dada.

- Pendiente Máxima

Es la mayor pendiente del eje de un camino que podrá usar una longitud determinada.

- Pendiente mínima

La pendiente mínima se fija para permitir el drenaje. En los terraplenes puede ser nula, en los cortes se recomienda 0.5% mínimo, pero en ocasiones la longitud de

los cortes y la precipitación pluvial pueden llevar a aumentar esa pendiente mínima.

Del estacionamiento 0+797.53 al 0+808.87 se utilizó una curva circular, calculado por el Software Auto Cad-Civil 3D 2020. Dando los siguientes resultados:

**Tabla N° 9: Datos de curva circular simple**

<u>Curva Circular</u>			
Delta	02° 39' 07.6111"	Tipo	Derecha
Radio	200.000		
Longitud de cuerda	9.258	Tangente	4.630
Mediana	0.054	Externa	0.054
Cuerda Larga	9.257	Rumbo	N 35° 22' 50.9689" E
		Coordenadas UTM	
	Estación	Este	Norte
PI	0+797.53		
Pc	0+786.19	568955.970	1348568.730
Pt	0+808.87	568970.030	134876.480

**Fuente: Elaboración por sustentantes, AutoCAD Civil 3D**

Se comprobaron los resultados dados por el programa de la curva con las ecuaciones No.1 a No.7 antes expuesta en el inciso 3.6.2. A continuación se procedió a realizar el cálculo de la siguiente curva circular simple:

$$\Delta(\Delta) = 02^{\circ} 39' 07.6111" = 2.65$$

$$R = 200.00$$

$$Vd = 40Km/h$$

$$Gc = \frac{1145.92}{200.00} = 5^{\circ}43'56" \text{ Ecuación No.3}$$

$$T = 200m * \left( \tan \frac{2.65}{2} \right) = 4.62m \text{ Ecuación No.2}$$

$$E = \frac{200}{\cos \frac{2.65}{2}} - 200 = 0.05m \text{ Ecuación No.6}$$

$$M = 200m \left( 1 - \cos \left( \frac{2.65}{2} \right) \right) = 0.05m \text{ Ecuación No.7}$$

$$Lc = \frac{\pi * 200m * 2.65}{180} = 9.25m \text{ Ecuación No.13}$$

$$CL = 2 * 200m * \sin \frac{2.65}{2} = 9.25$$

Ecuación No.8

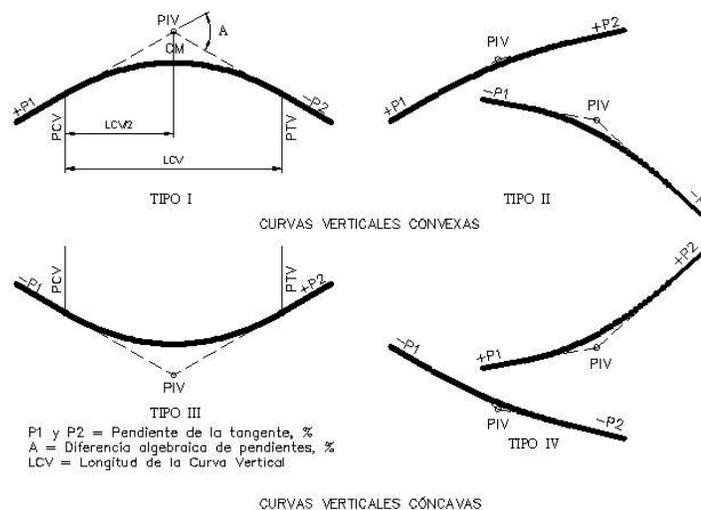
### 3.7.2. Curvas Verticales:

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

Las curvas parabólicas debido a sus cualidades, como sus curvas de transición y su adaptabilidad al método de ordenadas, se utilizan exclusivamente para curvas verticales que unen tangentes en pendiente del perfil de carreteras. También se usan mucho al proyectar bombeos o perfiles transversales de calzadas.

Se considera que cuando la diferencia algebraica de pendientes es menor de 0.5%, no es necesaria la curva vertical.

#### Imagen N° 4 Elementos de una curva vertical



**Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA, 3ª Edición, 2011, Pág.123.**

Donde:

PIV: Punto de intersección vertical.

PCV: Principio de la curva vertical.

PTV: Principio de tangente vertical.

P1: Pendiente de la tangente de entrada, en %

P2: Pendiente de la tangente de salida, en %

L: Longitud de la curva vertical, en metros

$$L = K * A$$

Ecuación No.9

Donde:

A = |P2 - P1|, en % (Diferencia algebraica de pendientes.)

Ecuación No.9.1

K: Factor que establece condiciones óptimas de visibilidad.

### 3.7.3. Tipo de curvas verticales

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

→ Curvas Verticales en Cresta:

Las longitudes mínimas de curvas verticales en cresta que se basa en el criterio de distancias de visibilidad (S), generalmente son satisfactorias desde el punto de vista de seguridad, confort y apariencia. Las ecuaciones básicas para calcular la longitud de una curva vertical en cresta, en términos de la diferencia algebraica de pendientes y distancia de visibilidad son:

Cuando S es menor que L

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

Ecuación No.10

Cuando S es mayor que L

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

Ecuación No.11

Donde:

L: Longitud de la curva vertical, m.

S: Distancia de visibilidad, m.

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje.

h1: Altura del ojo sobre la superficie del camino, m.

h2: Altura del objeto sobre la superficie, m.

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

→ Cuando S es menor que L

$$L = \frac{AS^2}{658} \quad \text{EcuaciónNo.12}$$

→ Cuando S es mayor que L

$$L = 2S - \frac{658}{A} \quad \text{EcuaciónNo.13}$$

Cuando la altura del ojo y del objeto son 1,080 mm y 1,080 mm, respectivamente, y se usa la distancia de visibilidad de adelantamiento, las ecuaciones anteriores se vuelven:

→ Cuando S es menor que L

$$L = \frac{AS^2}{864} \quad \text{EcuaciónNo.14}$$

→ Cuando S es mayor que L

$$L = 2S - \frac{864}{A} \quad \text{EcuaciónNo.15}$$

Tomando en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad dada, se puede expresar la longitud de la curva vertical en función de su constante K, expresándose entonces  $L = K \cdot A$ , o de otra forma,  $K = L/A$ . Las Tablas 10 y 11 muestran los valores calculados para K.

K = Longitud (m) por porcentaje de A

**Tabla N° 10: Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada**

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, (SIECA-2011) Pág.125.

**Tabla N° 11: Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de rebase.**

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (m)	Tasa de Curvatura Vertical K
		Para Diseño
30	200	46
40	270	84
50	345	138
60	410	195
70	485	272
80	540	338
90	615	438
100	670	520
110	730	617
120	775	695

Fuente: Manual Centroamericano de Normas Para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, (SIECA-2011) Pág.125.

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

Cálculos de curva vertical

$P_1 = 0.50\%$

$P_2 = -0.50\%$

$PIV = 0+140.68$

Por lo tanto, se procede a calcular A por medio de la ecuación 9:

$$A = |P2 - P1| = (-0.50\%) - (0.50\%) = 1.00\%$$

Lo siguiente es calcular la longitud mínima de la curva en cresta en base a los valores K de visibilidad de parada y de rebase, con velocidad de diseño de 40 km/h, ver tablas No.10 y No.11 pág.34-35, los cuales corresponde a 4 y 84 respectivamente, se selecciona el valor de 84 para que cumplan ambos criterios de visibilidad.

→ Longitud de curva

$$L = K * A$$

Ecuación No.16

$$L = 84 m * (1) = 84m$$

La longitud de curva en cresta es mayor que la distancia mínima de parada donde se cumple la condición de seguridad donde  $L > D_p$

$$84 m > 45m$$

**Tabla N° 12: Parámetros de diseño.**

N°	Descripción	Símbolo	Unidad	Valores
1	Clasificación Funcional	-	-	Arteria Menor Urbana
2	Ancho del derecho de vía	ADV	m	16
3	Tipo de Terreno	-	-	Plano
4	Velocidad de diseño	Vd	KPH	40 KPH
5	Vehículo de diseño	Veh.	tipo	Bus-S11
6	Radio mínimo de Curvatura	Rmin	m	60
7	Grado de curvatura máximo	Gc	G°M"S	5°43"56"
8	N° de carriles de rodamiento	Nc	m	2
9	Ancho total del rodamiento	Ar	m	7
10	Bordillo Típico	Bt	m2	0.15x0.35
11	Aceras	Ac	m	1
12	Pendiente de acera	Pa	%	2
13	Bombeo	Bt	%	2
14	Pendiente longitudinal máxima	Pend.	%	2.18
15	Distancia de visibilidad de parada	DVP	m	45
16	Superficie de rodamiento	DVR	Tipo	Adoquín de Concreto

Fuente: Elaboración por sustentantes.



## Capítulo 4: Estudio de Suelos

#### **4.1. Introducción**

En nuestro país existe una gran variedad de suelos; desde el punto de vista de la Ingeniería Civil todo tipo de obra descansa de una u otra manera sobre el suelo. Muchas de estas obras utilizan la tierra como elemento de construcción para terraplenes, diques y rellenos en general; sin embargo, al momento que se requiere emplear algún tipo de suelo, la selección es bastante rigurosa, basada principalmente en las especificaciones del diseño y por consiguiente en las normas relacionadas en este caso, la AASHTO y la ASTM en general.

Los estudios de suelo para carreteras deben suministrar datos suficientes del subsuelo que permitan definir las propiedades geotécnicas más importantes de los suelos como son: límites de Atterberg, valor soporte (CBR), granulometría, humedad óptima. Además, suministrar información para la selección de bancos de préstamo de materiales para terracerías, sub-base y base.

En este capítulo se presentan los resultados del estudio de suelos que nos permiten determinar las características de la sub-rasante que dará acceso al barrio San Francisco en la comarca de los Brasiles.

#### **4.2. Exploración y Muestreo**

La primera labor por llevar a cabo en la investigación de los suelos, consiste en la ejecución sistemática de perforaciones en el terreno, con el objetivo de determinar la cantidad y extensión de los diferentes tipos de suelo y la forma como éstos están dispuestos en capas.

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

Teniendo en cuenta que es imposible realizar un estudio que permita conocer el perfil de los suelos en cada punto del proyecto, es necesario acudir a la experiencia para determinar el espaciamiento entre las perforaciones con base en

la uniformidad que presenten los suelos según el manual para revisión estudios geotécnicos.

**Tabla N° 13: Criterios para sondeos en una vía.**

<b>Tipo de Zona</b>	<b>Espaciamientos (m)</b>	<b>Profundidad (m)</b>
<b>Carreteras</b>	250-500	1.5
<b>Pistas de Aterrizaje</b>	A lo largo de la línea central 60 – 70	Cortes: -3 m debajo de la rasante. Rellenos: -3 m debajo de la superficie existente del suelo.
<b>Otras Áreas Pavimentadas</b>	1 perforación a cada 1000 m <sup>2</sup>	Cortes: -3 m debajo de la rasante. Rellenos: -3 m debajo de la superficie existente del suelo.
<b>Préstamos</b>	Pruebas suficientes para definir claramente el material	Hasta la profundidad que se propone usar como préstamo.

**Fuente:** Elaboración propia, teniendo en cuenta el Manual para la revisión de estudios geotécnicos del MTI octubre 2008, capítulo 2.

### **4.3. Caracterización de los suelos**

Visualmente se clasifica a los suelos en grupos básicos tales como: grava, arena, limos y arcillas, generalmente el método empleado es la observación directa de las propiedades en campo, tales como: Textura, forma de los granos, granulometría y plasticidad.

#### **4.3.1. Clasificación de los suelos.**

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

- Clasificación de suelos para el propósito de construcción de carreteras, conocido como American Association of State Highway and Transportation officials (AASHTO); según ASTM D-3282 y AASHTO M-145.
- Unified Soil Classification System, conocido como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); según ASTM D-2487-11.

### Imagen N° 5: Clasificación de los suelos según AASHTO

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

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

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

#### 4.3.2. Descripción de los grupos de clasificación

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Grupo A-6:** El material típico de este grupo es la arcilla plástica. Por lo menos el 75% de estos suelos debe pasar el tamiz número 200, pero se incluyen también las mezclas arcillo-arenosas cuyo porcentaje de arena y grava sea inferior al 64%.

Estos materiales presentan, generalmente, grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

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

- Subgrupo A-7-5: Incluye aquellos materiales cuyos índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.
- Subgrupos A-7-6: Comprende aquellos suelos cuyos índices de plasticidad son muy elevados con respecto a sus límites líquidos y que, además experimentan cambios de volumen extremadamente grandes.

#### 4.3.3. Clasificación unificada de suelos (SUCS)

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

Suelos gruesos: Son aquellos suelos que más del 50% de las partículas son retenidas en el tamiz N° 200. Un suelo grueso será grava, si la mayor parte de la fracción gruesa queda retenida en el tamiz N° 4 y se considera como arena en el caso contrario y los suelos finos son aquellos suelos que más del 50% de las partículas pasan el tamiz N° 200. Para distinguir si la fracción fina es de carácter limoso o arcilloso, se emplea carta de plasticidad de casa grande.

#### 4.4. Sondeos manuales sobre la línea

El trabajo que se realizó en campo para conocer las características físicas-mecánicas del suelo consistió en la realización de 6 sondeos con una profundidad de 1.5 m y un diámetro aproximado de 0.40 m, distribuidos a lo largo del tramo (1.5 km), alternados centro, derecha e izquierda de la línea central con una separación de 250m y 300m entre sí, según la conveniencia de la vía que mantiene un tráfico regular. (Ver Anexo, Imagen N° 26, Pág. VI).

En dichos sondeos realizados se tomaron muestras alteradas, dando un total de 18 muestras extraídas de los estratos de suelo encontrado a lo largo del tramo en estudio para realizar las respectivas pruebas de laboratorio, dichas muestras se clasificaron en campo y se registraron con su ficha de identificación. Las muestras obtenidas de los sondeos fueron almacenadas en bolsas de plástico para

posteriormente ser trasladadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería UNI-RUPAP. (Ver Anexo, Fotografía N° 10, Pág. VIII.)

#### 4.5. Sondeo de Banco de Material.

El banco de material propuesto y del cual se utilizó para realizar dichos ensayos es el Banco de Material Mira Flores, que se encuentra ubicado del empalme de Xiloa km 13 1/2, 1 km hacia el norte, siendo este el más indicado por su cercanía al tramo en estudio ha tan solo 4.5 km de distancia, previamente este banco se utilizó para el proyecto vial de ampliación de la NIC-28. Actualmente el banco se encuentra explotado. (Sus propiedades físico-mecánicas se resumen en la tabla N° 17 y 18 y su ubicación en Anexos, Imagen N°27, Pág.VII).

#### 4.6. Trabajo en Laboratorio.

Las muestras fueron sometidas a distintos ensayos de laboratorios de acuerdo a las normas ASTM y normas AASHTO respectivamente para conocer y determinar sus propiedades físico mecánicas, clasificar las mismas y conocer su capacidad de soporte.

Los diferentes tipos de ensayos utilizados se presentan a continuación en la Tabla No. 8 para Sondeos en Línea y para Bancos de Materiales.

**Tabla N° 14: Ensayos realizados en laboratorio**

Tipo de ensayo	Designación	Designación
	ASTM	AASHTO
Análisis Granulométrico de los suelos	D 422	T 88
Límite Líquido de los suelos	D 423	T 89
Límite plástico de los suelos	D 424	T 90
Clasificación de suelos	D 424	M 145
Ensayo Proctor estándar	D 3282	T 99
Ensayo Proctor modificado	D 698	T 180
Ensayo C.B. R	D 1883	T 193

**Fuente: Elaboración por sustentantes.**

#### 4.6.1. Análisis de Granulometría ASTM D-422

El suelo está constituido por infinidad de partículas y la variedad en el tamaño de estas es ilimitada. Cuando se comenzaron las investigaciones sobre las propiedades de los suelos se creyó que sus propiedades mecánicas dependían directamente de esta distribución en tamaños.

El análisis Granulométrico es la determinación de los tamaños de las partículas de una cantidad de muestra de suelo, y aunque no es de utilidad por sí solo, se emplea junto con otras propiedades del suelo para clasificarlo, a la vez que nos auxilia para la realización de otros ensayos.

Existen diferentes procedimientos para la determinación de la composición granulométrica de un suelo. Por ejemplo, para clasificar por los tamaños las partículas gruesas, el procedimiento más expedito es el tamizado. Sin embargo, al aumentar la finura de los granos, el tamizado se hace cada vez más difícil teniéndose entonces que recurrir a procedimientos por sedimentación. En la actualidad los sistemas más utilizados para la clasificación de los suelos, en estudio para diseño de pavimento de carreteras y aeropistas son la American Association of State Highway and Transportation (AASHTO) y American Society of Testing Materials (ASTM).

A continuación, se presenta una tabla en donde se muestran los resultados de los estudios granulométricos de todas las muestras ensayadas de los sondeos sobre la línea:

**Tabla N° 15: Resumen de resultados de ensayos en muestras de sondeos de línea**

Estación	Banda	Sondeos	Muestra No.	Profundidad (m)	% Que pasa por el tamiz									
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200
0+000	DER	1	1	0.00-0.28	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61
			2	0.28-0.66	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61
			3	0.66-1.50	100	100	100	100	98	96	90	80	51	25
0+250	IZQ	2	1	0.00-0.28	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61
			2	0.28-0.66	100	100	100	100	100	100	98	96	84	66
			3	0.66-1.50	100	100	100	100	100	100	98	93	76	62
0+600	DER	3	1	0.00-0.28	100	100	100	100	98	96	90	80	51	25
			2	0.28-0.66	100	100	100	100	98	96	90	80	51	25
			3	0.66-1.50	100	100	100	99	96	94	83	65	41	25
0+900	CEN	4	1	0.00-0.28	100	100	100	100	100	100	98	96	84	66
			2	0.28-0.66	100	100	100	100	100	100	98	96	84	66
			3	0.66-1.50	100	100	100	100	99	98	91	86	71	52
1+150	IZQ	5	1	0.00-0.28	100	100	100	100	99	98	91	86	71	52
			2	0.28-0.66	100	100	100	98	96	93	83	72	46	25
			3	0.66-1.50	100	100	100	98	96	93	83	72	46	25
1+400	DER	6	1	0.00-0.28	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61
			2	0.28-0.66	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61
			3	0.66-1.50	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61

Fuente: Elaboración por sustentantes.

Las 18 muestras obtenidas, se clasificaron según el sistema de la AASHTO (ver tabla N°15) y se agruparon en aquellas que tenían características físicas mecánicas similares, obteniendo un total de 7 muestras y así efectuarles los ensayos correspondientes, con la finalidad de obtener las características básicas de los suelos, tales como: límites, índices, clasificación y CBR.

### **Tabla N° 16: Resumen de Clasificación de los suelos según la AASHTO**

**Fuente:** Elaboración por sustentantes.

De acuerdo a los resultados de laboratorio obtenidos (Tabla N°16), los suelos predominantes son los suelos limosos que se clasifican según el sistema de la AASHTO como A - 4, se encontraron suelos arcillosos tipo A - 6, así como también se hallaron suelo arenoso tipo A-1-b y suelos con grava – arena - limosa y arcillosa tipo A-2-4

Estación	Banda	Sondeos	Muestra No.	Profundidad (m)	Clasificación AASHTO	Significado
0+000	DER	1	1	0.00-0.28	A-4(5)	Suelo limoso
			2	0.28-0.66		
			3	0.66-1.50	A-6(7)	Suelo arcilloso
0+250	IZQ	2	1	0.00-0.28	A-4(5)	Suelo limoso
			2	0.28-0.66		
			3	0.66-1.50	A-6(7)	Suelo arcilloso
0+600	DER	3	1	0.00-0.28	A-2-4(0)	Grava, arena, limosa y arcillosa
			2	0.28-0.66		
			3	0.66-1.50	A-1-b(0)	Fragmento de piedra, grava y arena
0+900	CEN	4	1	0.00-0.28	A-4(5)	Suelo limoso
			2	0.28-0.66		
			3	0.66-1.50		
1+150	IZQ	5	1	0.00-0.28	A-4(5)	Suelo limoso
			2	0.28-0.66	A-1-b(0)	
			3	0.66-1.50		Fragmento de piedra, grava y arena
1+400	DER	6	1	0.00-0.28	A-4(5)	Suelo limoso
			2	0.28-0.66		
			3	0.66-1.50		

También se realizaron los ensayos a las muestras obtenidas en el banco de Materiales “Mira Flores”, cabe resaltar que se recolectaron muestras de selecto gris y Hormigón.

En la siguiente tabla se presentará un resumen de los resultados de los estudios granulométricos y clasificación de suelos de las muestras obtenidas en el banco de materiales. A dichas muestras no se le realizaron pruebas de límites ya que no presentaban características de plasticidad, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla N° 17: Resultados de laboratorio de ensayos de banco de materiales: Selecto gris**

Selecto Gris	% que pasa por el tamiz										Clasificación según AASTHO
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200	
	100	100	99	99	98	96	88	83	64	42	A-4 (Arena Limosa)

Fuente: Elaboración por sustentantes.

**Tabla N° 18: Resultados de laboratorio de ensayos de banco de materiales: Hormigón**

Hormigón	% que pasa por el tamiz										Clasificación según AASTHO
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200	
	100	100	99	97	94	87	54	38	21	17	A-1-b (Fragmento de piedra, Grava y Arena)

Fuente: Elaboración por sustentantes.

#### 4.6.2. Límite de ATTERBERG

Los límites de ATTERBERG, límites de plasticidad o límites de consistencia, se utiliza para caracterizar el comportamiento de los suelos finos.

Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo puede existir cuatro estados de consistencia según su humedad, así, un suelo se encuentra en estado sólido cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco, va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado a otro son los denominados límites de ATTERBERG.

- Determinación del límite plástico de los suelos

El límite plástico se define como la mínima cantidad de humedad con la cual el suelo se vuelve a la condición de plasticidad. En este estado, el suelo puede ser formado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, cambio de volumen, agrietamiento o desmoronamiento.

Para contenidos de humedad mayores que el límite plástico se presenta una caída muy pronunciada en la estabilidad del suelo.

- Determinación del límite líquido de los suelos

El límite líquido es el de mayor contenido de humedad que puede tener el suelo sin pasar del estado plástico al líquido. El estado líquido se define como la condición en la que la resistencia al corte del suelo es tan baja que un ligero esfuerzo lo hace fluir.

El cálculo del índice de plasticidad es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico, e indica el grado de contenido de humedad en el cual un suelo permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido.

En el laboratorio no se le realizaron pruebas de límites a todas las muestras ya que algunas no presentaban características de plasticidad, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla N° 19: Resultados de límites de ATTERBERG a muestras de sondeos de línea**

<b>Muestra combinada</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>Límite Líquido</b>	<b>Límite Plástico</b>	<b>Índice de Plasticidad</b>
<b>1</b>	A-4(5)	31.53	23.27	8.26
<b>3</b>	A-4(5)	28.59	19.80	8.78
<b>6</b>	A-6(7)	33.87	19.07	14.79

**Fuente:** Elaboración por sustentantes.

#### 4.6.3. Ensayo de Proctor estándar.

En mecánica de suelos, el ensayo de compactación proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno.

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

Para poder realizar el ensayo se procedió a mezclar cuidadosamente las muestras necesarias de los sondeo en la línea, según la calificación obtenida anteriormente, obteniendo así una sola muestra, ya que predomina los suelos limosos que se clasifican según el sistema de la AASHTO como A – 4, cabe mencionar que en el sondeo 3 muestras 1 y 2 donde se obtuvo un suelo A-2-4(0) no se realizó ensaye a este suelo ya que no se contaba con suficiente material para realizar las pruebas de Proctor estándar y C.B.R respectivamente.

Este método de ensayo proporciona cuatro procedimientos alternativos para determinar la relación humedad-densidad de los suelos, los cuales son:

Método A: En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm) y es compactado en un molde de 4”

Método B: En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm) o cuando el 40% o menos es retenido en el tamiz No.4 y es compactado en un molde de 6”.

Método C: En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz ¾” (19 mm) y es compactado en un molde de 4”, y el método D en donde en este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz ¾” (19 mm) o es retenido 30% o menos en el tamiz de ¾” y es compactado en un molde de 6”.

Por lo tanto, con lo que respecta al estudio granulométrico de la muestra obtenida, se procedió hacer el ensayo de proctor estándar por medio del método B, ya que el 40% o menos del material son retenidos por el tamiz No.4.

En la siguiente tabla se presentará un resumen de los datos obtenido en el laboratorio para compactación de suelos.

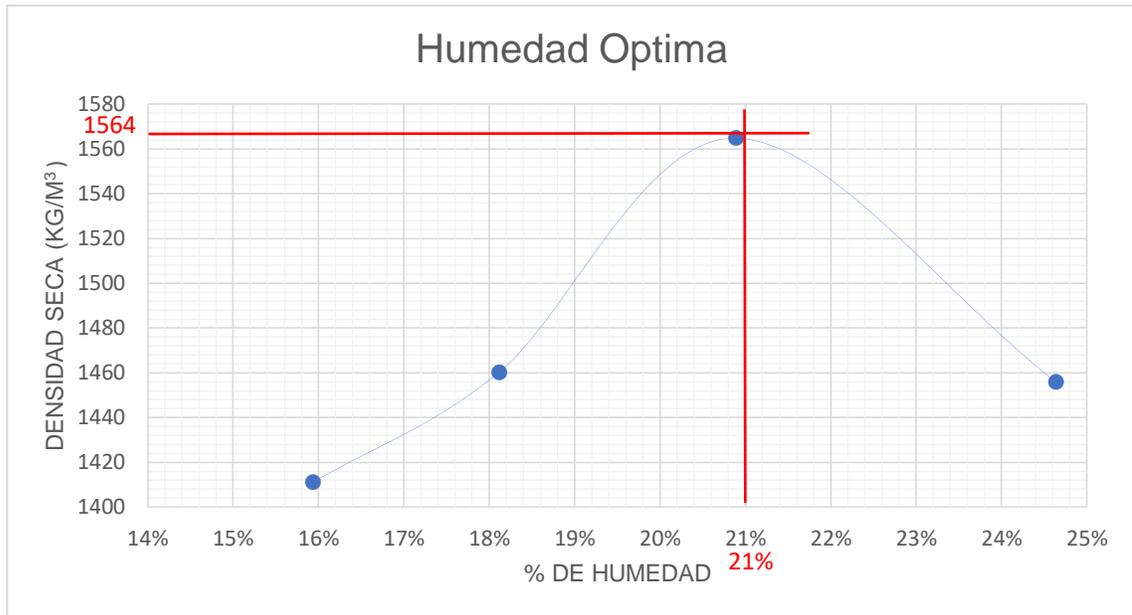
**Tabla N° 20: Recopilación de datos para compactación de suelos**

Fuente: Elaboración por sustentantes.

Ensayo N°	1	2	3	4
Volumen del cilindro(m <sup>3</sup> )	0.000976	0.000976	0.000976	0.000976
Peso del molde cilíndrico (Kg)	4.1838	4.1838	4.1838	4.1838
Peso del material + molde cilíndrico (Kg)	5.7806	5.8672	6.0302	5.9549
Tara No.	P-12	S-11	M-3	D-33
Peso de tara(gr)	54.3	53.5	53.8	53.5
Peso húmedo + tara(gr)	311.8	359.3	317.1	311.5
Peso seco + tara(gr)	276.4	312.4	271.6	260.5
%Humedad	16	18	21	25
Peso volumétrico Húmedo(kg/m <sup>3</sup> )	1636.065	1724.795	1891.803	1814.651
Peso Volumétrico seco(kg/m <sup>3</sup> )	1411.14626	1460.2663	1564.8870	1455.9414
	8	4	3	3

Una vez calculado los valores de peso volumétricos seco y el contenido de humedad, se procede a realizar la gráfica de la curva de compactación, para una vez graficado el punto más alto se obtiene el peso volumétrico máximo y la humedad óptima del suelo en estudio.

**Gráfico N° 1 Densidad seca máxima Vs % de humedad**



**Fuente: Elaboración por sustentantes.**

La Humedad óptima del suelo es de 21% y la densidad seca máxima es de 1564 Kg/m<sup>3</sup>

#### 4.6.4. Ensayo Proctor modificado.

Actualmente existen muchos métodos para reproducir, al menos teóricamente, en laboratorio las condiciones dadas de compactación en terreno. Históricamente, el primer método, respecto a la técnica que se utiliza actualmente, es el debido R.R. Proctor y que es conocido como prueba proctor estándar. El más empleado, actualmente, es la denominada prueba proctor modificado en el que se aplica mayor energía de compactación que el estándar siendo el que está más de acuerdo con las solicitudes que las modernas estructuras imponen al suelo.

Al compactar un suelo se desea lo siguiente:

- Disminuir futuros asentamientos.
- Aumentar la resistencia al esfuerzo cortante.
- Disminuir la permeabilidad del suelo.
- Aumentar el peso volumétrico o densidad del suelo.

Teniendo en cuenta así que las ventajas que representa una compactación adecuada son:

- a) El volumen de vacío se habrá reducido a un mínimo y consecuentemente, su capacidad de absorber humedad también se habrá reducido a un mínimo.
- b) La reducción de vacíos se debe a que las partículas de menor tamaño han sido forzadas a ocupar el vacío formado por las partículas más grandes.

De allí que, si una masa de suelos está bien graduada, los vacíos o poros se reducirán prácticamente a cero y se establecerá un contacto firme y sólido entre sus partículas, aumentando la capacidad del suelo para soportar mayores pesos.

El ensaye de Proctor modificado se crea al crearse también equipos compactadores más pesados que se usan en la pavimentación de carreteras y aeropuertos.

Este método de ensayo proporciona cuatro procedimientos alternativos para determinar la relación humedad-densidad de los suelos, los cuales son:

- Método A: En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm) y es compactado en un molde de 4".
- Método B: En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz No 4 (4.75 mm) o cuando el 40% o menos es retenido en el tamiz No.4 y es compactado en un molde de 6".
- Método C: En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz  $\frac{3}{4}$ " (19 mm) y es compactado en un molde de 4".
- Método D: En este procedimiento se utiliza el material que pasa el tamiz  $\frac{3}{4}$ " (19 mm) o es retenido 30 o menos en el tamiz de  $\frac{3}{4}$ " y es compactado en un molde de 6"

En esta prueba de laboratorio se determina la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de un suelo por medio del método C, usando el material que pasa el tamiz  $\frac{3}{4}$ ".

Este ensayo se aplicó solamente al banco de materiales, realizando determinaciones con diferentes grados de humedad y luego realizar la gráfica de Humedad- Densidad seca.

Se tiene que tener en cuenta que en este caso, se poseen dos tipos de muestras del banco de materiales, el selecto gris y hormigón, por lo tanto se realizó una previa mezcla entre estas dos muestras (Ver anexo, tabla N° 45, Pág. XII), tabla en donde se buscaba una proporción adecuada tanto de selecto gris y Hormigón, teniendo en cuenta los requerimientos de granulometría que deben cumplir según lo estipulado en la Norma NIC 2019 (ver anexo, tabla N° 46, Pág. XII) para obtener una muestra con agregados que fortalezcan la base del camino.

La mezcla se realizó con respecto al valor meta para graduaciones de base, cumpliendo en la mayor parte con la granulometría E según la NIC 2019, siendo estas las estipuladas, obteniendo así que se usara un 90% de selecto gris y un 10% de hormigón.

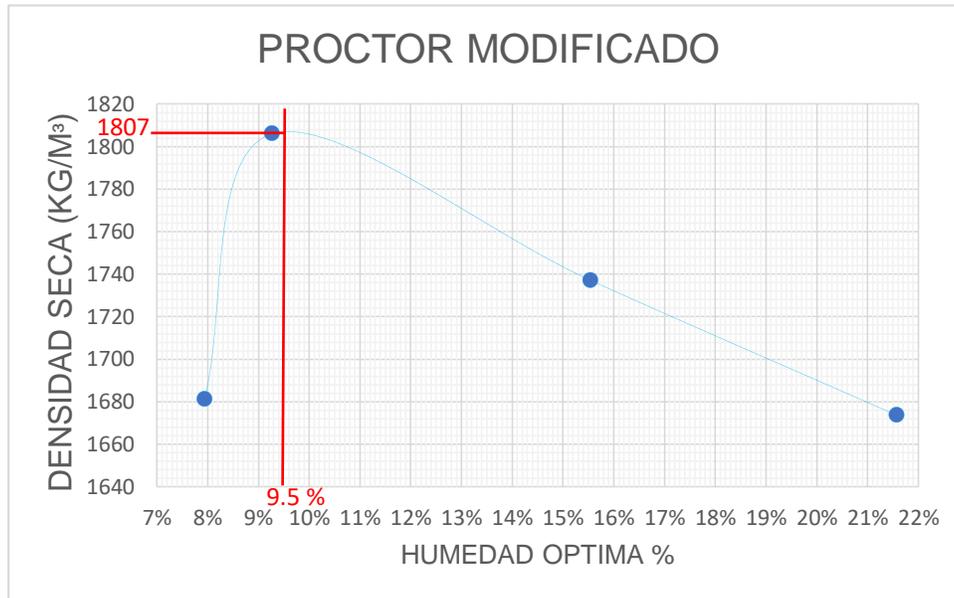
**Tabla N° 21: Recopilación de datos para compactación de suelos**

<b>Ensayo N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Volumen del cilindro(m<sup>3</sup>)</b>	0.000976	0.000976	0.000976	0.000976
<b>Peso del molde cilíndrico (Kg)</b>	4.1831	4.1831	4.1831	4.1831
<b>Peso del material + molde cilíndrico (Kg)</b>	5.954	6.109	6.142	6.169
<b>Tara No.</b>	KR-10	P-12	S-11	B-180
<b>Peso de tara(gr)</b>	53.8	53.9	53.4	54.3
<b>Peso húmedo + tara(gr)</b>	314.9	336.8	312.1	316.9
<b>Peso seco + tara(gr)</b>	295.7	312.8	277.3	270.3
<b>%Humedad</b>	8	9	16	22
<b>Peso volumétrico Húmedo(kg/m<sup>3</sup>)</b>	1814.65164	1973.46316	2007.069672	2034.733607
<b>Peso Volumétrico seco(kg/m<sup>3</sup>)</b>	1681.21115	1806.04312	1737.08117	1673.65749

**Fuente:** Elaboración por sustentantes.

Ya calculado los valores de peso volumétricos seco y el contenido de humedad, se procede a realizar la gráfica de la curva de compactación, para una vez graficado el punto más alto se obtiene el peso volumétrico máximo y la humedad óptima del suelo en estudio

**Gráfico N° 2 Densidad seca máxima Vs % de humedad**



**Fuente: Elaboración por sustentantes.**

La Humedad óptima del suelo es de 9.5% y la densidad seca máxima es de 1807 Kg/m<sup>3</sup>

#### 4.6.5. Ensayo de Valor Soporte California (CBR)

La capacidad de soporte es una de las propiedades más importantes de los suelos. Su comportamiento, al estar sometido a tensiones es bastante más complejo que el de otros materiales. Las deformaciones que experimenta no sólo dependen del “tipo de suelo” que se trate, sino también del estado en que se encuentre éste en cuanto a su contenido de humedad, grado de compacidad, estructura interna, etc. por otra parte, el suelo subyacente a una fundación puede presentar heterogeneidades de importancia, acusando grandes variaciones de resistencia según la dirección de aplicación de las tensiones (anisotropía).

Si se aplican presiones sobre superficies de carga de diferentes formas y dimensiones, en un determinado suelo, se obtienen distintos gráficos de relación tensión–deformación. Aquí interviene un nuevo factor que es la forma y dimensión

del área cargada, pues, la resistencia de un suelo varía con respecto a la forma, dimensiones, velocidad de aplicación de carga y de la deformación del suelo.

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables.

Es un método desarrollado por la división de carreteras del estado de California (EE.UU.) y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos. El ensaye de resistencia más utilizado en nuestro país es el CBR (Relación California de Soporte) dado por la norma AASHTO T-193 y ASTM D-1883.

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

La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$CBR = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} * 100 \qquad \text{Ecuación No.17}$$

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

#### 4.6.5.1. Procedimientos de ensayos:

Se realizaron dos ensayos CBR, tanto para la muestra homogenizada de los sondeos sobre la línea y el material homogenizado del banco de material.

Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de unidad óptimo de mezclado que fue calculada previamente del ensayo de

compactación proctor estándar (ASTM D 698), o modificado (ASTM D 1557), según sea el caso.

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

#### 4.6.5.2. Clasificación del suelo según su CBR

**Tabla N° 22: Clasificación cualitativa del suelo según su CBR**

<b>C.B.R.</b>	<b>Clasificación cualitativa del suelo</b>	<b>USOS</b>
<b>0-5</b>	Muy mala	Sub rasante
<b>5-10</b>	Mala	Sub rasante
<b>10-20</b>	Regular a buena	Sub rasante
<b>20-30</b>	Muy buena	Sub rasante
<b>30-50</b>	Buena	Sub base
<b>50-80</b>	Buena	Base
<b>80-100</b>	Muy buena	Base

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

Para la aplicación de este ensaye se homogenizaron y se mezclaron las muestras obtenidas en los sondeos en línea, de los 6 sondeos obtenidos se determinó 1 muestra para el análisis de CBR donde se sometieron a saturación durante un periodo de 4 días de anticipación, por los resultados obtenidos se determinó que el material se clasifica como un suelo Pobre a Regular.

En las siguientes tablas se presentarán un resumen de los valores obtenido en el ensayo C.B.R. para la muestra de los sondeos sobre la línea y banco de materiales.

**Tabla N° 23: Resultados de Ensayo C.B.R de la muestra de los sondeos sobre la línea para capa sub rasante.**

Penetración	0,1"	0,2"		
Molde A-5	12.355	21.18		
Molde A-1	21.18	30.005		
Molde A-2	33.535	51.185		
<b>Proctor máxima densidad seca (kg/m3)</b>				
		1564		
<b>95% Proctor Máxima densidad seca (Kg/m3)</b>				
		1485.8		
Penetración	Densidad (Kg/m3)	0,1"	0,2"	CBR %
Molde A-5	937.907	1	1	1
Molde A-1	1010.928	2	2	2
Molde A-2	1019.436	3	3	3

Fuente: Elaboración por sustentantes.

**Tabla N° 24: Resultados de Ensayo C.B.R de la muestra del banco de materiales para capa base.**

Penetración	0,1"	0,2"		
Molde A-4	88.25	158.85		
Molde A-3	317.7	653.05		
Molde A-8	335.35	758.95		
<b>Proctor máxima densidad seca (kg/m3)</b>				
		1807.5		
<b>95% Proctor Máxima densidad seca (Kg/m3)</b>				
		1717.125		
Penetración	Densidad (Kg/m3)	0,1"	0,2"	CBR %
Molde A-4	1021.119	9	11	11
Molde A-3	1100.920	32	44	44
Molde A-8	1119.479	34	51	51

Fuente: Elaboración por sustentantes.

Los valores de C.B.R. obtenidos para la muestra de los sondeos en línea para capa sub-rasante para una penetración de 0.1” y 0.2” fueron mucho menores a lo indicado por norma, por tanto, se recomienda en base a lo citado en NIC 2019, Tomo II, sección 1003.21.02 hacer uso del material de préstamo del banco de materiales “Miraflores” para obtener una mejor clasificación del CBR para una capa sub-rasante, pero debido a la falta de material del banco no se realizó dicha estabilización.

En lo que respecta a los valores de C.B.R. para la muestra del banco de materiales se obtuvieron valores por debajo a los rangos indicados para una capa base e ideales para una capa sub-base, por lo tanto, en este caso para no tener valores tan bajos en el CBR de la capa base se procedió a realizar una estabilización química (suelo-cemento) para mejorar sus propiedades mecánicas y cumplir con las especificaciones antes mencionadas en tabla 16, “Clasificación cualitativa del suelo según su CBR”. El valor de CBR final ocupado para una capa sub-base es de una penetración de 0.2” con un CBR de **51%** a una cantidad de 56 golpes finales establecido por norma.

#### 4.6.6. Estabilización con suelo cemento para capa base en el banco de material

El concepto de mejorar la capacidad de soporte de los suelos a través de su estabilización con aditivos es bastante antiguo; hace 5000 años atrás ya el suelo estabilizaba con cal o puzolanas. A pesar de ello el verdadero auge de esta técnica y su consecuente desarrollo sólo comenzó a ser realmente significativo a partir de la Segunda Guerra Mundial, a raíz de la imperiosa necesidad de construir carreteras y aeropuertos en zonas con carencia de agregados de buena calidad.

La estabilización de suelos con cemento consiste en agregar cemento Portland a un suelo previamente pulverizado y permitir que esta mezcla se endurezca por la hidratación del cemento mejorando así sus propiedades mecánicas. La estabilización tiene como objetivo controlar la expansión de los suelos, reducir la plasticidad (IP), incrementar la resistencia, disminuir la compresibilidad y disminuir la permeabilidad, así como la erosión. Los aditivos estabilizadores que más se

recomiendan utilizar, en dependencia del tipo de suelos analizado, son los siguientes:

- ✚ Cemento: para suelos granulares con algo de fino.
- ✚ Cal: para suelos arcillosos.
- ✚ Cenizas más cal: para suelos granulares.
- ✚ Asfalto: para suelos granulares, arenosos y limosos.

Se propone esta alternativa ya que la estabilización con cemento es una alternativa que ha presentado buenos resultados en los proyectos viales del país.

La prueba de resistencia se realizó con espécimen de suelo – cemento, se aplicó una dosificación, al 6%, para lograr una base de suelo cemento que refleje a los 7 días de edad una resistencia a la compresión del orden de los 21 kg/cm<sup>2</sup>

Según los resultados que se obtuvo a la dosificación del 6% de cemento cumple con lo establecido ya que dio como resultado una resistencia última a la compresión de 22 Kg/cm<sup>2</sup>, en relación a su peso específico, y que es mayor al mínimo establecido en la sección 1003.21.4 de la NIC 2019.

A continuación, se presentará un resumen de los nuevos valores de C.B.R. con el suelo estabilizado con cemento al 6%.

**Tabla N° 25: Valores de C.B.R. con suelo estabilizado con cemento**

Penetración	0,1"		0,2"	
Molde A-1	723.65		1050.175	
Molde A-5	776.6		1217.85	
Proctor máxima densidad seca (kg/m3)				1807.5
95% Proctor Máxima densidad seca (Kg/m3)				1717.125
Penetración	Densidad (Kg/m3)	0,1"	0,2"	CBR %
Molde A-1	931.89	72	70	72
Molde A-5	945.50	78	81	78

**Fuente: Elaboración por sustentantes.**

Por lo tanto, el valor de C.B.R. final ocupado para una capa base es de una penetración de 0.1" con un C.B.R. de **72%** a una cantidad de 25 golpes finales establecidos por noma.

Cabe destacar que el procedimiento de estabilización de suelo selecto mediante el método de suelo-cemento solo se realizó para obtener un CBR al 95% y al 100% de compactación ya que no contábamos con material suficiente para realizar el CBR al 90%.

**Tabla N° 26: Resumen de resultados de estudio de suelos**

I	Banda	Sondeos	Muestra	Profundidad d (m)	% Que pasa por el tamiz										Clasificación AASHTO	Significado	CBR %
					2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.200			
0+000	DER	1	1	0.00-0.28	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61	A-4(5)	Suelo limoso	3
			2	0.28-0.66	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61			
			3	0.66-1.50	100	100	100	100	98	96	90	80	51	25	A-6(7)	Suelo arcilloso	-
0+250	IZQ	2	1	0.00-0.28	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61	A-4(5)	Suelo limoso	3
			2	0.28-0.66	100	100	100	100	100	100	98	96	84	66			
			3	0.66-1.50	100	100	100	100	100	100	98	93	76	62	A-6(7)	Suelo arcilloso	-
0+600	DER	3	1	0.00-0.28	100	100	100	100	98	96	90	80	51	25	A-2-4(0)	Grava, arena, limosa y arcillosa	-
			2	0.28-0.66	100	100	100	100	98	96	90	80	51	25			
			3	0.66-1.50	100	100	100	99	96	94	83	65	41	25	A-1-b(0)	Fragmento de piedra, grava y arena	-
0+900	CEN	4	1	0.00-0.28	100	100	100	100	100	100	98	96	84	66	A-4(5)	Suelo limoso	3
			2	0.28-0.66	100	100	100	100	100	100	98	96	84	66			
			3	0.66-1.50	100	100	100	100	99	98	91	86	71	52			

1+150	IZQ	5	1	0.00-0.28	100	100	100	100	99	98	91	86	71	52	A-4(5)	Suelo limoso	3
			2	0.28-0.66	100	100	100	98	96	93	83	72	46	25	A-1-b(0)	Fragmento de piedra, grava y arena	-
			3	0.66-1.50	100	100	100	98	96	93	83	72	46	25			
1+400	DER	6	1	0.00-0.28	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61	A-4(5)	Suelo limoso	3
			2	0.28-0.66	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61	A-1-b(0)	Fragmento de piedra, grava y arena	-
			3	0.66-1.50	100	100	100	100	100	99	97	92	77	61	A-4(5)	Suelo limoso	3

Fuente: Elaboración por sustentantes.



## 5.1. Introducción

Para diseñar un proyecto vial, es de suma importancia efectuar un estudio de tránsito, tanto de personas como de vehículos, a fin de proyectar una carretera cómoda, rápida y segura.

La determinación de la demanda de tránsito es un elemento fundamental para el estudio y valoración de las intervenciones en caminos y carreteras tanto para la ejecución de mantenimiento como de rehabilitación, reconstrucción y construcción de nuevos tramos viales. Los estudios de la demanda de transporte tienen la importancia de representar el soporte para tomar decisiones sobre los siguientes aspectos específicos a la hora de realizar un proyecto:

- ✚ Necesidades impuestas por la capacidad del proyecto.
- ✚ Especificaciones del diseño geométrico y estructural de la vía en horizontes de 10, 15 y 20 años.
- ✚ Ocurrencia de accidentes, señalización horizontal y vertical.
- ✚ Elaboración de los estudios socioeconómicos y ambientales con tratamiento de diferentes alternativas.

Es necesario recalcar que la demanda de transporte se define por medio del indicador del Tránsito Promedio Diario Anual. TPDA y se complementa con los resultados del estudio de origen y destino que define los parámetros del comportamiento del tráfico, sus orígenes, sus destinos, tipos de vehículos utilizados, etc.

→ La demanda de tráfico forma los siguientes componentes:

Volúmenes de tráfico que en la actualidad se desplazan sobre la vía existente con orígenes y destinos dentro y fuera de ella y el tráfico que genera la actividad productiva en las zonas de influencia directa e indirecta que con el tiempo sufrirá incrementos por actividades naturales de la población y provocados por financiamientos a proyectos que se ejecuten a través de la vida útil de la obra vial.

## 5.2. Volumen de Tránsito

El tránsito que circula por una infraestructura vial no es uniforme a través del tiempo ni con respecto al espacio, ya que hay variaciones de un mes a otro, variaciones diarias, variaciones horarias, variaciones en intervalos de tiempo menor a la hora y variaciones en la distribución del tránsito en los carriles, dependiendo de estas duraciones, se obtienen los siguientes volúmenes totales o absolutos:

- Tránsito anual (TA): Es el número total de vehículos que pasan por un tramo de una vía dada durante un año.
- Tránsito mensual (TM): Es el número total de vehículos que pasan por un tramo de una vía dada durante un mes.
- Tránsito semanal (TS): Es el número total de vehículos que pasan por un tramo de una vía dada durante una semana.
- Tránsito diario (TD): Es el número total de vehículos que pasan por un tramo de una vía dada durante un día.
- Volúmenes de tránsito promedio diario (TPD)

El TPD es una medida de tránsito fundamental, está definida como el número total de vehículos que pasan por un punto determinado durante un periodo establecido. El periodo debe estar dado como días completos y además estar comprendido entre 1 a 365 días. En función del número de días del periodo establecido, los volúmenes de tránsito promedio diarios se clasifican en:

- Tránsito promedio diario anual (TPDA):

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de un año, dividido entre los 365 días del mismo. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TPDA = TP(D)_{12Horas} * Fd * F_E$$

**Ecuación No. 18**

Donde:

$TP(D)_{12Horas}$ : Tránsito Promedio Diario de 12 horas

Fd: Factor día

F<sub>E</sub>: Factor expansión del TPDA

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

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

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

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

### **5.4. Composición del tránsito**

Es la relación porcentual entre el volumen de tránsito correspondiente a cada diferente tipo de vehículos, expresado en función del volumen de tránsito total.

Para el levantamiento de información en campo es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, ya que difieren unos de otros.

- ✚ Vehículos Livianos: Son todos los vehículos de dos ejes y cuatro ruedas, tales como: automóviles, camionetas y camiones de dos ejes con ruedas traseras sencillas y motos.
- ✚ Pesados de pasajeros: Son todos los vehículos cuya función es transportar personas; tales como: microbuses medianos y grandes, y buses.
- ✚ Pesados de carga: Son los vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3, 4, 5 y más ejes, estos vehículos incluyen los camiones de dos ejes (C2), camiones C3, C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos T3S2 y T3S3 y otros tipos de vehículos para la clasificación de vehículos especiales, tales como agrícolas y de construcción (MTI, 2013)
- ✚ Otros: Vehículos agrícolas y de construcción, así como moto taxis, y carretas movilizadas por fuerza animal.

#### 5.4.1. Tipos de vehículos

La hoja de clasificación vehicular usada por el MTI, está compuesta por 18 tipos de vehículos, los cuales se mencionan a continuación:

Motocicleta, Scooter and Moped

Carro y Jeep (coupe, sedan, station wagon, jeep, land rover)

Bus (más de 15 asientos)

Camioneta, van y microbús (utilidad para uso de pasajero)

Camioneta van (utilidad para uso de carga)

Camión rígido sencillo (2 ejes)

Camión rígido sencillo (3 ejes)

Camión más semirremolque (2+1 ejes)

Camión más semirremolque (2+2 ejes)

Camión más semirremolque (3+1 ejes)

Camión más semirremolque (3+2 ejes)  
Camión más semirremolque (3+3 ejes)  
Camión más remolque de barra de tracción (2+2 ejes)  
Camión más remolque de barra de tracción (2+3 ejes)  
Camión más remolque de barra de tracción (3+2 ejes)  
Vehículo agrícola (tractor)  
Vehículo de construcción (niveladora)  
Otro (remolque halado por un vehículo liviano)

#### **5.4. Tipos de Tránsito**

Cuando se lleva a cabo la construcción o mejora de una carretera, se tiene la existencia de un tránsito de vehículos, previo a las obras de construcción o modernización, a este se le conoce como tránsito normal, y conforme a pase el tiempo el tránsito que circula por esa carretera aumentara de acuerdo a una tasa de crecimiento, de acuerdo a estas observaciones se ha determinado la existencia de tres tipos de tránsito relacionado con cualquier proyecto:

- ✚ Tránsito normal: Es aquel que circula normalmente por la carretera. El crecimiento normal del tránsito es el incremento del volumen debido al aumento en número y uso de vehículos de motor.
- ✚ Tránsito generado: Es aquel tránsito que no se hubiese presentado sin el proyecto; aparecen gracias a la disminución de los costos de operación de los vehículos y debido al mejoramiento en el uso del suelo adyacente al camino.
- ✚ Tránsito atraído: Corresponde a aquel existente en otras vías de transporte como rutas alternas, ríos, ferrocarriles o aviones, que dada la reducción de los costos de operación en la nueva carretera se transfiere a esta.

#### **5.5. Tasa de Crecimiento (TC)**

Es el valor expresado en porcentaje que define el incremento anual del volumen de tránsito en una vía, para la determinación de este valor se puede extrapolar los

datos históricos del flujo vehicular de la zona y la demanda de transporte existente, aunque en algunos casos no se cuenta con dichos registro, por lo que se requiere el uso de otras variables representativas y vinculadas al crecimiento de transporte tales como: el producto interno bruto del país (PIB), el consumo de hidrocarburos nacional, el incremento poblacional de la zona, el parque vehicular del sitio, etcétera.

## 5.6. Proyecciones de Tránsito

Consiste en determinar el volumen de tránsito total que circulará por cierta vía en un periodo de diseño específico, se calcula con la siguiente expresión:

$$T_n = T_o(1 + r) \quad \text{Ecuación No. 18}$$

Donde:

T<sub>n</sub> = Tránsito en cualquier año n.

T<sub>o</sub> = Tránsito en el año cero (inicial).

r = Tasa de crecimiento vehicular.

n = Periodo de diseño.

## 5.7. Metodología

Para realizar el Aforo vehicular se establecieron 2 etapas:

1. Recopilación de datos.
2. Procesamiento e interpretación de resultados

### 5.7.1. Recopilación de datos

El conteo vehicular del tramo en estudio fue realizado de forma manual (ver Tablas N° 27, Pág. 72), se ubicó una estación a 50 metros de la entrada principal y se requirió observar ambos sentidos de la vía. Los conteos se realizaron en el periodo de una semana de 12 horas diurnas correspondientes de las 6 am a las 6 pm, comprendidos entre el jueves 30 de julio al miércoles 05 de agosto del año 2020. Las horas de máxima demandan son de 7am a 9am y de 5pm a 6pm.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los resultados obtenidos en los aforos vehiculares que se realizaron.

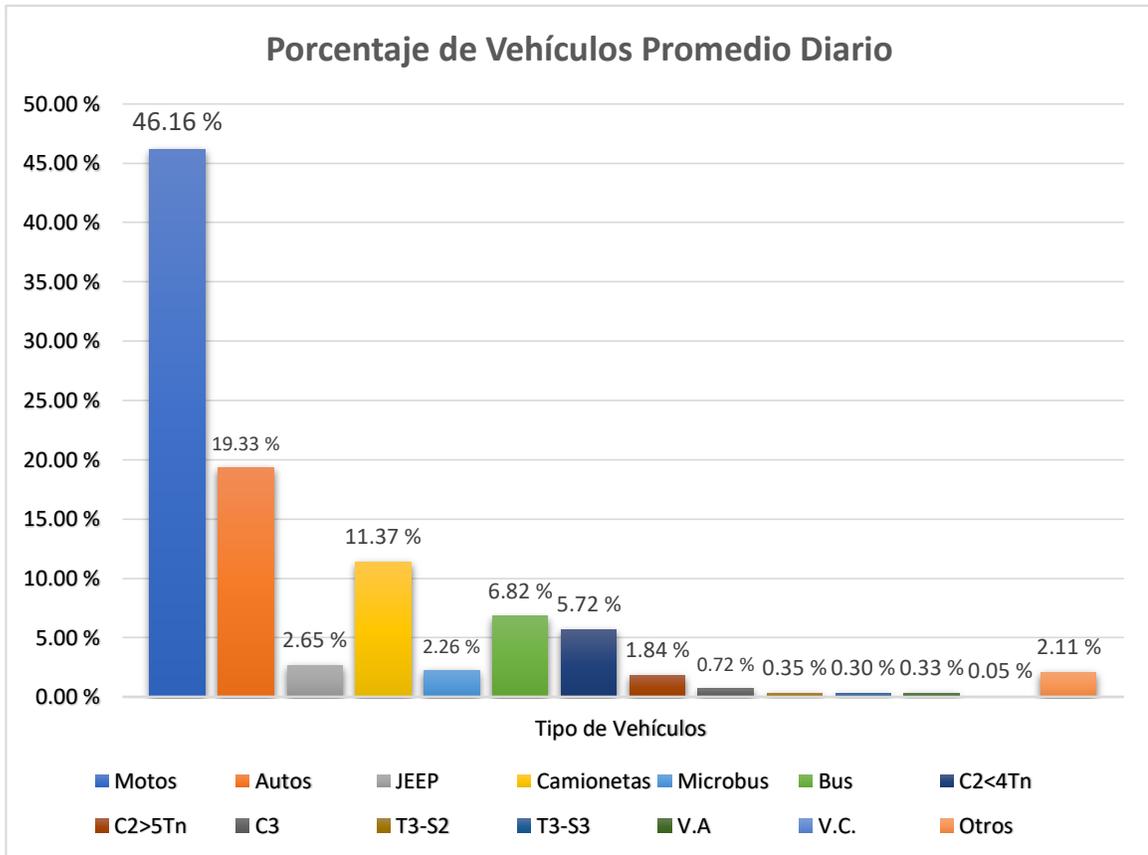
**Tabla N° 27: Resultados de aforo vehicular de 12 horas en ambos sentidos de la comarca los Brasiles**

Lugar: Comarca Los Brasiles		Tramo: Entrada del B° San Fransisco				Estación: 0+050		Sentido: oeste-este		Duracion: 12 hrs		Fecha de Conteo: 30/07/2020 - 05/08/2020						
Días	Motos	Vehículos de pasajeros				42.43 %		Vehículos de carga				8.92 %		Equipo pesado		0.38 %	Otros	Total (Vpd)
		Autos	JEEP	Camionetas	Microbus	Bus	C2<4Tn	C2>5Tn	C3	T3-S2	T3-S3	V.A	V.C.					
Jueves	677	281	50	171	27	102	93	22	8	3	7	4	1	32	1478			
Viernes	808	322	43	207	39	118	93	38	9	5	0	7	0	36	1725			
Sabado	800	324	33	174	18	97	83	14	2	4	2	3	0	28	1582			
Domingo	582	288	25	112	32	87	49	12	4	2	6	4	0	30	1233			
Lunes	739	316	40	186	44	107	96	46	15	12	1	9	0	32	1643			
Martes	690	278	41	184	37	103	98	34	21	5	9	4	3	34	1541			
Miércoles	581	233	48	167	42	107	92	28	17	6	7	4	1	31	1364			
<b>Total</b>	<b>4877</b>	<b>2042</b>	<b>280</b>	<b>1201</b>	<b>239</b>	<b>721</b>	<b>604</b>	<b>194</b>	<b>76</b>	<b>37</b>	<b>32</b>	<b>35</b>	<b>5</b>	<b>223</b>	<b>10566</b>			
% de Vehículo	46.16 %	19.33 %	2.65 %	11.37 %	2.26 %	6.82 %	5.72 %	1.84 %	0.72 %	0.35 %	0.30 %	0.33 %	0.05 %	2.11 %	100.00 %			
TP(D)	697	292	40	172	34	103	86	28	11	5	5	5	1	32	1509			
<b>%Vehículos livianos</b>		<b>81.76</b>				<b>%Vehículos pesados</b>						<b>16.13 %</b>	<b>Otros</b>	<b>2.11 %</b>	<b>100.00 %</b>			

Fuente: Elaboración por sustentantes.

En el siguiente gráfico se muestra el comportamiento vehicular de manera porcentual a lo largo de la una semana de conteo vehicular.

Grafica N° 3: Variación porcentual de vehículos por día.



**Fuente: Elaboración por sustentantes.**

### 5.7.2. Estación de mayor cobertura asociada al camino en estudio

En este estudio debemos determinar cuál es la estación de mayor cobertura (EMC) que está asociada al tramo para poder calcular el TPDA. Según nuestros porcentajes de vehículos livianos (81.76%) y vehículos pesados (16.13%) lo asociamos a la tabla del Anuario de Aforo de Tráficos 2018(Ver tabla N°28, Pág. 79) y se comparó cual EMC tiene mayor similitud a nuestros porcentajes vehicular, siendo la EMC asociada al tramo número 200 “Entrada al INCAE – El Crucero” ,la que presenta porcentajes muy similares a los nuestros, cabe recalcar que la EMC Chinandega (Rotonda)- Ranchería, presenta datos con un mejor similitud pero debido a que dicho EMC no corresponde a la zona geográfica en estudio se decide

trabajar con la EMC 200 (Entrada a INCAE- El Crucero). Por lo tanto, la Estación de Corta Duración que corresponde a la zona en estudio es ECD número 2811, “Entrada a Ciudad Sandino – Los Brasiles (Ver imagen N° 6, Pág. 75).

Los factores obtenidos de la EMC, fueron escogidos en el segundo cuatrimestre del año 2018 entre los meses de mayo y agosto.

**Tabla N° 28: Porcentaje vehicular de mayores coberturas**

**Porcentaje Vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura**

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

**Fuente: Anuario de aforo de tráfico 2018, Pág. 14**

Imagen N° 6: Estación de corta duración asociada al tráfico de la comarca los Brasiles



**MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA**

**DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION**

**DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL**

**OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS**

**TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTORICO POR TIPO DE VEHICULO**

**AÑO 2018**

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA							
184	NIC-28	2811	ECD	Ent. a Ciudad Sandino - Los Brasiles	Managua	2015	2432	4924	1041	2769	819	53	539	1043	463	139		1058			2	4	59	15,345							
						2011	1,014	2,927	1,025	2,539	661	114	546	819	511	197	2	1,228			4		18	11,605							
						2009	570	1,914	896	1,993	458	30	329	699	377	86	1	977			3		21	8,353							
						2006	590	1,849	700	1,906	527	73	486	684	459	103	6	763	2	1	4	2	18	8,173							
						2004	798	2,438	922	2,322	559	92	504	628	442	113	9	804	1	0	3		19	9,653							
						2003	159	1,714	754	1,849	440	50	394	531	485	81	2	738	2	1			31	7,230							
						2001	190	1,641	774	1,868	339	128	359	439	405	95		1,093			15	2	52	7,400							
						<b>EMC: 200</b>																									
						<b>Tasa Crecimiento:</b>						<b>4.34%</b>	2018	2763	5593	1183	3145	930	60	612	1185	526	158		1202			2	5	67	17,431

Fuente: Anuario de aforo de tráfico 2018, Pág. 166

Imagen N° 7: Factores correspondientes para obtener TPDA asociada a la estación de mayor cobertura No. 200 “Entrada al INCAE – El Crucero”.

*Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto*

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx <=4	Tx-Sx >=5	Cx-Rx <=4	Cx-Rx >=5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.25	1.28	1.22	1.25	1.20	1.14	1.26	1.20	1.24	1.13	1.00	1.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.13
Factor Semana	0.96	1.01	1.05	0.98	0.98	0.91	0.97	0.89	0.90	0.97	1.00	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	0.91
Factor Fin de Semana	1.11	0.98	0.90	1.04	1.05	1.33	1.10	1.42	1.36	1.10	1.00	1.16	1.00	1.00	1.00	1.00	1.31
Factor Expansión a TPDA	1.04	1.23	1.30	1.18	1.20	1.18	1.11	1.20	1.31	1.13	1.00	1.12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.25

Fuente: Anuario de aforo de tráfico 2018, Pág. 29

## 5.8. Procesamiento e interpretación de resultados

### 5.8.1. Expansión a Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA2020)

Teniendo los valores de tránsito promedio diario de 12 horas y los factores de la EMC “Entrada INCAE – El Crucero” en este caso se ocupó el factor día y el factor expansión a TPDA, se procede a realizar el cálculo del TPDA.

**Tabla N° 29: TPDA para tramo de calle del barrio San Francisco**

Grupos	Vehículo de pasajeros						Vehículos de carga					Equipo pesados		Otros	Total
	Motos	Autos	Jeep	Camioneta	Microbus	Bus	C2<4Tn	C2>5Tn	C3	T3-S2	T3-S3	V.A	V.C		
TP(D)	697	292	40	172	34	103	86	28	11	5	5	5	1	32	1509
Factor Día	1.25	1.28	1.22	1.25	1.2	1.26	1.2	1.24	1.13	1.43	1.43	1	1	1.13	17
Factor expansión	1.04	1.23	1.3	1.18	1.2	1.11	1.2	1.31	1.13	1.12	1.12	1	1	1	16
TPDA	906	459	63	253	49	144	124	45	14	8	7	5	1	36	<b>2115</b>
%TPDA	42.82 %	21.71 %	3.00 %	11.96 %	2.32 %	6.81 %	5.87 %	2.13 %	0.66 %	0.40 %	0.35 %	0.24 %	0.03 %	1.70 %	100
<b>Vehículos Livianos</b>						<b>81.81 %</b>	<b>Vehículos Pesados</b>					<b>16.48 %</b>			

Fuente: Elaboración por sustentantes.

Con el TPDA obtenido el análisis de tránsito da como resultado que los vehículos livianos predominan con un 81.81 % (Motos, autos, camionetas, jeep y microbús), en donde las motos son las de mayor tránsito con un junto a los vehículos, en el caso de los vehículos pesados corresponde a un 16.48% donde los buses ocupan la mayor parte con un 6.79% debido a la terminal de bus de la ruta 172 que cubre los Brasiles –Managua y otros vehículos con un 2.4%. Y otro tipo de vehículos ocupan el 1.70

## 5.9. Proyección de tráfico

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

 Variables relacionadas con el crecimiento de tráfico

### 5.9.1. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

El crecimiento vehicular varía dependiendo del tipo de vehículo, la determinación de las mismas se realiza a partir de datos históricos de tráfico en base a estudios anteriores en el tramo en estudio u otras vías de naturaleza similar.

Para observar el comportamiento vehicular, se tomó en cuenta la estación de corta duración "ECD" Código NIC: NIC-28, Entrada a Ciudad Sandino- Los Brasiles, número 184, que corresponde a nuestra zona.

**Tabla N° 30: Datos históricos de TPDA EST Entrada Ciudad Sandino- Los Brasiles**

<b>ECD.Nic28 Entrada a Ciudad Sandino - Los Brasiles No 184</b>	
<b>Año</b>	<b>TPDA</b>
2001	7400
2003	7230
2004	9653
2006	8173
2009	8353
2011	11605
2015	15345
2018	17431

Fuente: Anuario de aforo de tráfico, año 2018, pág. 166

### 5.9.2. Producto Interno Bruto (PIB):

El PIB es el valor a precio de mercado de la producción corriente de bienes y servicios finales dentro del territorio nacional durante un periodo de tiempo. La estimación del PIB puede obtenerse desde el valor bruto de producción de las distintas actividades económicas. Por lo tanto, se utilizará

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

**Tabla N° 31: Estadísticas macroeconómicas en millones de córdoba y porcentaje del Producto Interno Bruto**

<b>Año</b>	<b>PIB (Millones de córdobas)</b>	<b>TC PIB %</b>
<b>2006</b>	118837.7	3.8
<b>2007</b>	124870.3	5.1
<b>2008</b>	129160.5	3.4
<b>2009</b>	124907.7	3.3
<b>2010</b>	130416.3	4.4
<b>2011</b>	138654.2	6.3
<b>2012</b>	147661.4	6.5
<b>2013</b>	154936.8	4.9
<b>2014</b>	162351.3	4.8
<b>2015</b>	170894.9	4.8
<b>2016</b>	177894.9	4.6
<b>2017</b>	186212.4	4.7
<b>2018</b>	179107	3.8

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

### 5.9.3. Crecimiento poblacional (POB)

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

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

**Tabla N° 32: Tasa de crecimiento poblacional en Mateare (2005-2020)**

Municipio, Año y Tasa de Crecimiento	Ambos sexos	Hombres	Mujeres
2005	30576	15121	15455
2006	32198	15870	16248
2007	33733	16652	17081
2008	35421	17468	17953
2009	36532	18000	18532
2010	38332	18872	19460
2011	40163	19754	20409
2012	42073	20761	21402
2013	44056	21626	22430
2014	46116	22617	23499
2015	48256	23646	24610
2016	50430	24688	25742
2017	52679	25770	26909
2018	55012	26896	28116
2019	57140	28046	29364
2020	59812	29242	30570
Tasa de crecimiento			
2005-2010	4.5	4.4	4.6
2010-2015	3.7	3.6	3.7
2015-2020	4.3	4.2	4.3

Fuente: Mateare en cifras. INIDE. Capítulo V, Proyección de población municipal 2005-2020.

Revisión 2007. Pág. 41

#### 5.9.4. Correlación de variables

Para obtener una tasa de crecimiento de las variables antes mencionadas es necesario someter a un estudio estadístico de correlación de variables, para determinar el grado de correlación entre ellas, de forma que se proyecte un crecimiento vehicular al tráfico de diseño.

Para las correlaciones antes mencionadas se aplicó logaritmo natural para elaborar las rectas de regresión de las tendencias históricas de cada variable y obtener el coeficiente de correlación de cada variable, del cual se busca la correlación mayor al 85%.

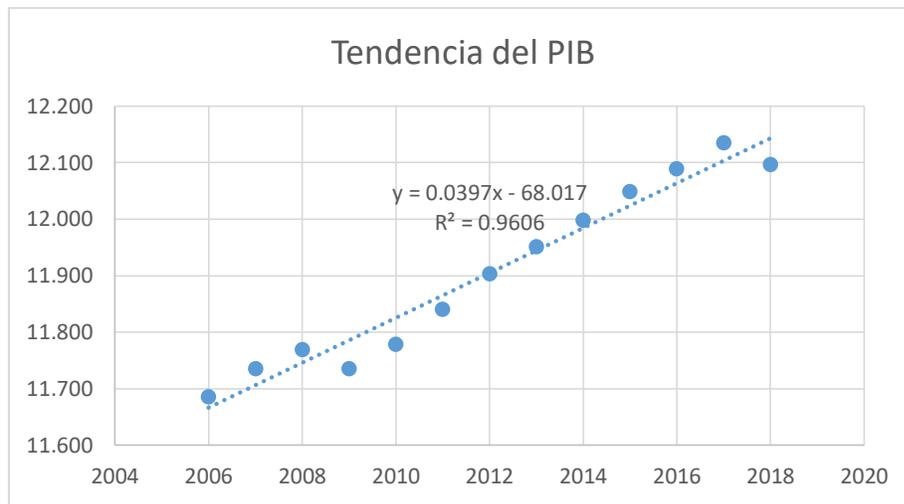
**Tabla N° 33: Variables sin el logaritmo natural y con el logaritmo natural**

Año	PIB(M-C\$)	Pob. En miles	TPDA(Entrada 184 los brasiles.Ciudad Sandino)	PIB(M-C\$)	Pob. En miles	TPDA(Entrada 184 los brasiles.Ciudad Sandino)
2001			7400			8.909
2002						
2003			7230			8.886
2004			9653			9.175
2005		30576			10.328	
2006	118837.7	32198	8173	11.686	10.380	9.009
2007	124870.3	33733		11.735	10.426	
2008	129160.5	35421		11.769	10.475	
2009	124907.7	36532	8353	11.735	10.506	9.030
2010	130416.3	38332		11.778	10.554	
2011	138654.2	40163	11605	11.840	10.601	9.359
2012	147661.4	42073		11.903	10.647	
2013	154936.8	44056		11.951	10.693	
2014	162351.3	46116		11.998	10.739	
2015	170894.9	48256	15345	12.049	10.784	9.639
2016	177894.9	50430		12.089	10.828	
2017	186212.4	52679		12.135	10.872	
2018	179107	55012		12.096	10.915	
2019		57140			10.953	
2020		59812			10.999	

Fuente: Elaboración por sustentantes.

Luego de tener las variables aplicando el logaritmo natural, se procede a realizar las gráficas de correlación donde se obtiene la línea de tendencia con respecto al tiempo de cada variable la cual nos da como resultado la tasa de crecimiento de cada una de ellas.

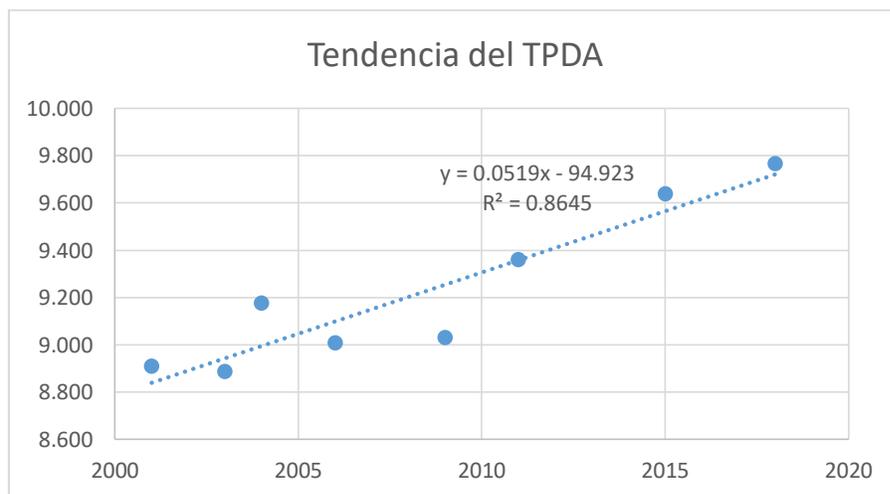
#### Grafica N° 4: Tendencia del PIB



Fuente: Elaboración por sustentantes.

Según la tendencia del PIB tiene una correlación del  $R^2=96.06\%$ , una correlación excelente y presenta una tasa de crecimiento de 3.97% anual.

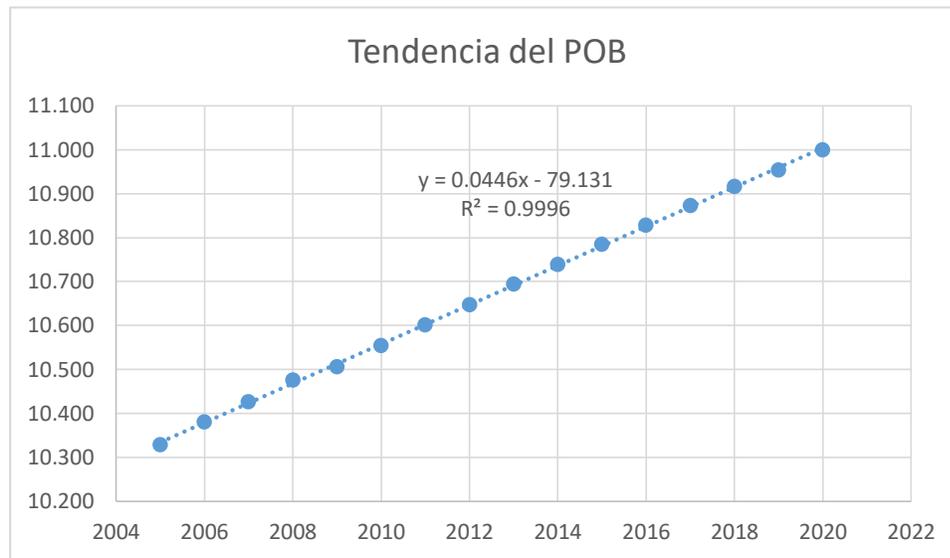
#### Grafica N° 5: Tendencia del TPDA



Fuente: Elaboración por sustentantes.

Según la tendencia del TPDA tiene una correlación del  $R^2=86.45\%$ , una correlación buena pero no excelente debido a la información de años que brinda el anuario de aforo de tráfico 2018. Presenta una tasa de crecimiento de 5.19% anual.

**Grafica N° 6: Tendencia del POB**



**Fuente: Elaboración por sustentantes.**

Según la tendencia del POB tiene una correlación del  $R^2=99.96\%$ , una correlación excelente y presenta una tasa de crecimiento de 4.46% anual.

5.9.5. Tasa de crecimiento a emplear

**Tabla N° 34: Promedio de tasas de crecimientos.**

Tasa de crecimiento %	
<b>TC PIB</b>	<b>3.97</b>
TC POB	4.46
TC TPDA	5.19
<b>Promedio</b>	<b>4.42</b>

**Fuente: Elaboración por sustentantes.**

Ya habiendo cumplido con los cálculos correspondientes se obtiene tasas de crecimiento para cada variable, siendo la del TPDA y POB una TC muy alta para ajustarlo al diseño de tránsito, igualmente el promedio que se presenta de las TC de las variables se considera aún muy alto para la zona, por lo tanto se considera que la del PIB es la que mejor se ajusta a la zona para proyectar el tránsito de diseño.

#### 5.9.6. Período de Tránsito de diseño

El periodo de diseño es el tiempo con el que se diseña el tipo de pavimento a trabajar según la proyección de tráfico y el tiempo que se define para que las condiciones del entorno ya sean naturales u ocasionadas empiecen a deteriorar la funcionalidad del pavimento.

La SIECA 2002 recomienda ciertos periodos en función de la condición actual de la vía, la cual se mostrará en la imagen siguiente.

**Tabla N° 35: Periodo de diseño para pavimentos según AASHTO 1993**

<b>Clasificación de la vía</b>	<b>Período de Diseño</b>
<b>Urbana de alto volumen de tráfico</b>	<b>30-50años</b>
<b>Rural de alto volumen de tráfico</b>	<b>20-50 años</b>
<b>Pavimentada de bajo volumen de tráfico</b>	<b>15-25 años</b>
<b>No pavimentada de bajo volumen de tráfico</b>	<b>10-20 años</b>

**Fuente 14:** Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993

Basándonos en la tabla anterior de la AASHTO 1993 la carretera de tipo pavimentada de bajo volumen de tráfico tiene un periodo de 15 a 25 años, pero para efectos de diseño usaremos un periodo de 20 años.

### 5.9.7. Tránsito de Diseño

Para convertir el volumen tráfico obtenido de los conteos se usará un tránsito de diseño, que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos. Esta se obtiene a partir de la información básica suministrada por el tránsito promedio diario anual, el factor de crecimiento, factor de distribución y factor carril y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TD = T_0 * FC * FD * fca \quad \text{Ecuación No.19}$$

Donde:

**TD**= Tránsito de Diseño.

**T0**= Tránsito inicial del año (0).

**FC**= Factor de Crecimiento.

**FD**= Factor de distribución por dirección.

**fc**= Factor de distribución por Carril.

#### 5.9.7.1. Tránsito inicial del año 0 (T0)

Es el TPDA inicial determinado a partir del conteo vehicular que se realizó en el tramo en estudio. Es uno de los elementos primarios más importante que se ha tomado como indicador numérico para el diseño.

#### 5.9.7.2. Factor de crecimiento (FC)

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

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365 \quad \text{Ecuación No. 20}$$

De acuerdo a la ecuación se obtiene el factor de crecimiento.

$$n=20$$

$$i=3.97\%$$

$$FC = \frac{(1 + 0.0397)^{20} - 1}{0.0397} * 365$$

$$FC = 10,835.23$$

#### 5.9.7.3. Factor Distribución (FD)

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

**Tabla N° 36: Número de carriles en ambas direccionales para el factor de distribución**

Número de carriles en ambas direccionales	FD%
2	0.50
4	0.45
6 o más	0.4

Fuente 15: Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. SIECA 2001.

#### 5.9.7.4. Factor Distribución carril (fc)

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

**Tabla N° 37: Porcentaje ESAL**

Número de carril en cada dirección	Porcentaje ESAL en el carril de diseño
1	1
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Libro de diseño de Pavimentos AASHTO 93. 3ra Edición. Año 2006. Pág. 57

El factor de distribución por carril a utilizarse es del 100%, ya que se está considerando que la vía posee 1 carril en una sola dirección. Por ende, tomamos el valor de  $f_c = 1.00$

#### 5.9.8. Tránsito en el año $n$ ( $T_n$ )

Es el Tránsito Promedio Diario Anual proyectado hacia el año  $n$ , o también se define como el tiempo total para el cual se diseña un pavimento. Para el cálculo es necesario conocer el tránsito inicial, la tasa de crecimiento anual y el periodo de diseño.

$$T_n = T_o(1 + i)^n \quad \text{Ecuación N° 21}$$

$T_n$  = Tránsito proyectado al año  $n$

$T_o$  = Tránsito inicial en el año  $n$

$i$  = Tasa de crecimiento anual en %}

$n$  = Número de año en el periodo de diseño.

En nuestro diseño el año base es el 2020 y se proyectará hasta el 2040, ya que nuestro periodo de diseño es de 20 años debido al tipo de carretera que se considerada como pavimentada de bajo volumen de tráfico.

**Tabla N° 38: Proyección del tráfico 2040**

No	Año	Motos	Autos	JEEP	Camionetas	Microbús	Bus	C2<4Tn	C2>5Tn	C3	T3-S2	T3-S3	V-A	V.C	Otros	Total
0	2020	906	459	63	253	49	144	124	45	14	8	7	5	1	36	2114
1	2021	942	477	66	263	51	150	129	47	15	8	7	5	1	37	2198
2	2022	979	496	68	273	53	156	134	49	15	9	8	5	1	39	2285
3	2023	1018	516	71	284	55	162	139	51	16	9	8	6	1	40	2376
4	2024	1059	536	74	296	57	168	145	53	16	9	8	6	1	42	2470
5	2025	1101	558	77	307	60	175	151	55	17	10	9	6	1	44	2568
6	2026	1144	580	80	320	62	182	157	57	18	10	9	6	1	45	2670
7	2027	1190	603	83	332	64	189	163	59	18	11	9	7	1	47	2776
8	2028	1237	627	86	345	67	197	169	61	19	11	10	7	1	49	2886
9	2029	1286	652	89	359	70	204	176	64	20	11	10	7	1	51	3001
10	2030	1337	677	93	373	72	213	183	66	21	12	10	7	1	53	3120
11	2031	1390	704	97	388	75	221	190	69	21	12	11	8	2	55	3244
12	2032	1446	732	101	404	78	230	198	72	22	13	11	8	2	57	3373
13	2033	1503	761	105	420	81	239	206	75	23	13	12	8	2	60	3507
14	2034	1563	792	109	436	85	248	214	78	24	14	12	9	2	62	3646
15	2035	1625	823	113	454	88	258	222	81	25	14	13	9	2	65	3791
16	2036	1689	856	117	472	91	268	231	84	26	15	13	9	2	67	3941
17	2037	1756	890	122	490	95	279	240	87	27	16	14	10	2	70	4098
18	2038	1826	925	127	510	99	290	250	91	28	16	14	10	2	73	4260
19	2039	1898	962	132	530	103	302	260	94	29	17	15	10	2	75	4430
20	2040	1974	1000	137	551	107	314	270	98	30	17	15	11	2	78	4605

**Fuente:** Elaboración por sustentantes.

Teniendo el tránsito proyectado (T0), el factor de crecimiento (FC), factor de distribución por dirección (FD), factor de distribución por carril (fc), se procede a calcular la proyección del tránsito de diseño para cada tipo de vehículo que circule por la vía del tramo en estudio.

**Tabla N° 39: Estimación de tránsito de diseño del periodo 2020 al 2040**

<b>Estimación de tránsito de diseño 2020-2040</b>					
<b>Tipo de Vehículos</b>	<b>To 2020</b>	<b>FC</b>	<b>FD</b>	<b>fca</b>	<b>Td 2040</b>
<b>Motos</b>	906	10835.23	0.50	1	4906888
<b>Autos</b>	459				2488175
<b>JEEP</b>	63				343693
<b>Camionetas</b>	253				1371024
<b>Microbús</b>	49				266361
<b>Bus</b>	144				780439
<b>C2&lt;4Tn</b>	124				673146
<b>C2&gt;5Tn</b>	45				243896
<b>C3</b>	14				75107
<b>T3-S2</b>	8				45863
<b>T3-S3</b>	7				39666
<b>V.A</b>	5				27088
<b>V.C.</b>	1				3870
<b>Otros</b>	36				195026
<b>Total</b>	<b>2115</b>				<b>11460242</b>

**Fuente: Elaboración Por Sustentantes.**

Realizando los cálculos mediante la ecuación del tránsito de diseño se obtiene que circulara por dicha vía un total de **11, 446,242** para el carril de diseño 2040.



**Capítulo 6: Diseño de Estructura  
de Pavimento Articulado**

## 6.1. Introducción

El Diseño de pavimentos tiene por finalidad analizar y cuantificar los factores presentes o futuros en una carretera sean internos o externos a la misma, para establecer los parámetros y características de un pavimento eficaz y eficiente. Los factores externos representan variables relacionadas con los volúmenes y composición del tránsito, los materiales de construcción, condiciones climáticas. Los factores internos están representados por la calidad de la subrasante, los materiales existentes en la vía y de los terrenos atravesados o afectados por las obras. Un diseño de pavimentos se compone de varias fases empezando por las investigaciones de la subrasante, la calidad de los materiales de construcción y bancos, ensayos de laboratorio, escogencia del método de diseño, evaluación del diseño más conveniente y la elaboración de un informe final donde debe consignarse las conclusiones y recomendaciones.

El método más utilizado para realizar un estudio de pavimento es el de la guía de diseño de espesores de pavimentos, AASTHO 1993 el cual cuenta para realizar estudios a pavimentos rígidos y pavimentos flexibles. El método que se aplica en el siguiente documento es el mismo de pavimento flexible ya que presentan características mecánicas similares al de un pavimento articulado, como la capacidad de soporte de suelo, la cantidad de ejes equivalentes de 18,000 lbs, etcétera.

### 6.1.1. Clasificación de pavimentos

De manera general los pavimentos se clasifican atendiendo lo que se denomina una clasificación mecánica de su función, de esta manera:

- Pavimentos flexibles: Se denomina pavimento flexible a aquel cuya estructura total se flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings. Están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase.

- Pavimentos semi-rígidos: Es un pavimento especial ya que es una estructura combinada compuesta por una carpeta bituminosa flexible apoyada sobre estructuras rígidas como losas antiguas de concreto bases estabilizadas con cemento o similares. Posee básicamente la misma estructura de un pavimento flexible exceptuando su componente rígido.
- Pavimentos rígidos: Se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, consiste básicamente en una losa de concreto hidráulico, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe una gran parte del esfuerzo que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas producido por el vehículo, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.
- Pavimentos articulados: Está compuesto por pequeños bloques prefabricados, normalmente concreto, más conocido en nuestro territorio como adoquín. Su colocación es asentada en una cama de arena, soportada por una base granular de material selecto y sellado con arena entre sus juntas. Su diseño, como todo pavimento, debe estar de acuerdo con la capacidad de soporte de subrasante para prevenir una deformación sobre la estructura horizontal.

## **6.2. Estructura de diseño de pavimento de adoquín**

Los pavimentos de adoquín, como prácticamente todos los pavimentos, son estructuras compuestas de varias capas de diferentes materiales que se construyen sobre el terreno natural. Los materiales de cada capa se seleccionan generalmente considerando su disponibilidad y costo.

Una estructura de pavimento está compuesta por diferentes capas las cuales una depende de la otra, esta estructura se compone por una capa de bloques de concreto u hormigón mejor conocido como adoquín, una cama de arena que va

debajo de la capa de rodadura, una capa de base granular que se coloca entre la capa de arena y la subrasante.

Aunque no todos estos elementos deben estar presentes en un pavimento de adoquín, ya que esto depende del diseño, a continuación, se detalla la estructura típica (ver imagen N°8, pág. 92).

### 1. **Subrasante y Subrasante mejorada:**

La capacidad resistente del suelo de fundación es uno de los factores más relevantes en el diseño de los pavimentos de adoquines de concreto. Se deben realizar los estudios del suelo con el fin de determinar la capacidad soporte de los suelos por medio del ensayo California Bearing Ratio (CBR). La subrasante debe estar conformada de material libre de materia orgánica, que se debe compactar para permitir las labores de construcción de la base. Debe ser lo más homogénea posible, por lo que, si existiera material de calidad inferior en alguna zona y por lo tanto de baja capacidad soporte, es conveniente reemplazarlo por otro material de la calidad requerida. Si la actividad de reemplazo es muy costosa, conviene evaluar la estabilización de la capa superior de la subrasante con cemento hidráulico o cal hidratada. A esta capa estabilizada se le conoce usualmente con el nombre de subrasante mejorada.

### 2. **Subbase y Base;**

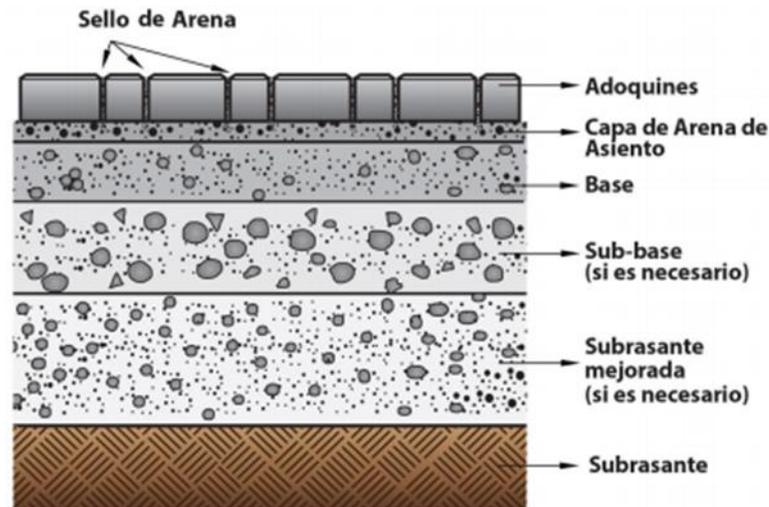
Son capas de material colocadas entre la subrasante y la capa de rodamiento, que le dan mayor capacidad estructural al pavimento. Puede ser simple o estar compuesta por dos o más capas de materiales diferentes, en cuyo caso se llama subbase a la capa inferior y base a la capa superior. La base puede ser de:

- ✚ Material granular (grava con finos, arena o tierra)
- ✚ Material granular estabilizado con cemento
- ✚ Suelo-cemento, del espesor indicado en el diseño, podrá ser suelo del lugar, u otro que tenga que acarrear, siempre que los análisis de laboratorio comprueben que son adecuados para la construcción de bases de suelo-cemento.

### 3. **Capa de rodadura**, que incluye:

- Cama de arena de asiento; La cama de arena tiene tres funciones: como filtro para el agua que logre penetrar por las juntas, como capa de soporte para los adoquines y como amarre entre adoquines cuando la arena penetra por las juntas. La cama de arena forma parte de la capa de rodadura de un pavimento de adoquín.
- Adoquines de concreto; Elemento compacto de concreto, prefabricado, con la forma de prisma recto, cuyas bases pueden ser polígonos, que permiten conformar superficies completas como componente de un pavimento articulado.
- Sello de arena; Es la arena fina que debe penetrar en las juntas entre adoquines.

**Imagen N° 8: Estructura Típica de un pavimento articulado**



Fuente: Guía de instalación de adoquines iccg, pag.9

#### 6.2.1. Consideraciones para subrasante

El factor más importante en la determinación de los espesores de diseño del pavimento es la respuesta del suelo de subrasante ante las cargas del tránsito. De

la calidad que tenga esta capa dependerán, en gran parte, que los espesores sean pavimento flexible, articulado o rígido.

Esta capa puede estar formada en corte o en relleno; el pavimento dependerá en gran parte de la calidad de los materiales de la subrasante por lo que deberá cumplir con las siguientes características un valor de soportar las cargas absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que pueda afectarla. Para esta capa no se requieren materiales de gran resistencia como los de la capa base, por lo que su módulo de elasticidad es menor que el de la capa base. Su costo es menor siendo esta una característica económica muy importante.

El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor de soporte ( $\text{CBR} \geq 40 \%$ ) que el material de subrasante y su espesor será variable según las condiciones. Este material deberá ser de préstamo seleccionado cumpliendo con los requerimientos estipulados en las NIC 2020, en la sección 1003.

#### 6.2.2. Consideraciones para base

Entre las consideraciones está distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la capa de subbase (si la hay) y a través de ésta a la subrasante. Por lo que su ubicación está muy cercana a la aplicación de cargas se requiere de materiales de gran calidad y resistencia. Una segunda función está asociada a tener una densidad uniforme en toda su extensión y profundidad, y este requisito se debe cuidar de manera especial en las zonas cercanas a las estructuras de confinamiento, tragantes para agua pluvial, cajas de inspección, etc., donde el proceso de compactación es más difícil de llevar a cabo.

### 6.3. Tipos de Ejes

#### 6.3.1. Ejes simples:

Se denomina eje simple al elemento constituido por un solo eje no articulado a otro. El peso máximo admisible para un eje simple de 2 neumáticos es de 7,000 Kg. (15 Kips) y 4 neumáticos de 11,000 Kg (24Kips).

### Imagen N° 9: Eje Simple

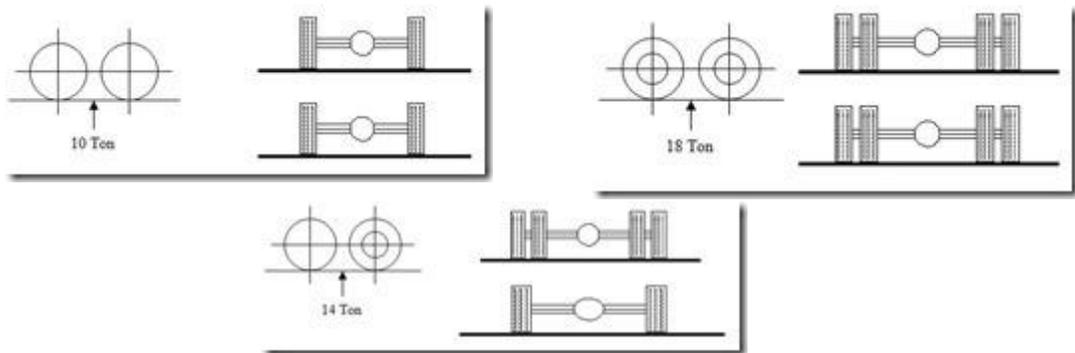


Fuente: Cueva del ingeniero Civil

### 6.3.2. Ejes Tándem:

Se denomina eje Tándem al elemento constituido por dos ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes. Estos reparten la carga, en partes iguales, sobre los dos ejes. El peso máximo admisible para un eje tándem de 4 neumáticos es de 10,000 Kg. (22 Kips), para uno de 6 neumáticos es de 14,000 KG (31Kips) y para 8 neumáticos es de 18,000 Kg (40Kips).

### Imagen N° 10: Eje Tándem

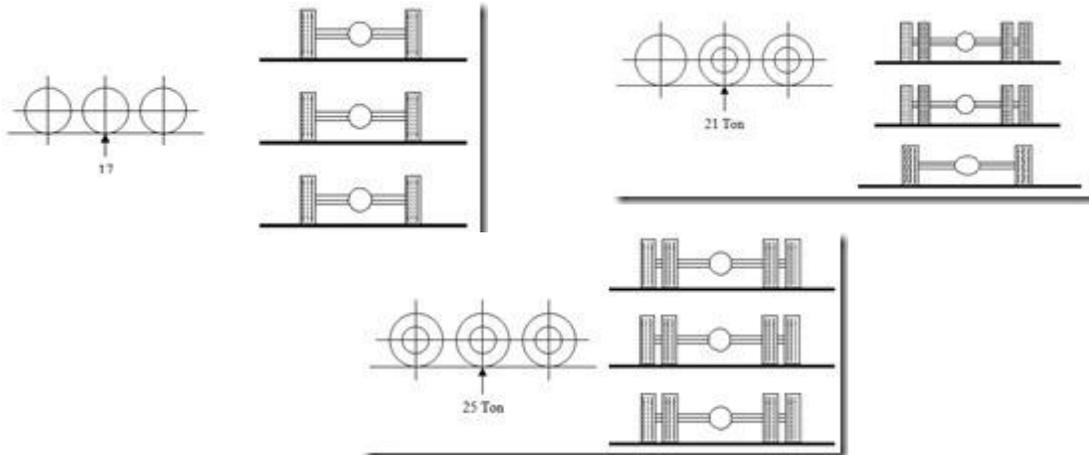


Fuente: Cueva del ingeniero Civil

### 6.3.3. Eje Trídem:

Se denomina eje Trídem al elemento constituido por tres ejes articulados al vehículo por dispositivos comunes. Estos reparten la carga sobre los tres ejes. El peso máximo admisible para un eje trídem de 6 neumáticos es de 17,000 Kg (37Kips), para 10 neumáticos es de 21,000 Kg (46Kips) y para 12 neumáticos es de 25,000 Kg (55kips).

**Imagen N° 11: Eje trídem**



Fuente: Cueva del ingeniero Civil

## 6.4. Consideraciones y referencias de las variables de diseño

### 6.4.1. Confiabilidad

El factor de confiabilidad toma en cuenta las variaciones en las predicciones del tráfico y en el cumplimiento del funcionamiento de la predicción, y por lo tanto proporciona un determinado nivel de aseguramiento (R) de que la sección de pavimento sobrevivirá, permanecerá durante el tiempo para el cual ha sido diseñada. En la siguiente tabla se muestran los valores de confiabilidad recomendados por la AASTHO 93:

**Tabla N° 40: Niveles sugeridos de confiabilidad para diversas clasificaciones funcionales**

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

Fuente: AASTHO 93 Pág. II-9 Tabla 2.2

Clasificando la calle como una arteria principal urbana se obtiene un valor recomendado de confiabilidad de **R=80%**.

#### 6.4.2. Serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento es definida con la habilidad de servir a un tipo determinado de tráfico (automóviles y camiones) que utilizan la carretera.

La medida primaria de la serviciabilidad es el índice de serviciabilidad presente (Present Serviciality Index), PSI, con rangos de 0 (carretera imposible) a 5 (carretera perfecta).

Para el caso de los caminos adoquinados el consultor puede asumir un Índice de serviciabilidad inicial, y un índice de serviciabilidad final.

Para carreteras de menor categoría donde es muy importante el aspecto económico que define que el capital inicial se mantenga en un mínimo, se sugiere que esto sea acompañado por una reducción en el período de diseño o del volumen total de tráfico en lugar de una servicialidad final menor que 2.0.

La serviciabilidad inicial o final en función de la categoría del camino es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHTO Road Test:

##### 6.4.2.1. Serviciabilidad Inicial

$p_o = 4.5$  para pavimentos rígidos.

$p_o = 4.2$  para pavimentos flexibles.

##### 6.4.2.2. Serviciabilidad Final

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

$P_t = 2.0$  para caminos de menor tránsito.

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

#### 6.4.2.3. Pérdida de Serviciabilidad

La pérdida de la serviciabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final. (AASHTO 1993. Pag II-10)

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

**Ecuación No.22**

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

#### 6.4.3. Análisis de Cargas y ejes equivalentes para el Diseño

Los pavimentos se proyectan para que resista determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se les transformará en un número equivalente de ejes de tipo de 8.2 toneladas, 18kips o 18,000 libras, en el carril de diseño durante su vida útil.

Para calcular el ESAL'S que se aplicará, según el **Manual Centroamericano de diseño de pavimentos, capítulo 3, pág. 5**; es necesario asumir en primera instancia el número estructural que se considere adecuado a las cargas. Para este diseño se seleccionó el valor **SN=5**.

Los ejes equivalentes se obtienen conociendo el tráfico de diseño y el factor de eje de equivalencia, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{ESAL'S } \acute{o} \text{ W18} = \text{TD} * \text{Factor ESAL'S} \text{ Ecuación No.23}$$

El factor de ejes equivalentes (LEF) se calcula mediante las tablas de AASTHO 93 (Ver anexo N° XVII, XVIII, XIX, Tablas N° 51, 52, 53) pero, es necesario conocer el peso de carga de cada vehículo según su tipo de eje (Ver imagen N° 30, pág. XX). Para obtener dicho factor se considera una serviciabilidad final de 2.0, que es el valor que se recomienda para camino de menor tránsito y con un número estructural asumido de **SN=5**.

Para conocer el factor de eje equivalentes (LEF) de cada vehículo se usó el método de interpolación en la mayoría de vehículos ya que las tablas no

proporcionan las cargas dada por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (Ver anexo N° XVII, XVIII, XIX, Tablas N° 51, 52, 53)

Obteniendo los siguientes resultados por interpolaciones:

**Tabla N° 41: Interpolaciones para el valor de LEF**

Interpolaciones		
Ejes Simple SN=5, Pt=2.0		
Cargas por ejes	LEF	
2	0.0002	
<b>2.2</b>	<b>0.00038</b>	<b>0.00038</b>
4	0.002	
4	0.002	
<b>4.4</b>	<b>0.0034</b>	<b>0.0034</b>
6	0.009	
8	0.031	
<b>8.8</b>	<b>0.0502</b>	<b>0.0502</b>
10	0.079	
10	0.079	
<b>11</b>	<b>0.1265</b>	<b>0.1265</b>
12	0.174	
16	0.603	
<b>17.6</b>	<b>0.9206</b>	<b>0.9206</b>
18	1	

Interpolaciones		
Ejes Tandem SN=5, Pt=2.0		
Cargas por ejes	LEF	
36	1.38	
<b>36.4</b>	<b>1.45</b>	<b>1.45</b>
38	1.73	

Interpolaciones		
Ejes Trídem SN=5, Pt=2.0		
Cargas por ejes	LEF	
34	1.08	
<b>35.2</b>	<b>1.26</b>	<b>1.26</b>
36	1.38	

Fuente: Elaboración por sustentantes.

Con los valores de LEF calculados se procede a sacar los ejes de equivalencia mediante la ecuación No.23 de la pág.97.

**Tabla N° 42: Ejes Equivalentes de 18kips, con un periodo de diseño de 20 años, Pt=2.0 y SN=5**

Tipo de Vehículos	Tipo de eje	Peso por eje (Kips)	Td 2040	LEF	ESAL diseño
<b>Motos</b>	Simple	0	4906888	0	<b>0</b>
	Simple	0		0	<b>0</b>
<b>Autos</b>	Simple	2.2	2488175	0.00038	<b>945.507</b>
	Simple	2.2		0.00038	<b>945.507</b>
<b>JEEP</b>	Simple	2.2	343693	0.00038	<b>130.603</b>
	Simple	2.2		0.00038	<b>130.603</b>
<b>Camionetas</b>	Simple	2.2	1371024	0.00038	<b>520.989</b>
	Simple	4.4		0.0034	<b>4661.482</b>
<b>Microbús</b>	Simple	8.8	266361	0.0502	<b>13371.322</b>
	Simple	17.6		0.9206	<b>245211.937</b>
<b>Bus</b>	Simple	11	780439	0.1265	<b>98725.534</b>
	Simple	22		2.35	<b>1834031.650</b>
<b>C2&lt;4Tn</b>	Simple	8.8	673146	0.0502	<b>33791.929</b>
	Simple	17.6		0.9206	<b>619698.208</b>
<b>C2&gt;5Tn</b>	Simple	11	243896	0.1265	<b>30852.844</b>
	Simple	22		2.35	<b>573155.600</b>
<b>C3</b>	Simple	11	75107	0.1265	<b>9501.036</b>
	Tándem	36.3		1.45	<b>108905.150</b>
<b>T3-S2</b>	Simple	11	45863	0.1265	<b>5801.670</b>
	Tándem	35.2		1.26	<b>57787.380</b>
	Tándem	35.2		1.26	<b>57787.38</b>
<b>T3-S3</b>	Simple	11	39666	0.1265	<b>5017.749</b>
	Tándem	35.2		1.26	<b>49979.160</b>
	Trídem	44		0.686	<b>27210.876</b>
<b>V.A</b>	Simple	11	27088	0.1265	<b>3426.632</b>
	Simple	22		2.35	<b>63656.800</b>
<b>V.C.</b>	Simple	11	3870	0.1265	<b>489.555</b>
	Simple	22		2.35	<b>9094.500</b>
<b>Otros</b>	Simple	0	195026	0	<b>0</b>
	Simple	0		0	<b>0</b>
<b>Total, de ESAL carril de diseño (W18)</b>					<b>3854831.601</b>

Fuente: Elaboración por sustentantes.

#### 6.4.4. Desviación estándar (S0)

La desviación estándar toma en cuenta las variaciones en las ecuaciones, las mediciones y los materiales. Es un valor representativo a las condiciones locales particulares, este parámetro está ligado particularmente a la confiabilidad (R) seleccionado para considerar posibles variaciones dentro del pavimento en el período de diseño. La AASTHO predispone adoptar valores de  $S_0$  comprometidos dentro de la siguiente tabla.

**Tabla N° 43: Variación estándar global  $S_0$**

Tipo de pavimento	Desviación estándar $S_0$
<b>Pavimento flexible</b>	0.40-0.50
<b>Pavimento rígido</b>	0.30-0.40

**Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimento, SIECA. Capítulo 7, pag.5.**

Para el estudio se seleccionó una desviación estándar de **0.45**, siendo este un valor comprendido para un pavimento flexible.

#### 6.4.5. Coeficiente de drenaje

Una buena base granular debe de ser diseñada para drenar rápidamente el agua del pavimento. La drenabilidad del material o calidad de drenaje es función de varios aspectos incluyendo la permeabilidad del material, su distribución granulométrica, el porcentaje de material fino y las condiciones geométricas de la superficie y subrasante del pavimento.

La calidad de drenaje se define en términos del tiempo en que el agua tarda en ser eliminada de las capas granulares.

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

**Tabla N° 44: Coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles**

	% del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación			
	< 1%	1%-5%	5%-25%	>25%
<b>Excelente</b>	1.20-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.1
<b>Bueno</b>	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	<b>1.00</b>
<b>Regular</b>	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
<b>Pobre</b>	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
<b>Muy pobre</b>	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

**Fuente: Guía de diseño de pavimentos AASTHO 1993, cap 7, pag 148**

En este diseño se asumieron buenas condiciones de drenaje, por lo que el coeficiente a utilizar será **m=1**, ya que se considera que el tiempo en el que el pavimento está expuesto a la humedad es mayor al 25% del tiempo.

#### 6.4.6. Módulo de resiliencia Mr

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

$$CBR < 10 ; MR (PSI) = 1500 * CBR \quad \text{Ecuación No.24}$$

$$CBR > 10 ; MR(PSI) = 4326 * LnCBR + 241 \quad \text{Ecuación No.25}$$

Para determinar el CBR de diseño de la subrasante hay que tomar en consideración que en el estudio de suelos se obtuvieron 7 muestras, de las cuales se clasificó en un solo tipo de suelo en el laboratorio, siendo A-4(Suelo limoso) obteniendo un CBR muy bajo de 3%, y debido a la falta de material granular para realizar estabilización de esta, se trabajará con este valor del 3%.

$$CBR > 10 ; MR(PSI) = 1500 * CBR$$

$$CBR > 10 ; MR(PSI) = 1500 * 3\%$$

$$MR(PSI) = 4500 PSI$$

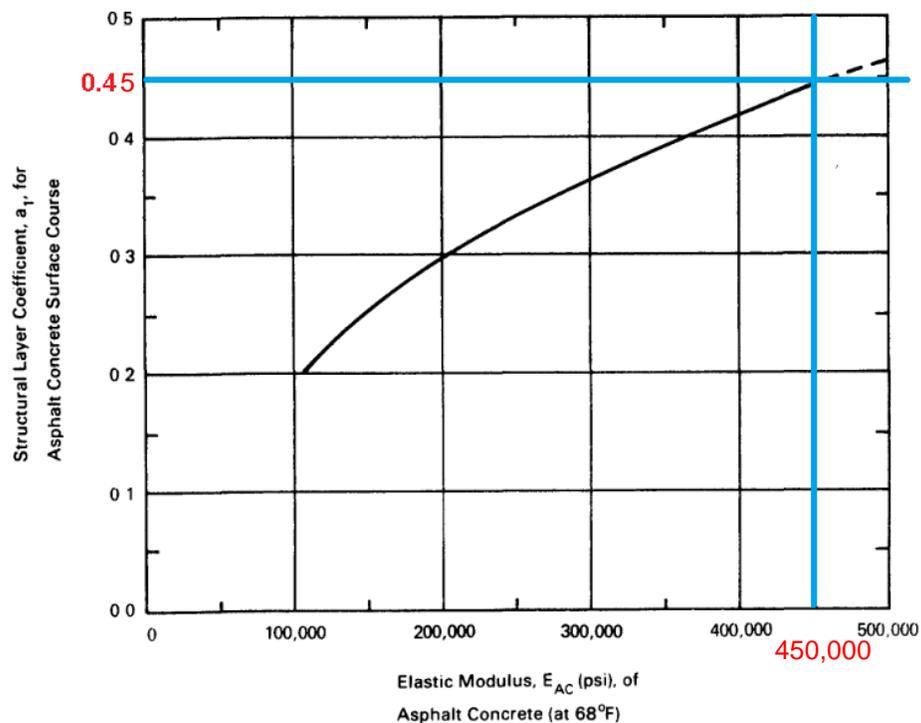
### 6.4.7. Coeficientes estructurales

El método de la AASHTO 93, designa la aplicación de nomogramas para la estimación de estos valores, dependiendo si se conoce el módulo de elasticidad del asfalto. Se eligió el formato de la AASHTO, debido a que la distribución de las cargas y modos de falla de los pavimentos con adoquines entrelazados de concreto (Pavimento articulado), son muy similares a los pavimentos flexibles, razón por la cual se utilizará un módulo resiliente del concreto asfáltico de 450,000 PSI.

#### 6.4.7.1. Coeficiente estructural de la capa de adoquín $a_1$

Utilizando el nomograma para obtener el coeficiente estructural de la capa  $a_1$  (Ver Imagen N° 12, con un módulo resiliente de 450,000 PSI, al interceptar con el nomograma dado por el manual de la AASHTO, se obtiene un valor de coeficiente estructural de capa  $a_1 = 0.45$ ).

**Imagen N° 12: Nomograma de coeficiente estructural de la capa de adoquín  $a_1$**

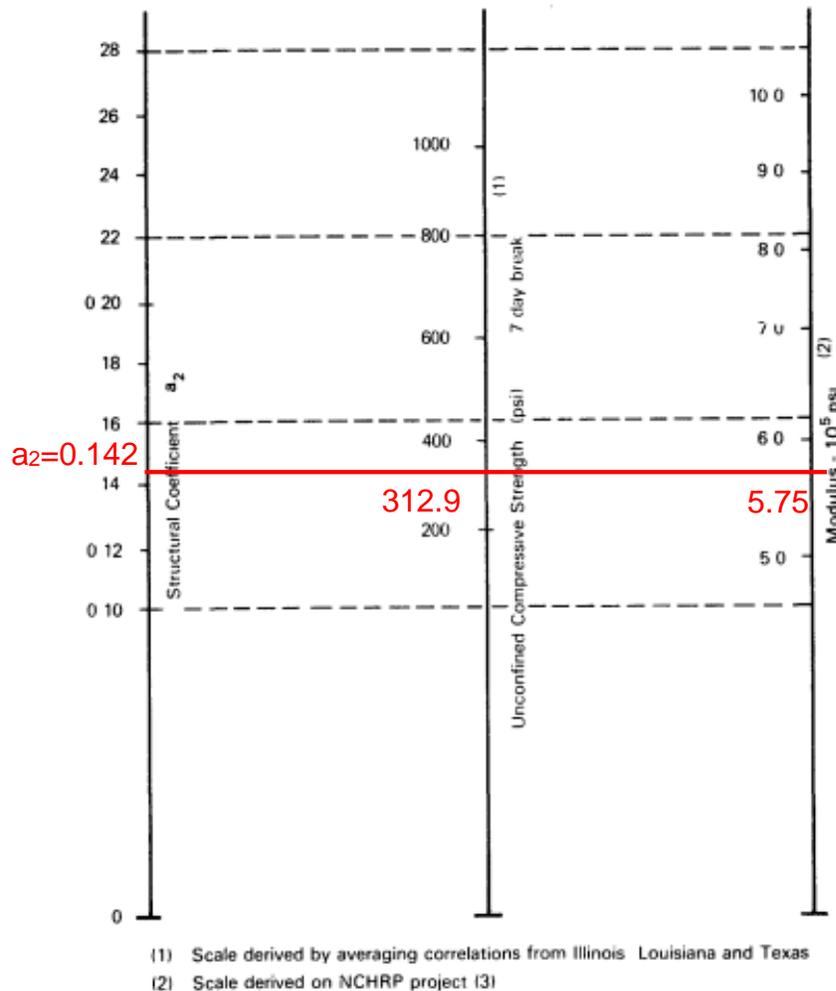


Fuente: Design of Pavement Structures 1993. Chapter II Design requirements II-18

6.4.7.2. Coeficiente estructural de capa de base granular estabilizada por suelo cemento.

Se determina, a partir del valor de CBR obtenido del material estabilizado del banco de materiales, con un valor de 72%, al hacer uso del nomograma (Ver imagen N°13). Al interceptar el valor de la resistencia a la compresión (312.91 PSI) de la capa estabilizada se obtuvo un valor  $a_2=0.142$  y del mismo nomograma podemos obtener el valor del módulo resiliente de la base, siendo el valor de  $MR=575,000$  PSI.

**Imagen N°13: Nomograma de coeficiente estructural de capa de base granular  $a_2$**



Fuente: Design of Pavement Structures 1993. Chapter II Design requirements II-23

### 6.4.7.3. Coeficiente estructural de capa de base granular a3

Para el coeficiente de la sub base, se usó la figura 5.32 de la AASHTO 93 dando como resultado un  $a_3=0.125$ , que se puede observar en la imagen No.17.

### Imagen No.17: Nomograma Relación entre el Coeficiente Estructural para

#### Sub-Base Granular y distintos Parámetros Resistentes.



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

Fuente: Design of Pavement Structures 1993. Chapter II Design requirements II-21

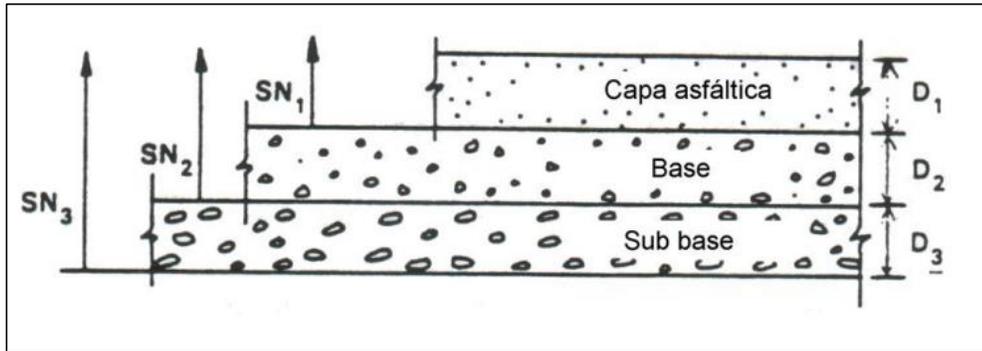
## 6.8. Cálculo de espesores

### 6.8.1. Número estructural

Es la capacidad que posee la estructura de soportar las cargas bajo las condiciones de diseño. Para obtener los números estructurales (SN), se hará uso del ábaco de diseño para pavimentos flexibles propuesto por la AASHTO, donde

se deben tener en cuenta ciertas variables como: Confiabilidad, desviación estándar, ESAL's de diseño, el módulo resiliente de la capa inferior a la que se pretende calcular y la pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ).

**Imagen N° 18: Capas De Espesores.**



Fuente: Diseño de espesor de pavimento, AASTHO93, capítulo 8, pág. 175

**Confiabilidad(R):** 80%

**Desviación estándar (So):** 0.45

**ESAL's:** 3,854,831.601 ejes equivalentes

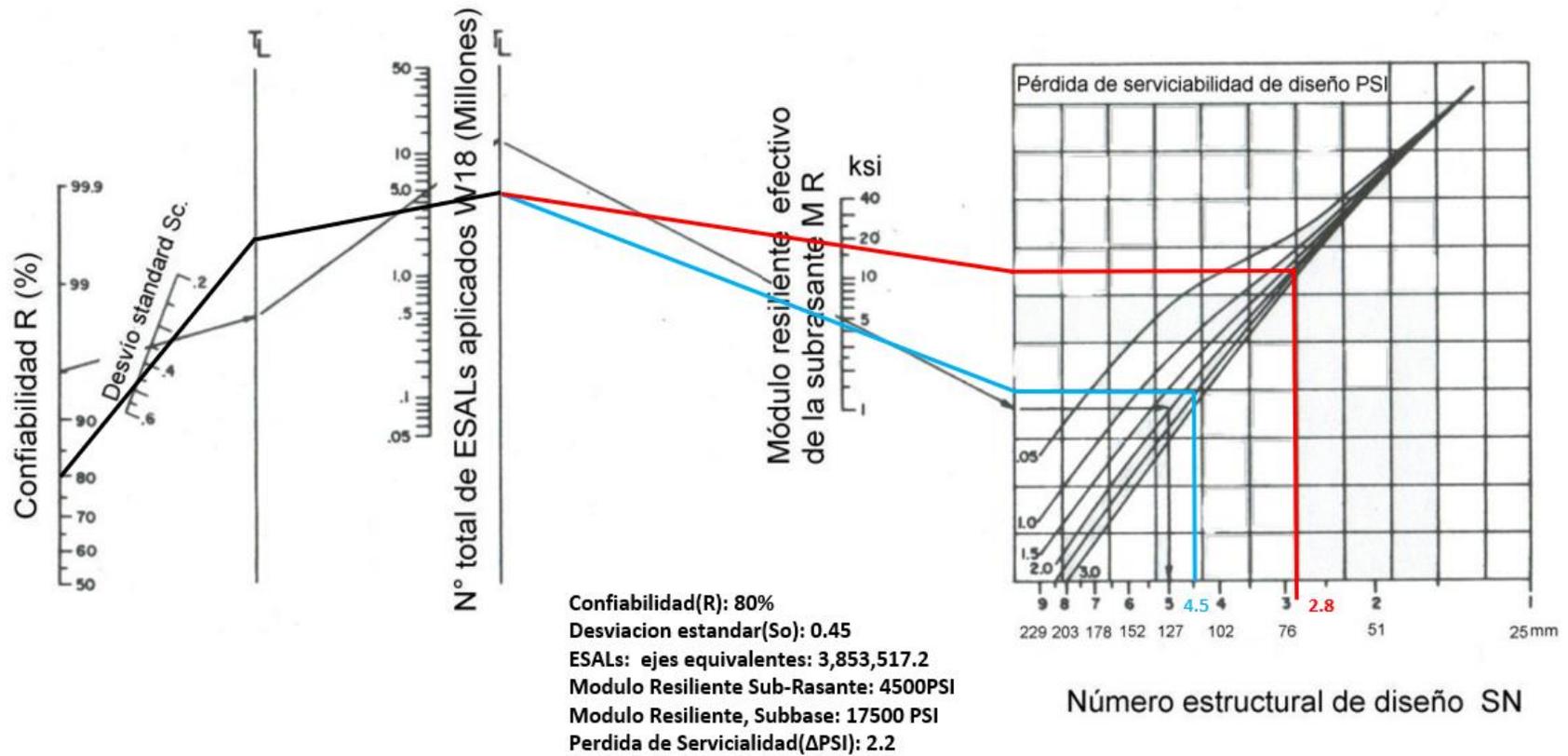
**Modulo Resiliente Sub-Rasante:** 4500 PSI

**Modulo Resiliente, Base:** 24500 PSI

**Modulo Resiliente, subbase:** 17500 PSI

**Perdida de Servicialidad( $\Delta PSI$ ):** 2.2

Imagen N° 19: Abaco para diseño de número estructural



Fuente: Guía para diseño de estructura de pavimentos, AASTHO 93, pág. 174

**SN<sub>2</sub> para proteger la subbase= 2.8**  
**SN requerido= 4.5**

Como el espesor del adoquín es conocido, se procede a calcular el Número estructural absorbido por la superficie de rodamiento, con la siguiente ecuación:

$$SN_1^* = a_1 * D_1 \quad \text{Ecuación No.26}$$

$$SN_1^* = 0.45 * 4$$

$$SN_1^* = 1.8$$

Para determinar el espesor mínimo de la base, se entra al ábaco con el MR de subbase y entonces se obtiene el  $SN_2=2.8$  a ser absorbido por el adoquín y base.

Así:

$$D_2 \geq \frac{(SN_2 - SN_1^*)}{a_2 m_2} \quad \text{Ecuación No.27}$$

$$D_2 = \frac{(2.8 - 1.8)}{0.142 * 1}$$

$$D_2 = 7 \text{ pulgadas de base.}$$

$$SN_2^* = a_2 * D_2 * m_2$$

$$SN_2^* = 0.142 * 7 * 1$$

$$SN_2^* = 1.0$$

Por último, para la subbase se entra con el MR correspondiente a subrasante y se obtiene  $SN_3 = SN$  para todo el paquete estructural ya calculado. En este caso el espesor es:

$$D_3 \geq \frac{SN - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3} \quad \text{Ecuación No.28}$$

$$D_3 = \frac{4.5 - (1.8 + 1.0)}{0.125 * 1.0}$$

$$D_3 = 13.6 \text{ pulgadas de subbase, adoptando 14 Pulgadas}$$

$$SN_3 = 0.125 * 14 * 1$$

$$SN_3 = 1.75$$

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

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3 \geq SN_{req}$$

**Ecuación No.29**

$$1.8 + 1.4 + 1.75 \geq 4.5$$

$$4.95 \geq 4.5$$

**Cumple**

Debido a que la condición  $SN_{req}=4.5$  es menor a la suma de  $SN_1^*$  del adoquín= 1.8 más  $SN_2^*$  de la base= 1.4 más  $SN_3=1.7$  de la subbase, cada capa del paquete estructural resulta protegida.

Espesores por capa:

- ✓ **Espesor de capa de rodadura(Adoquin)= 4 pulgadas (10 centímetros)**
- ✓ **Espesor de cama de arena(Recomendado)= 2 pulgadas (5 centímetros)**
- ✓ **Espesor de base granular estabilizada= 7 pulgadas (18 centímetros)**
- ✓ **Espesor de subabase granular= 14 pulgadas (35 centímetros)**



# CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó un levantamiento de 1,501Km lineales aplicando el método altiplanimétrico, esto con el fin de obtener más datos al momento de realizar el diseño geométrico del tramo.
- ✓ Para el diseño geométrico fue necesario mantener tangentes más prolongadas alrededor del tramo con pendientes mayores al  $\pm 0.5\%$  y una sección de bombeo de 2.0% a cada lado para proporcionar un escurrimiento adecuado hacia el canal trapezoidal ubicado al lado izquierdo de la estación 0+000 a la estación 0+340 el cual a su vez va conectado hacia el cauce trapezoidal de la NIC.28.
- ✓ El tipo de suelo predominante en la zona es el suelo limoso A-4 siendo un suelo poco plástico. Los resultados de CBR para capa subrasante a 0.1" y 0.2" de penetración fueron demasiado bajo con un 3.0%. De igual manera se le aplicó el ensayo del CBR al banco de materiales "Mira Flores" cuyo resultado fue de 51%, siendo un valor mínimo para base, pero óptimo para subbase procediendo a realizar la estabilización suelo cemento para base, dando un valor de C.B.R estabilizado del 72%.
- ✓ Según los estudios de tránsito por esta calle transitan alrededor de 10,566 vehículos por día predominando los vehículos livianos con un 81.76% y vehículos pesados con 16.13%. Siguiendo el proceso de estudio de tránsito se obtuvo un factor de crecimiento de 3.97%, el cual, era el que mejor se ajustaba a las condiciones que presenta la zona, este al ser proyectado a un tránsito de diseño de 20 años da como resultado 11, 460,242 vehículos que pasaran alrededor de ese tramo, es decir, que esa calle soportara una carga de 3, 854,831.601 ejes equivalentes.
- ✓ El diseño de pavimento fue diseñado en base al número de ejes equivalentes y las normativas de la AASTHO 93 teniendo como resultados los siguientes espesores de pavimento articulado: 10 centímetros de espesor de adoquín, 5 centímetros de cama de arena, 18 centímetros de base y 35 centímetros de Subbase.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Con respecto al estudio de suelo se recomienda retirar 10 centímetros de material del suelo del sitio para que de esta manera toda impureza y contaminante que se encuentre sea removido y que a su vez se recompacte al 95% de su densidad seca máxima. En el caso del material de préstamo igualmente tiene que estar libre de impureza.
- ✓ Se recomienda darle mantenimiento a la calle cada cierto tiempo para que se mantenga en buen estado y permita una mejor circulación a los vehículos. También se recomienda realizar conteos de tráfico para verificar el volumen de vehículos que pasan y así incrementar el mantenimiento de la calle por si el volumen ha aumentado.
- ✓ Para la capa de rodamiento se recomienda utilizar adoquines de concreto de 10 cm de espesor que deberá tener una resistencia mínima a los 28 días de 250 kg/cm<sup>2</sup> (3,500 PSI) utilizando también una capa o cama de arena con un espesor máximo de 5 cm que servirá de colchón a los adoquines, esta deberá ser lavada, dura, angular y uniforme, y no deberá contener más del 3% de limo y/o arcilla en peso. Su granulometría será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No 10.
- ✓ Se recomienda realizar un estudio hidrológico para proponer obras de drenaje que mitiguen los problemas de inundación que se genera sobre el tramo analizado.
- ✓ Deberá indicarse las señalizaciones de tránsito adecuadas tanto verticales como horizontales a lo largo de la vía para mejorar la seguridad de circulación tanto de conductores como de peatones.
- ✓ De manera general se recomienda la realización de un plan de gestión ambiental y social, con el fin de analizar las posibles afectaciones que pueden producirse por las actividades de construcción de la carretera



# BIBLIOGRAFÍA



## **BIBLIOGRAFÍA**

- AASHTO. (1998). Guide for design of pavement structures. Washington, D.C.: AASHTO.
- AASHTO. (2011). *American Association of State Highway and Transportation Officials*.
- AASHTO. (s.f.). Version Editada y Traducida al español por la Facultad de la Universidad Nacional de San Juan. Argentina,1998.
- Juárez Badillo, E. &. (2004). Mecanica de suelos teoria y aplicacion de la mecanica de suelos. Mexico, D.F.Limusa,S.A.
- Leclair, R. (2004). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras regionales. GUATEMALA: PROALCA, II, SIECA.
- MTI. (2008). Manual para la Revisión de Estudios y Diseños de Pavimento.
- MTI. (2018). Anuario de Aforos de tráfico Año 2018. Ministerio de Transporte e Infraestructura .
- MTI. (2018). Normas NIC 2018, División II, Especificación de calidad de los materiales. Managua.
- MTI. (s.f.). Especificaciones Generales Para la Construcción de Caminos, Calles y puentes (NIC - 2000). Nicaragua, 2002.
- SIECA. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.
- SIECA. (2014). Manual Centroamericano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito. GUATEMALA.
- UNI. (2020). Universidad Nacional de Ingenieria, Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelo. Managua.



ANEXOS



## ANEXOS Y PLANOS

### 1. Anexo para Topografía

#### Fotografía N° 1: Ubicación del Primer BM, entrada al Barrio San Francisco



Fuente: Elaboración por sustentantes

#### Fotografía N° 2: Asesoramiento por Parte del Ingeniero Francisco Aguirre



Fuente: Elaboración por sustentantes

**Fotografía N° 3: Ubicación del segundo BM, Est. 0+040**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 4: Manipulación de la Estación total.**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 5: Último tramo del proyecto, Est 1+400**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

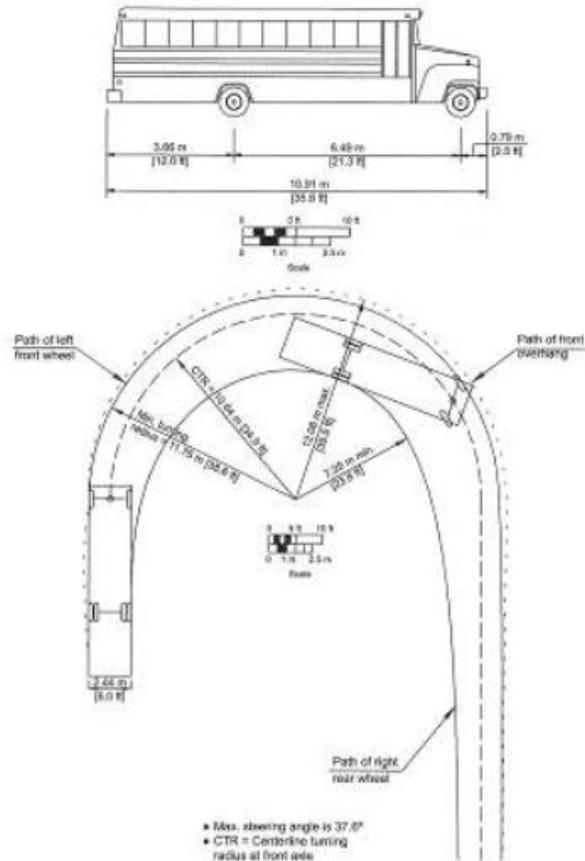
**Fotografía N° 6: Vista panorámica de la estación 1+400**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

## 2. Anexos para Diseño Geométrico

**Imagen N° 20: Características Estructurales Funcionales-Operativas del vehículo de diseño S-BUS-11**



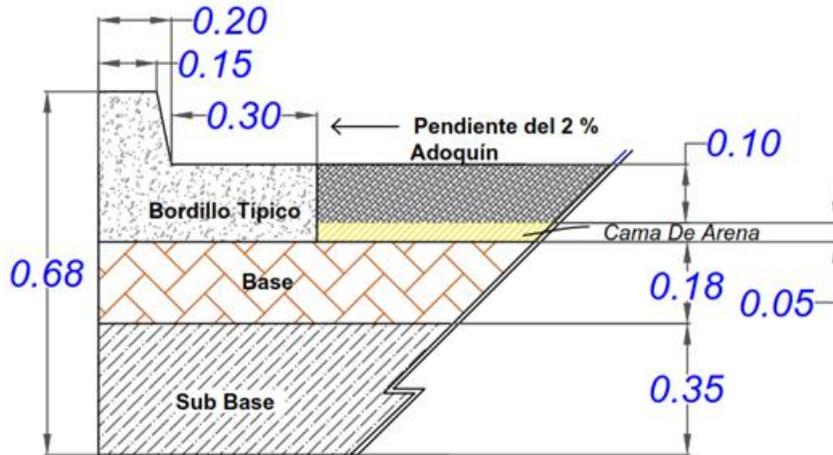
Fuente: Libro Verde AASHTO 2011, Figura No.2-7Pág.2-10

**Imagen N° 21: Sección típicas de bordillos-cunetas en carreteras según SIECA**



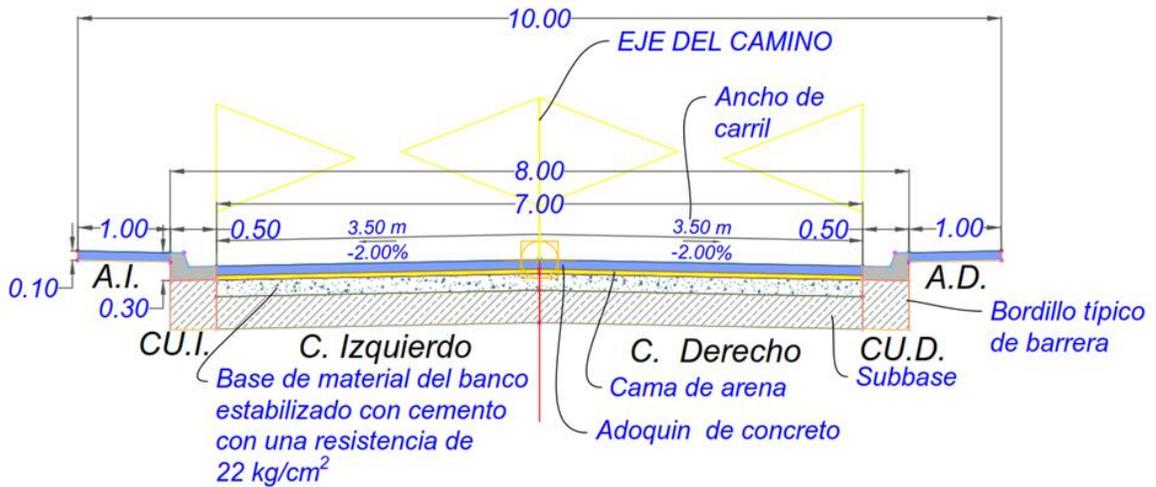
Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2004, Pág. 103.

**Imagen N° 22: Sección típicas de cuneta predefinida.**



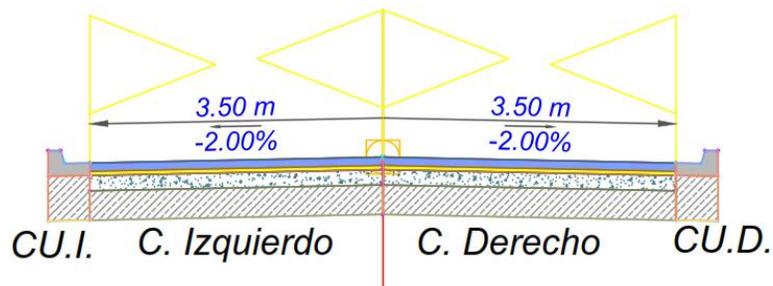
Fuente: Elaboración por Sustentantes, por medio de Auto CAD- Civil 3D 2020

**Imagen N° 23: Sección típica del Corredor Principal**



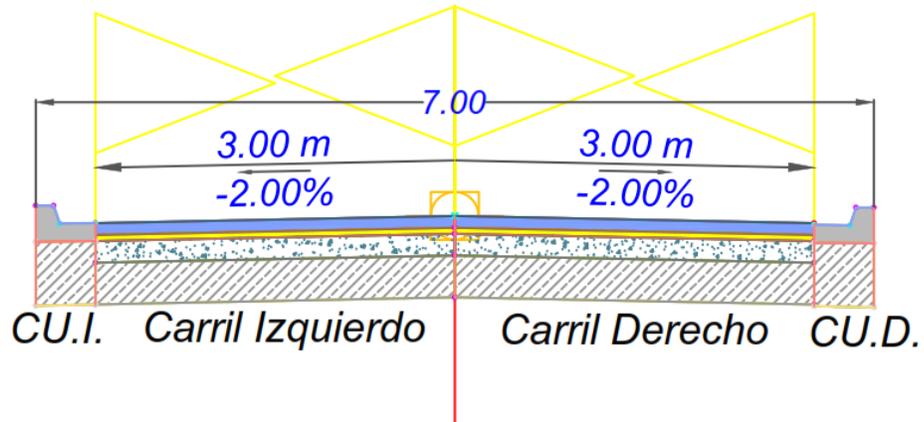
Fuente: Elaboración por Sustentantes, por medio de Auto CAD- Civil 3D 2020

**Imagen N° 24: Sección típica del Corredor Principal sin Andén.**



Fuente: Elaboración por Sustentantes, por medio de Auto CAD- Civil 3D 2020

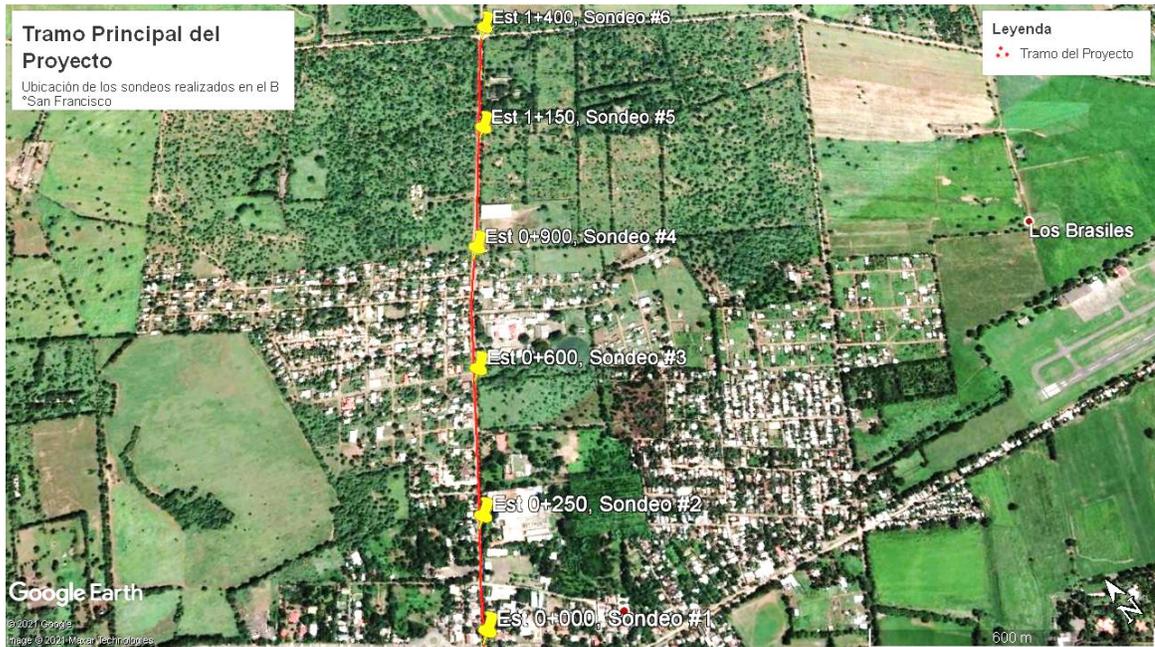
**Imagen N° 25: Sección típica del Corredor Secundario**



Fuente: Elaboración por Sustentantes, por medio de Auto CAD- Civil 3D 2020

### 3. Anexo para Estudio de Suelos

**Imagen N° 26: Vista Satelital de los Sondeos Realizados**



Fuente: Elaboración propia por medio de Google Earth 2021

**Imagen N° 27: Ubicación del Banco de Materiales Mira Flores**



**Fuente: Elaboración propia por medio de Google Earth 2021**

**Fotografía N° 7: Obtención de las muestras alteradas de suelo**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 8: Traslado de las Muestras**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 9: Excavación de calicata a 1.5 m, Est. 0+250**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 10: Muestras obtenidas de los sondeos realizados en el B° San Francisco**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 11: Ensayo de Granulometría**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía No.12: Muestras para Ensayo de Limites de Atterberg**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 13: Ensayo Proctor Estándar y Modificado**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 14: Muestras en saturación por 4 días para ensayo de C.B.R.**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 15: Ensayo de C.B.R.**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 16: Muestras para ensayo de C.B.R. con suelo estabilizado con cemento**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 17: Banco de Materiales Mira Flores**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**



**Fotografía N° 18:  
Recolección de muestra de  
selecto Gris**

**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Fotografía N° 19:  
Recolección de muestra de  
Hormigón**



**Fuente: Elaboración por sustentantes**

**Tabla N° 45: Mezcla de material selecto gris y hormigón**

Mezcla de material selecto gris y hormigón					
Hormigón			Selecto gris		
Tamiz	Abertura	%Que pasa	Tamiz	Abertura	%Que pasa
2"	50	100	2"	50	100
1 1/2"	37.5	100	1 1/2"	37.5	100
1"	25	99.20	1"	25	99.34
3/4"	19	98.74	3/4"	19	97.20
1/2"	12.7	97.57	1/2"	12.7	94.29
3/8"	9.5	96.20	3/8"	9.5	87.29
No.4	4.75	87.95	No.4	4.75	54.48
No.10	2	82.72	No.10	2	37.60
No.40	0.425	63.83	No.40	0.425	20.60
No.200	0.075	42.14	No.200	0.075	17.07

Fuente: Elaboración por Sustentantes.

**Tabla N° 46: Especificaciones para los materiales de terraplenes y capa de Sub-rasante.**

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

Fuente: Especificaciones Nic 2000 Sección 203

**Tabla N° 47: Proporción adecuado para mezcla de muestras**

90% selecto gris - 10% Hormigón	
50 mm	100
37.5 mm	<b>100</b>
25 mm	<b>99</b>
19 mm	<b>97</b>
12.5 mm	95
9.5 mm	88
4.75 mm	<b>58</b>
2 mm	42
0.425 mm	25
0.075 mm	20

Fuente: Elaboración por Sustentantes.

**Tabla N° 48: Márgenes del valor meta para graduaciones de sub base, base o capas superficiales de agregados**

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

( ) Desviación ( $\pm$ ) permisible

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes Nic 2019, sub división 1003.08, cuadro 1003.6, pág. 811

**Tabla N° 49: Valores de la carga unitaria patrón**

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

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

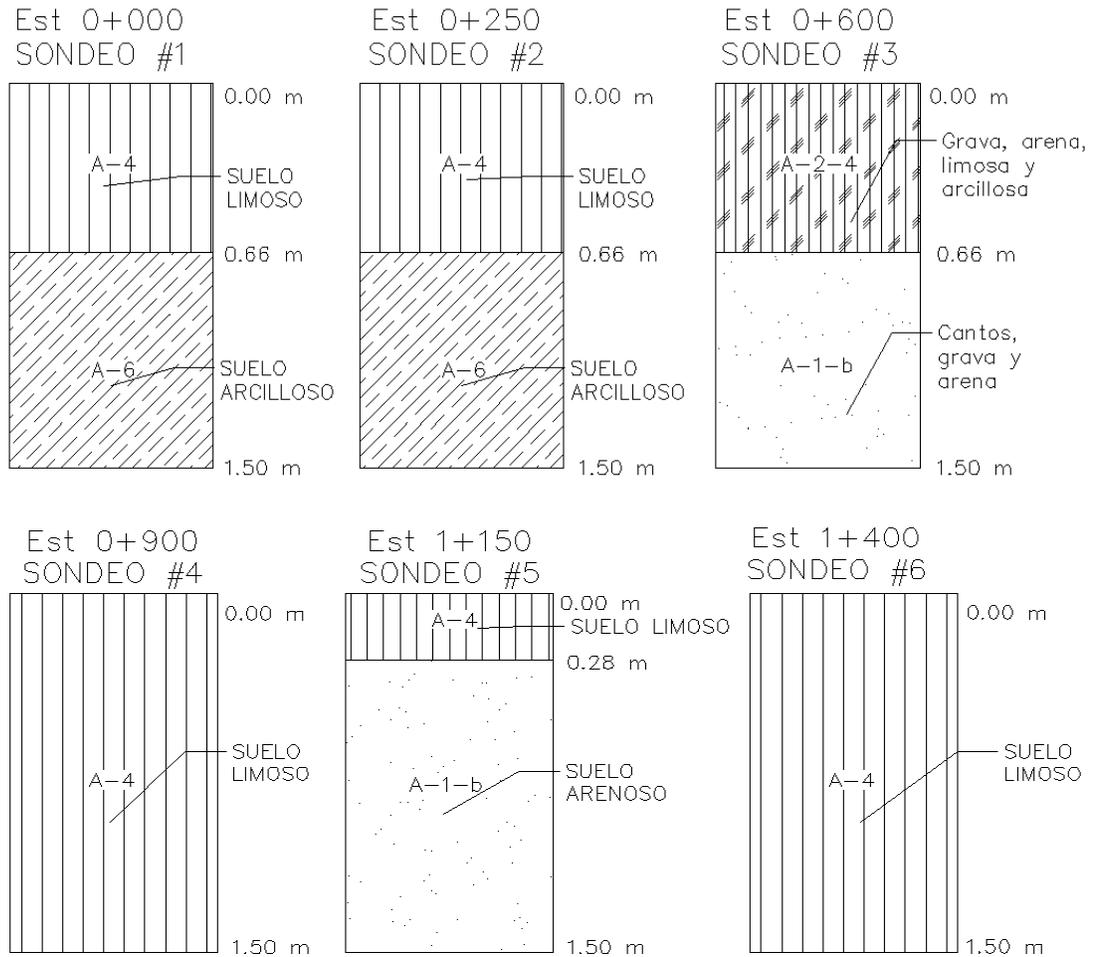
### Estratigrafía del suelo

**Imagen N° 28: Signos convencionales para perfil de suelos, AASHTO**

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

Fuente: Libro De Diseño De Pavimento, AASHTO 93

**Imagen N° 29 Perfil estratigráfico del tramo del B° San Francisco**



**Fuente: Elaborado por Sustentantes, por medio de AutoCAD-Civil 3D.**

4. Anexo para Estudio de Tránsito:

**Tabla N° 50: Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico de la oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y Puentes**

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

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico año 2018. Pág. 34

5. Anexo para Diseño de Estructura de Pavimento

**Tabla N° 51: Factores Equivalente (F. E.) de Carga**

**Tabla 3-1**  
Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples,  $P_t = 2,0$

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

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

Tabla N° 52: F.E. de Carga para Pav. Flexibles, ejes Tándem, Pt=2.0

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.068	0.077	0.081	0.075	0.069	0.068
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.06	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.58	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuentes: AASHTO, Guía para el diseño de estructuras de pavimento 1993

Tabla N° 53: F. E. de Carga para Pavi. Flexibles, Ejes Tridem, Pt=2.0

Carga p/eje (kips)	Número estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
8	0.0009	0.0010	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007
10	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
12	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003
14	0.006	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005
16	0.010	0.012	0.012	0.010	0.009	0.009
18	0.016	0.019	0.019	0.017	0.015	0.015
20	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
22	0.034	0.042	0.042	0.038	0.035	0.034
24	0.049	0.058	0.060	0.055	0.051	0.048
26	0.068	0.080	0.083	0.077	0.071	0.068
28	0.093	0.107	0.113	0.105	0.098	0.094
30	0.125	0.140	0.149	0.140	0.131	0.126
32	0.164	0.182	0.194	0.184	0.173	0.167
34	0.213	0.233	0.248	0.238	0.225	0.217
36	0.273	0.294	0.313	0.303	0.288	0.279
38	0.346	0.368	0.390	0.381	0.364	0.353
40	0.434	0.456	0.481	0.473	0.454	0.443
42	0.538	0.560	0.587	0.580	0.561	0.548
44	0.662	0.682	0.710	0.705	0.686	0.673
46	0.807	0.825	0.852	0.849	0.831	0.818
48	0.978	0.992	1.015	1.014	0.999	0.987
50	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	3.10	3.05	2.98	2.95	2.99	3.04
64	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	4.13	4.05	3.89	3.83	3.90	3.99
68	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	11.2	10.8	10.1	9.6	9.8	10.2
84	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	15.5	15.0	13.8	13.0	13.2	13.8
90	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Fuentes: AASHTO, Guía para el diseño de estructuras de pavimento 1993

Imagen N° 30: Pesos máximos permisibles para vehículos pesados

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

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

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

**Imagen N° 31: Pesos máximos permisibles para vehículos livianos**

		<b>Peso por ejes en Toneladas</b>	<b>Peso por eje en KIPS</b>
<b>Automóvil</b>		1/1	2.2/2.2
<b>JEEP</b>		1/1	2.2/2.2
<b>Camionetas</b>		1/2	2.2/4.4
<b>Microbús</b>		4/8	8.8/17.6
<b>Bus</b>		5/10	11/22

Fuente: Elaboración por Sustentantes.



**PLANOS**





# PLANTA PERFIL





# SECCIONES TÍPICAS





# **SECCIONES TRANSVERSALES**

