

Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

# **“DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL METODO DE LA AASHTO-93, DEL TRAMO DE 2 KM: EMPALME SAN GABRIEL – EMPALME LAS CRUCES, DEPARTAMENTO DE JINOTEGA”**

Trabajo Monográfico para optar al título de  
Ingeniero Civil

**Elaborado por:**

Br. Bryan Alexander  
Figueroa Vásquez  
Carnet: 2019-0101N

Br. Olman José  
Castillo Rivera  
Carnet: 2016-0247N

**Tutor:**

Ing. Keving Roberto  
Sánchez Rocha

12 de mayo de 2026  
Managua, Nicaragua

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestro **Dios** por su bondad e infinito amor, por regalarnos la sabiduría y habernos guiado a lo largo de este proceso, por ser nuestra luz y fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A nuestros **padres** por los valores que nos han inculcado, por darnos la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de nuestras vidas, sobre todo por el ejemplo a seguir.

A nuestro tutor **Ing. Keving Roberto Sánchez Rocha**, por el tiempo empleado en dirigirnos y acompañarnos en cada etapa de este trabajo, por animarnos y darnos lecciones de aprendizaje que nos fortalecieron intelectualmente, reforzando nuestros conocimientos.

A nuestros maestros que han contribuido en nuestra educación, siendo de vital importancia cada uno de los conocimientos que nos han transmitido en el transcurso del tiempo.

*Br. Bryan Alexander Figueroa Vásquez*

*Br. Oltan José Castillo Rivera*

## DEDICATORIA

Este trabajo monográfico es dedicado especialmente a **Dios**, por darnos principalmente la vida y la oportunidad de estudiar esta profesión, por regalarnos la inteligencia y la fortaleza para poder vencer los obstáculos durante los años de nuestra carrera. “Porque de él, y por él, y para él son todas las cosas. A él sea la gloria por los siglos. Amén.” - Romanos 11:36.

**A nuestros padres** por el apoyo incondicional que nos brindaron, por sus oraciones, su comprensión y amor, alentándonos día a día a seguir adelante para llegar alcanzar nuestras metas, por ayudarnos incondicionalmente y creer en nosotros, gracias por los buenos consejos y sus palabras de ánimo.

A nuestros maestros por formar parte fundamental de este trabajo, por su paciencia y dedicación, por los conocimientos compartidos y sobre todo por exigirnos a dar lo mejor y por siempre animarnos a seguir adelante.

*Br. Bryan Alexander Figueroa Vásquez*

*Br. Oltan José Castillo Rivera*

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente documento fue elaborado con la finalidad de realizar una propuesta de diseño de pavimento flexible para el tramo “Empalme San Gabriel - Empalme Las Cruces, departamento de Jinotega” aplicando el método de la AASHTO-93. La información, fue obtenida en la división de los principales proyectos de inversión pública, perteneciente al Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

### **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

Este capítulo aborda las generalidades del proyecto como donde estará ubicado, una breve introducción, antecedentes, justificación sobre la importancia del diseño de los 2.0 kilómetros de pavimento flexible y objetivos planteados necesarios para lograr con éxito su diseño final.

### **CAPÍTULO II: MARCO TEORICO**

En este capítulo abordaremos toda la base conceptual, científica y conceptual que sustenta el tema de investigación. Es decir, es la parte del trabajo donde se explica que se sabe sobre el tema, que teorías lo respaldan y que investigaciones previas existen.

### **CAPÍTULO III: ANALISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS**

#### **Estudio topográfico**

Se realizó en colaboración con Alcaldía Municipal de Jinotega, los cuales muestran los resultados que se obtuvieron durante la realización de dicho estudio, se muestra detalladamente todo lo relacionado con la planimetría y altimetría del terreno, donde se identificaron las pendientes máximas y mínimas con sus respectivas estaciones, luego se elaboró un consolidado de las obras de drenajes existentes a lo largo del tramo en análisis, así como el levantamiento de los BMs, curvas y rectas importantes a lo largo del tramo, con la finalidad de tener una perspectiva clara de las condiciones del terreno y poder realizar los planos finales

## **Estudio de transito**

Para cumplir con el primer objetivo propuesto, se realizó un conteo vehicular en la estación 0+000 (inicio del proyecto) donde se captó el 100% de los vehículos, luego se estimó TPDi (Tráfico Promedio Diurno) el cual se calculó por medio de los datos recolectados en el conteo vehicular, realizado durante 7 días consecutivos 12 horas diurnas (6 am-6 pm), con el objetivo de estimar el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual). Los factores utilizados fueron: FD (factor día) y FE (Factor expansión).

Luego se realizaron correlaciones de los registros de TPDA-ECD 4101 Vs PIB (producto interno bruto) y POB (población) con la finalidad de estimar una tasa de crecimiento para proyectar el tráfico actual, esto en un periodo de diseño luego se estimó el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL s).

## **Estudio geotécnico**

Se analizó el estudio de suelos realizado por LAMSA (Ingenieros Consultores), con el objetivo de conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo existente y bancos de materiales cercanos al proyecto. De los 9 sondeos de línea a cada 250 metros se tomaron 21 muestras. Los bancos de préstamos se evaluaron en base a las recomendaciones de la NIC-2019, para determinar si cumplen para ser utilizados como base o sub base. Posterior se realizó el cálculo del CBR de la subrasante para determinar su módulo resiliente.

## **Diseño de la estructura del pavimento flexible**

Se realizó el cálculo de los espesores de cada capa que conforman el pavimento, se utilizaron los parámetros de diseño tales como: Ejes equivalentes de diseño (ESAL's), confiabilidad (R), serviciabilidad ( $P_o$ ,  $P_t$ ), desviación estándar ( $S_o$ ), y el CBR de diseño; el cual sirvió como base para determinar el módulo de resiliencia ( $M_r$ ), el valor de los coeficientes estructurales ( $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ), y el valor de los números estructurales (SN1, SN2, SN3). Posterior se comprobó los espesores requeridos en la estructura de pavimento; utilizando el software WinPAS 12.

## **Diseño geométrico vial**

El contenido de este capítulo, corresponden al establecimiento y/o definición de la Geometría Vial del tramo de Proyecto Empalme San Gabriel –Empalme Las Cruces (2.0 kilómetros), adoptando las Normas de Diseño del Proyecto mostradas en Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA). Se definieron los parámetros tal como; Radio Mínimo ( $R_{min}$ ), distancia entre ejes ( $L$ ), coeficiente de fricción longitudinal ( $f_{max}$ ), Grado de curvatura máximo ( $D_c$ ), pendiente transversal (%), distancia de visibilidad de parada (DVP) y rebase (DVR); en función de la velocidad de diseño ( $V_d$ ).

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO I. GENERALIDADES .....                  | 1  |
| 1.1. Introducción .....                          | 1  |
| 1.2. Ubicación y localización del proyecto.....  | 3  |
| 1.2.1. Macro - localización.....                 | 3  |
| 1.2.2. Micro - Localización.....                 | 4  |
| 1.3. Antecedentes .....                          | 5  |
| 1.4. Justificación .....                         | 6  |
| 1.5. Objetivos .....                             | 7  |
| 1.5.1. Objetivo general .....                    | 7  |
| 1.5.2. Objetivos específicos.....                | 7  |
| II. ....                                         | 8  |
| CAPÍTULO II. MARCO TEORICO.....                  | 8  |
| 2.1. Estudio Topográfico .....                   | 8  |
| 2.1.1. Equipo topográfico.....                   | 8  |
| 2.1.2. Levantamiento topográfico .....           | 9  |
| 2.1.3. Planimetría .....                         | 9  |
| 2.1.4. Altimetría .....                          | 9  |
| 2.1.5. Perfil longitudinal .....                 | 9  |
| 2.1.6. Curvas de nivel.....                      | 9  |
| 2.2. Estudio Geotécnico .....                    | 10 |
| 2.2.1. Tipos y tamaño de suelos.....             | 10 |
| 2.2.2. Sistemas de clasificación de suelos ..... | 10 |
| 2.2.3. Límite líquido .....                      | 10 |
| 2.2.4. Límite Plástico .....                     | 11 |

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 2.3. Estudio de tránsito .....                       | 12 |
| 2.3.1. Transito Promedio Diario (TPD). ....          | 12 |
| 2.3.2. Factores para el cálculo del TPDA. ....       | 12 |
| 2.3.3. Estaciones de conteo .....                    | 12 |
| 2.3.4. Volúmenes de tránsito.....                    | 13 |
| 2.3.5. Aforo vehicular.....                          | 13 |
| 2.3.6. Tránsito de diseño .....                      | 14 |
| 2.3.7. Periodo de Diseño .....                       | 14 |
| 2.3.8. Factor de crecimiento .....                   | 14 |
| 2.3.9. Factor de dirección .....                     | 14 |
| 2.3.10. Factor carril .....                          | 14 |
| 2.3.11. ESAL .....                                   | 15 |
| 2.4. Diseño de pavimento flexible AASHTO93.....      | 15 |
| 2.4.1. Variables de tiempo.....                      | 15 |
| 2.4.2. Variables en función del tránsito .....       | 15 |
| 2.4.3. Confiabilidad (R).....                        | 16 |
| 2.4.4. Serviciabilidad .....                         | 16 |
| 2.4.5. Propiedades de los materiales Mr .....        | 16 |
| 2.5. Estudio de Diseño Geométrico .....              | 17 |
| 2.5.1. Vehículos de diseño .....                     | 17 |
| 2.5.2. Velocidad de diseño .....                     | 17 |
| 2.5.3. Distancias de visibilidad en carreteras ..... | 17 |
| 2.5.4. Alineamiento horizontal .....                 | 18 |
| 2.5.5. Peralte .....                                 | 18 |
| 2.5.6. Radio Mínimo .....                            | 18 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.7. Grado de curvatura.....                             | 18 |
| 2.5.8. Sobre ancho en curvas.....                          | 18 |
| III. ....                                                  | 20 |
| CAPÍTULO III ANALISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS .....   | 20 |
| 3.1. Estudio topográfico .....                             | 20 |
| 3.1.1. Metodología.....                                    | 20 |
| 3.1.2. Levantamiento Topográfico .....                     | 20 |
| 3.1.3. Planimetría .....                                   | 21 |
| 3.1.4. Alineamiento horizontal .....                       | 21 |
| 3.1.5. Eje de la carretera .....                           | 22 |
| 3.1.6. Perfil Longitudinal.....                            | 22 |
| 3.1.7. Establecimiento de BM .....                         | 23 |
| 3.1.8. Curvas de nivel.....                                | 24 |
| 3.1.9. Características de la topografía existente .....    | 24 |
| 3.1.10. Pendiente longitudinal.....                        | 26 |
| 3.2. Estudio geotécnico.....                               | 28 |
| 3.2.1. Generalidades .....                                 | 28 |
| 3.2.2. Ensayos de suelo en línea .....                     | 29 |
| 3.2.3. Resultados de ensayos sobre la línea.....           | 30 |
| 3.2.4. Resultados granulométricos .....                    | 31 |
| 3.2.5. Límites de atterberg.....                           | 35 |
| 3.2.6. Proctor estándar .....                              | 36 |
| 3.2.7. Ensayo CBR.....                                     | 36 |
| 3.2.8. Ensayos en Bancos de Materiales y Canteras .....    | 37 |
| 3.2.9. Resultados de Bancos de Materiales y Canteras ..... | 38 |

|         |                                                            |    |
|---------|------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.10. | Consideraciones para la elección del banco a utilizar..... | 39 |
| 3.2.11. | Consideraciones técnicas para la base.....                 | 39 |
| 3.2.12. | Consideraciones técnicas para Sub-Base.....                | 40 |
| 3.2.13. | Evaluación de los Bancos conforme a la Nic-2019 .....      | 40 |
| 3.2.14. | Propuestas de soluciones Geotécnicas .....                 | 42 |
| 3.2.15. | Suelos de la Línea de la carretera .....                   | 42 |
| 3.2.16. | Bancos de Materiales.....                                  | 42 |
| 3.2.17. | Para base y sub base.....                                  | 43 |
| 3.2.18. | Determinación del CBR de diseño .....                      | 44 |
| 3.2.19. | Identificación de la Subrasante .....                      | 44 |
| 3.1.    | Estudio de tránsito .....                                  | 49 |
| 3.1.1.  | Generalidades .....                                        | 49 |
| 3.1.2.  | Metodología del estudio .....                              | 49 |
| 3.1.3.  | Tipo de vehículos .....                                    | 49 |
| 3.1.4.  | Tipo de vehículos por la disposición de sus ejes.....      | 50 |
| 3.1.5.  | Procesamiento y análisis de información .....              | 50 |
| 3.1.6.  | Estación de conteo vehicular.....                          | 51 |
| 3.1.7.  | Procesamiento de datos.....                                | 52 |
| 3.1.8.  | Resumen del aforo vehicular .....                          | 52 |
| 3.1.9.  | Tráfico Promedio Diario de 12 horas (TPD 12 h) .....       | 52 |
| 3.1.10. | Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....     | 55 |
| 3.1.11. | Proyección de Tránsito.....                                | 62 |
| 3.1.12. | Tasas de crecimiento .....                                 | 62 |
| 3.1.13. | Período de diseño .....                                    | 64 |
| 3.1.14. | Factor Distribución por Dirección (FD) .....               | 64 |

|         |                                                                   |    |
|---------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.15. | Factor distribución por Carril ( $F_c$ ) .....                    | 65 |
| 3.1.16. | Factor de Crecimiento (FC) .....                                  | 65 |
| 3.1.17. | Tráfico proyectado en el año $n$ .....                            | 66 |
| 3.1.18. | Clasificación funcional del tramo .....                           | 66 |
| 3.1.19. | Determinación del Tráfico de Diseño .....                         | 67 |
| 3.1.20. | Cálculo del ESAL de diseño .....                                  | 68 |
| 3.1.21. | Índice de Serviciabilidad inicial ( $P_o$ ) .....                 | 69 |
| 3.1.22. | Índice de Serviciabilidad final ( $P_t$ ) .....                   | 69 |
| 3.1.23. | Pérdida de Serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ) .....                 | 69 |
| 3.1.24. | Número Estructural Asumido .....                                  | 70 |
| 3.1.25. | Factor de Equivalencia (FESAL) .....                              | 70 |
| 3.1.26. | Ejes equivalentes ESAL o W18 .....                                | 71 |
| 3.2.    | Diseño de pavimento .....                                         | 74 |
| 3.2.1.  | Metodología de diseño AASHTO 93 .....                             | 74 |
| 3.2.2.  | Factores Equivalente de Carga ( $FE_i$ ) .....                    | 75 |
| 3.2.3.  | Peso por Ejes Simples Equivalentes .....                          | 75 |
| 3.2.4.  | Confiabilidad ( $R$ ) .....                                       | 75 |
| 3.2.5.  | Desviación estándar ( $S_o$ ) .....                               | 76 |
| 3.2.6.  | Serviciabilidad .....                                             | 77 |
| 3.2.7.  | Característica de los materiales que conforman el pavimento ..... | 78 |
| 3.2.8.  | Módulo de Resiliencia ( $MR$ ) .....                              | 78 |
| 3.2.9.  | Coeficiente de Drenaje ( $m_i$ ) .....                            | 78 |
| 3.2.10. | Coeficientes estructurales de capas ( $a_i$ ) .....               | 79 |
| 3.2.11. | Carpeta de rodamiento ( $a_1$ ) .....                             | 80 |
| 3.2.12. | Base Granular estabilizada con cemento Portland ( $a_2$ ) .....   | 82 |

|         |                                                            |     |
|---------|------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.13. | Subbase granular no tratada ( $a_3$ ) .....                | 83  |
| 3.2.14. | Números estructurales .....                                | 84  |
| 3.2.15. | Cálculo de espesores.....                                  | 88  |
| 3.2.16. | Espesores finales de Diseño .....                          | 89  |
| 3.3.    | Diseño Geométrico .....                                    | 92  |
| 3.3.1.  | Metodología.....                                           | 92  |
| 3.3.2.  | Parámetros Geométricos.....                                | 92  |
| 3.3.3.  | Clasificación funcional .....                              | 92  |
| 3.3.4.  | Estructura de carpeta de rodamiento .....                  | 93  |
| 3.3.1.  | Vehículos de diseño .....                                  | 93  |
| 3.3.2.  | Parámetros de diseño y composición típica del tráfico..... | 94  |
| 3.3.3.  | Justificación de criterios adoptados.....                  | 95  |
| 3.3.4.  | Velocidad de diseño .....                                  | 95  |
| 3.3.5.  | Superficie de rodamiento.....                              | 96  |
| 3.3.6.  | Número de carriles .....                                   | 96  |
| 3.3.7.  | Ancho de carriles.....                                     | 96  |
| 3.3.8.  | Ancho de hombro y aceras.....                              | 97  |
| 3.3.9.  | Ancho de corona .....                                      | 98  |
| 3.3.10. | Pendiente transversal.....                                 | 98  |
| 3.3.11. | Sección típica propuesta .....                             | 98  |
| 3.3.12. | Distancia de visibilidad .....                             | 99  |
| 3.3.13. | Distancia de visibilidad de parada.....                    | 99  |
| 3.3.14. | Distancia de visibilidad de rebase .....                   | 101 |
| 3.3.15. | Alineamiento horizontal del tramo .....                    | 103 |
| 3.3.16. | Curva horizontal y sobreelevación .....                    | 103 |

|                                                                       |                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------|
| 3.3.17.                                                               | Pendiente transversal o bombeo.....                 | 104        |
| 3.3.18.                                                               | Coeficiente de fricción lateral (f).....            | 104        |
| 3.3.19.                                                               | Sobreelevación máxima.....                          | 105        |
| 3.3.20.                                                               | Radio mínimos de curva.....                         | 105        |
| 3.3.21.                                                               | Peralte ( $e_d$ ).....                              | 107        |
| 3.3.22.                                                               | Longitud de Transición.....                         | 109        |
| 3.3.23.                                                               | Pendiente relativa ( $m_r$ ).....                   | 110        |
| 3.3.24.                                                               | Sobre anchos de curvas.....                         | 110        |
| 3.3.25.                                                               | Elementos geométricos de las curvas verticales..... | 114        |
| 3.3.26.                                                               | Normas generales para el perfil longitudinal .....  | 115        |
| 3.3.27.                                                               | Calculo para curvas verticales .....                | 115        |
| 3.3.28.                                                               | Elaboración del diseño en civil 3D .....            | 117        |
| CONCLUSIONES .....                                                    |                                                     | 118        |
| RECOMENDACIONES .....                                                 |                                                     | 121        |
| BIBLIOGRAFÍA .....                                                    |                                                     | 123        |
| ANEXOS .....                                                          |                                                     | 124        |
| <b>ANEXOS CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....</b>                          |                                                     | <b>125</b> |
| ANEXO I-1: Foto N°1, situación actual del tramo, estación 0+000 ..... |                                                     | I          |
| ANEXO I-2: Foto N°2, situación actual del tramo, estación 2+000 ..... |                                                     | I          |
| ANEXO I-3: Foto N°3, superficie de rodamiento de macadam.....         |                                                     | II         |
| ANEXO I-4: Foto N°4, desgaste en la carpeta de rodamiento .....       |                                                     | II         |
| <b>ANEXOS CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO.....</b>                   |                                                     | <b>III</b> |
| ANEXO II-1: Nomenclatura de las marcas .....                          |                                                     | IV         |
| ANEXO II-2: Puntos del levantamiento topográfico 0+000 a 0+780 .....  |                                                     | V          |
| ANEXO II-3: Puntos del levantamiento topográfico 0+800 a 1+640 .....  |                                                     | VI         |

|                                                                        |       |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| ANEXO II-4: Puntos del levantamiento topográfico 1+660 a 2+000 .....   | VII   |
| ANEXO II-5: Rectas identificadas a lo largo del tramo .....            | VIII  |
| ANEXOS CAPÍTULO III: ESTUDIO GEOTÉCNICO.....                           | IX    |
| ANEXO III-1: Foto sondeo N°5, EST 1+000 B/D .....                      | X     |
| ANEXO III-2: Foto sondeo N°8, EST 1+750 B/D .....                      | X     |
| ANEXO III-3: Ensayes en la línea, laboratorio LAMSA .....              | XI    |
| ANEXO III-4: Foto Calicata N°1, Banco Clavo González .....             | XII   |
| ANEXO III-5: Foto Corte central en roca, Banco Clavo González.....     | XII   |
| ANEXO III-6: Foto Calicata N°1, Banco Chico González.....              | XIII  |
| ANEXO III-7: Foto Calicata N°2 y N°3, Banco Chico González.....        | XIII  |
| ANEXO III-8: Esquema Banco Clavo González .....                        | XIV   |
| ANEXO III-9: Esquema Banco Chico González .....                        | XIV   |
| ANEXO III-10: Ensayes a Bancos, laboratorio LAMSA.....                 | XV    |
| ANEXO III-11: Resultados Banco Clavo González .....                    | XV    |
| ANEXO III-12: Resultados Banco Chico González.....                     | XVI   |
| ANEXO III-13: Soporte de resultados de ensayos sobre la línea .....    | XVII  |
| ANEXO III-14: Soporte de resultado de ensayos de los Bancos .....      | XVIII |
| ANEXOS CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE TRÁNSITO. ....                          | XIX   |
| ANEXO IV-1: Diagrama de cargas permisibles (Vehículos Pesados) .....   | XX    |
| ANEXO IV-2: Diagrama de cargas permisibles (Vehículos Livianos) .....  | XX    |
| ANEXO IV-3: Supuestos económicos oficiales del país .....              | XXII  |
| ANEXO IV-4: Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Simples. Pt=2.5 .... | XXIV  |
| ANEXO IV-5: Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem. Pt=2.5 ....  | XXV   |
| ANEXO IV-6: Interpolación de factores de Equivalencia (FESAL) .....    | XXVI  |
| ANEXOS CAPÍTULO V: DISEÑO GEOMÉTRICO. ....                             | XXXI  |

|                                                                           |                |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>ANEXO V-1: Vehículo de Diseño .....</b>                                | <b>XXXII</b>   |
| <b>ANEXO V-2: Distancia de visión para Rebasar/Adelantar (DVP/DVR) ..</b> | <b>XXXIII</b>  |
| <b>ANEXO V-3: Distribución de Peralte para Radios.....</b>                | <b>XXXIV</b>   |
| <b>ANEXO V-4: Sobre anchos en curvas.....</b>                             | <b>XXXV</b>    |
| <b>ANEXO V-5: Resultado de curvas verticales.....</b>                     | <b>XXXVI</b>   |
| <b>ANEXO V-6: Resultado de curvas horizontales .....</b>                  | <b>XXXVII</b>  |
| <b>ANEXOS CAPÍTULO VI: PLANOS. ....</b>                                   | <b>XXXVIII</b> |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 :Coordenadas UTM del punto Inicial y Final del Proyecto .....      | 21 |
| Tabla 2: Ubicación de BMs (BENCH MARCK) .....                              | 23 |
| Tabla 3: Curvas Horizontales .....                                         | 25 |
| Tabla 4: Clasificación de terrenos en función de pendientes .....          | 26 |
| Tabla 5: Consolidado de pendientes por estaciones.....                     | 27 |
| Tabla 6: Tipos de ensayos para estudio de suelos .....                     | 29 |
| Tabla 7: Ubicación de sondeos en línea. ....                               | 30 |
| Tabla 8: Resultado granulométricos 0+000 – 2+000 .....                     | 32 |
| Tabla 9: Estratigrafía del tramo 0+000 – 2000.....                         | 34 |
| Tabla 10: Límites Atterberg .....                                          | 35 |
| Tabla 11: Resultado de ensayo Proctor estándar .....                       | 36 |
| Tabla 12: Resultados ensayos CBR .....                                     | 37 |
| Tabla 13: Tabla resumen información general de bancos de material.....     | 38 |
| Tabla 14: Especificaciones de materiales para base Granular .....          | 39 |
| Tabla 15: Especificaciones de materiales para la sub-base.....             | 40 |
| Tabla 16: Evaluación Banco N°1 Clavo González .....                        | 40 |
| Tabla 17: Evaluación Banco N°2 Chico González .....                        | 41 |
| Tabla 18: Valores de CBR de diseño en la subrasante propuesta.....         | 45 |
| Tabla 19: Criterio del Instituto de Asfalto para CBR de Diseño .....       | 46 |
| Tabla 20: Número de ensayos con valores iguales o mayores.....             | 46 |
| Tabla 21: Interpolación lineal para cálculo de CBR .....                   | 47 |
| Tabla 22: Clasificación de sub-base según CBR .....                        | 48 |
| Tabla 23: Tipología y clasificación vehicular en conteos de tránsito ..... | 50 |
| Tabla 24: Tránsito Promedio Diario Total EST 0+000 .....                   | 53 |
| Tabla 25: Vector Geográfico de correspondencia.....                        | 55 |
| Tabla 26: Porcentaje vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura .....      | 57 |
| Tabla 27: Dependencia de estaciones Nic-41 .....                           | 58 |
| Tabla 28: Estación de dependencia asociada al tráfico en estudio.....      | 58 |
| Tabla 29: Factores 3er Trimestre del año, EMC 1802.....                    | 59 |
| Tabla 30: TPDA Total, 0+000 Emp. San Gabriel- Emp. Las Cruces.....         | 61 |

|                                                                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tabla 31: Tasas de Crecimientos.....</b>                                                                                        | <b>63</b>  |
| <b>Tabla 32: Periodo de diseño para pavimentos según AASHTO.....</b>                                                               | <b>64</b>  |
| <b>Tabla 33: Factor de Distribución por Dirección (FD) .....</b>                                                                   | <b>64</b>  |
| <b>Tabla 34: Factor de Distribución por Carril (Fc) .....</b>                                                                      | <b>65</b>  |
| <b>Tabla 35: Proyección del tránsito al año 2044.....</b>                                                                          | <b>66</b>  |
| <b>Tabla 36: Clasificación funcional de carreteras .....</b>                                                                       | <b>67</b>  |
| <b>Tabla 37: Tránsito de diseño para el año 2044 .....</b>                                                                         | <b>68</b>  |
| <b>Tabla 38: Factores de ejes Kips a interpolar .....</b>                                                                          | <b>71</b>  |
| <b>Tabla 39: Cálculo ESAL'S del Carril de Diseño .....</b>                                                                         | <b>73</b>  |
| <b>Tabla 40: Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera .....</b>                                                 | <b>75</b>  |
| <b>Tabla 41: Valores de (Zr) en función de la confiabilidad (R) .....</b>                                                          | <b>76</b>  |
| <b>Tabla 42: Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles .....</b>                                                     | <b>77</b>  |
| <b>Tabla 43: Correlación entre CBR y MR para subrasante. ....</b>                                                                  | <b>78</b>  |
| <b>Tabla 44: Calculo de Módulo Resiliente (MR) de la Subrasante .....</b>                                                          | <b>78</b>  |
| <b>Tabla 45: Capacidad del Drenaje para remover la Humedad .....</b>                                                               | <b>79</b>  |
| <b>Tabla 46: Niveles de humedad cercanos a la saturación .....</b>                                                                 | <b>79</b>  |
| <b>Tabla 47: Estabilidad del método Marshall .....</b>                                                                             | <b>80</b>  |
| <b>Tabla 48: Espesores sugeridos por capa .....</b>                                                                                | <b>89</b>  |
| <b>Tabla 49: Espesores de diseño.....</b>                                                                                          | <b>90</b>  |
| <b>Tabla 50: Clasificación de Vehículos de Diseño .....</b>                                                                        | <b>93</b>  |
| <b>Tabla 51: Dimensiones de los Vehículos de Diseño (m) .....</b>                                                                  | <b>94</b>  |
| <b>Tabla 52: Velocidad de Ruedo .....</b>                                                                                          | <b>95</b>  |
| <b>Tabla 53: Efecto Combinado Sobre la Capacidad Ideal, del Ancho de Carril y la Ubicación de las Restricciones Laterales.....</b> | <b>97</b>  |
| <b>Tabla 54: Anchos Mínimos de Hombros y Aceras .....</b>                                                                          | <b>97</b>  |
| <b>Tabla 55: Secciones típicas por tramos .....</b>                                                                                | <b>98</b>  |
| <b>Tabla 56: Tiempo de recepción y reacción .....</b>                                                                              | <b>99</b>  |
| <b>Tabla 57: Distancia de Visibilidad parada en función de la Velocidad .....</b>                                                  | <b>100</b> |
| <b>Tabla 58: Distancia de Adelantamiento para carreteras de dos carriles.....</b>                                                  | <b>102</b> |
| <b>Tabla 59: Elementos para cálculo de Distancia de Visibilidad de Rebase...</b>                                                   | <b>102</b> |
| <b>Tabla 60: Coeficiente de fricción lateral en función de la velocidad .....</b>                                                  | <b>104</b> |

|                                                                                                        |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Tabla 61: La sobreelevación o peralte según tipo de área .....</b>                                  | <b>105</b> |
| <b>Tabla 62: Radios mínimos para Velocidades de Diseño (Peralte 8%) .....</b>                          | <b>106</b> |
| <b>Tabla 63: Distribución de peralte para cada radio .....</b>                                         | <b>109</b> |
| <b>Tabla 64: Radios máximos de curvas con velocidad de diseño que requieran curvas espirales .....</b> | <b>112</b> |
| <b>Tabla 65: Parámetros de diseño .....</b>                                                            | <b>118</b> |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1: Macro localización del tramo en estudio .....                   | 3   |
| Figura 2: <i>Micro localización del tramo 0+000 – 2+000</i> .....         | 4   |
| Figura 3: Ejemplo de perfil longitudinal.....                             | 23  |
| Figura 4: Vista de planta, Curvas de nivel del tramo (Civil3D 2023) ..... | 24  |
| Figura 5: Curvas horizontales, vista de planta, Civil3D .....             | 25  |
| Figura 6: CBR de Diseño según el Instituto del Asfalto .....              | 47  |
| Figura 7: Ubicación del aforo vehicular .....                             | 51  |
| Figura 8: Comportamiento del Tránsito Diurno (TPDi) por día .....         | 54  |
| Figura 9: Composición del Tránsito Diurno por vehículo .....              | 54  |
| Figura 10: Resultados de aforo vehicular de 12 hora .....                 | 56  |
| Figura 11: Abaco para coeficiente estructural de capa asfáltica.....      | 81  |
| Figura 12: Coeficiente estructural de la carpeta de Asfáltica (a1) .....  | 82  |
| Figura 13: Coeficiente estructural a2 y Mr, para base estabilizada.....   | 83  |
| Figura 14: Coeficiente estructural a3 y Mr, para Sub-Base Granular .....  | 84  |
| Figura 15: Resultado número estructural SN <sub>1</sub> .....             | 86  |
| Figura 16: Obtención del Número estructural SN2 y SN3 .....               | 87  |
| Figura 17: Estructura final de pavimento flexible .....                   | 90  |
| Figura 18: Tipos de curvas verticales .....                               | 113 |
| Figura 19: Elementos geométricos de una curva vertical .....              | 114 |
| Figura 20: Derecho de vía de una Colectora Rural .....                    | 115 |

## INDICE DE ECUACIONES

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| Ecuación 1: Calculo de pendiente longitudinal .....          | 26  |
| Ecuación 2: Transito Promedio Diurno .....                   | 52  |
| Ecuación 3: Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) .....       | 60  |
| Ecuación 4: tasa de crecimiento.....                         | 62  |
| Ecuación 5: tasa de crecimiento vehicular .....              | 63  |
| Ecuación 6: Factor de Crecimiento .....                      | 65  |
| Ecuación 7: Tráfico proyectado en el año n .....             | 66  |
| Ecuación 8:Tránsito de diseño .....                          | 67  |
| Ecuación 9:Pérdida de Serviciabilidad .....                  | 69  |
| Ecuación 10: Cálculo de ESAL O W18 .....                     | 72  |
| Ecuación 11: Método AASHTO 93 .....                          | 74  |
| Ecuación 12: Números estructurales (SN).....                 | 84  |
| Ecuación 13: Número estructural 1 (SN1).....                 | 88  |
| Ecuación 14: Número estructural 2 (SN2).....                 | 88  |
| Ecuación 15: Número estructural 3 (SN3).....                 | 89  |
| Ecuación 16 Calculo de Números estructurales (SN).....       | 89  |
| Ecuación 17: Distancia de percepción ( $d_1$ ) .....         | 99  |
| Ecuación 18: Distancia de frenado ( $d_2$ ) .....            | 100 |
| Ecuación 19: Distancia de Visibilidad de Parada (DVP) .....  | 100 |
| Ecuación 20: Distancia de Visibilidad de Rebase (DVR) .....  | 103 |
| Ecuación 21: Alineamiento compuesto .....                    | 104 |
| Ecuación 22: Radios mínimos de curva.....                    | 105 |
| Ecuación 23: Grado de curva o de curvatura ( $G_c$ ) .....   | 106 |
| Ecuación 24: Peralte ( $e_d$ ) para cada Radio .....         | 107 |
| Ecuación 25: Grado de desplazamiento de PI ( $D_{pi}$ )..... | 108 |
| Ecuación 26: Desplazamiento de PI ( $h_{pi}$ ) .....         | 108 |
| Ecuación 27: Longitud de Transición (LT).....                | 109 |
| Ecuación 28: Transición del bombeo (N).....                  | 110 |
| Ecuación 29: Sobre ancho de la curva ( $S_a$ ).....          | 110 |
| Ecuación 30: Longitud de curva vertical.....                 | 114 |



# CAPÍTULO I.

## GENERALIDADES.

**“La red vial es imprescindible para el desarrollo y  
crecimiento de un país”**

Julián Rivera

# **CAPÍTULO I. GENERALIDADES**

## **1.1. Introducción**

Nicaragua ha sido un país reconocido por poseer las mejores carreteras de Centroamérica, las cuales son de fundamental importancia para el desarrollo económico y social del país, puesto que a través de ella circulan gran parte de la producción de los distintos sectores que contribuyen al producto interno bruto, a la generación de empleos y a las exportaciones. Hasta el año 2023 la red vial de Nicaragua estaba conformada por 24,781 Km; la mayor parte de esta fue construida empleando asfalto, adoquines, concreto, revestimiento, empedrado, materiales todo tiempo y de estación seca.

En el informe final del Plan Nacional de Transporte se plantea:

La selección del tipo de pavimento es un proceso de gestión de decisiones. La aplicación con éxito del proceso de selección del tipo de pavimento requiere un enfoque multidisciplinario y debe tener en cuenta diversos factores como el costo de construcción (costo inicial y de ciclo de vida), la vida de diseño, tipo de tránsito, volumen de tránsito, clasificación funcional, condiciones climáticas, etc. (JICA, 2020, pág.2)

El proyecto en estudio corresponde a “DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL METODO DE LA AASHTO-93, DEL TRAMO DE 2 KM: EMPALME SAN GABRIEL–EMPALME LAS CRUCES, DEPARTAMENTO DE JINOTEGA” (**Ver ANEXO 1, de Capítulo I. pág. I**). La zona donde está localizado el tramo en estudio, es de gran importancia e incidencia en la economía nacional, ya que; en este lugar existe una fuerte y considerable producción agropecuaria. A lo largo de la ruta prevista se puede apreciar la existencia de cooperativas agrícolas o agropecuarias, propiedades ejidales, tierras nacionales, tierras con títulos de Reforma Agraria, títulos supletorios, entre otros.

Dado las imperiosas necesidades básicas poblacionales, se llevó a cabo el diseño de la geometría y estructura de pavimento flexible mediante el método AASHTO – 93, por lo que fue necesario efectuar estudio de tránsito en el tramo, aplicando los parámetros establecidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura. De igual forma, se analizarán las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del tramo y de los bancos de materiales acorde con el resultado obtenido en el estudio de suelos y su evaluación con los criterios de la norma NIC 2019. El presente trabajo se realizó en base a, principios metodológicos, análisis y cálculos ingenieriles, y, la utilización de Softwares (Excel, WinPas 12 y Civil3D).

## 1.2. Ubicación y localización del proyecto

El proyecto Tramo Empalme San Gabriel – Empalme Las Cruces, está ubicado en el departamento de Jinotega, municipio de Jinotega. El tramo en estudio atraviesa las siguientes comunidades: San Gabriel, Sasle, Sisle, San Antonio de Sisle, Paso Real, Mancotal, El Yankee, El Mojón, La porrita, Paso Real, Tomayunca, y Las Cruces.

### 1.2.1. Macro - localización



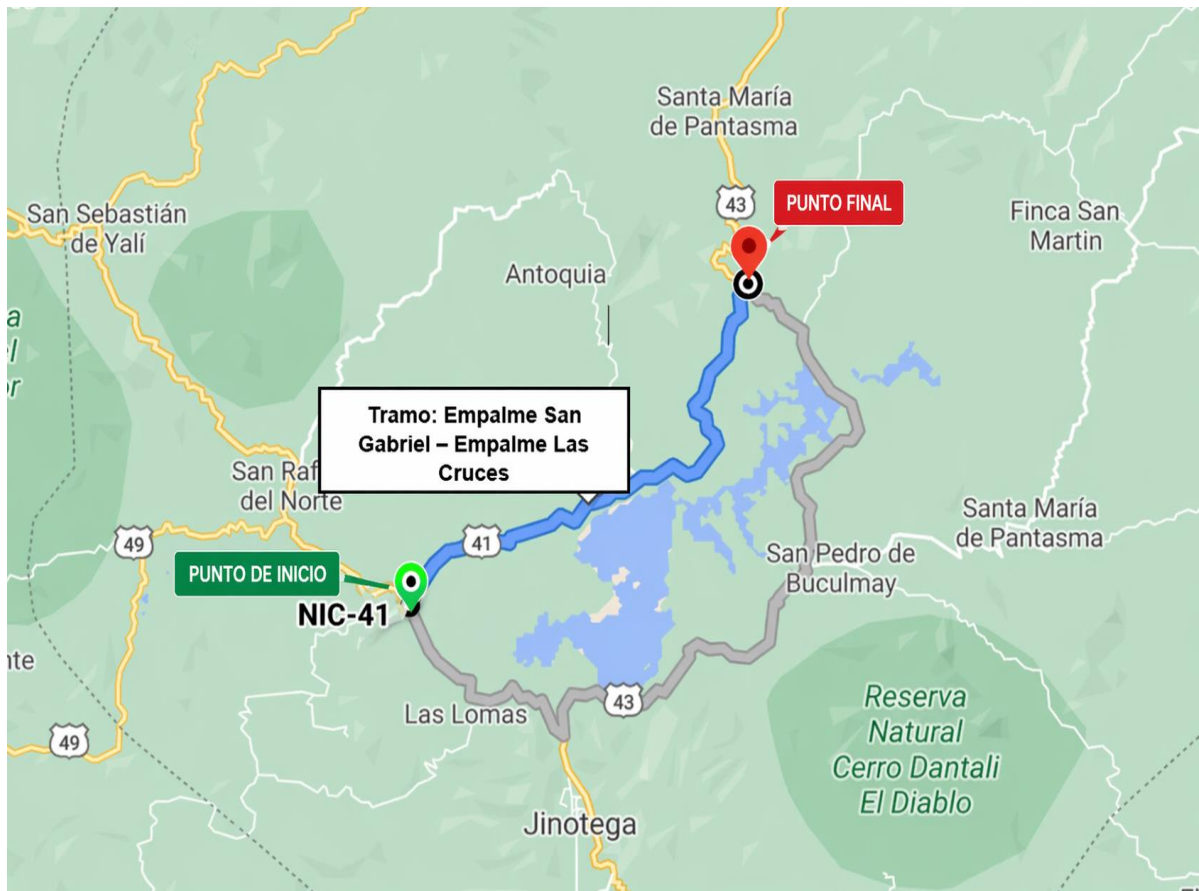
**Figura 1:** Macro localización del tramo en estudio

Fuente: <https://www.google.com/maps/place/San+Gabriel/Jinotega>

### 1.2.2. Micro - Localización

El Tramo en estudio, inicia de la estación 0+000 a 2+000; Empalme San Gabriel – Empalme Las Cruces.

**Figura 2: Micro localización del tramo 0+000 – 2+000**



Fuente: <https://www.google.com/maps/place/San+Gabriel>

### **1.3. Antecedentes**

La comunidad San Gabriel fue fundada en el año 1979, cuenta con una población de 1,621 habitantes y se encuentra a 12 kilómetros del departamento Jinotega, esta comunidad se encuentra dividida en diferentes sectores entre los que destacan las comarcas de Sasle, Paso real y Tomayunca. A partir de 1985, inician las mejoras en la comunidad con el ensanchamiento y revestimientos de los caminos, así como la construcción de nuevas viviendas.

El tramo está ubicado en el departamento de Jinotega, inicia en el Empalme San Gabriel Intersección de la carretera Jinotega- San Rafael del Norte y finaliza en el empalme Las Cruces en la intersección con tramo de carretera adoquinado, Las Cruces-Pantasma **(Ver ANEXO 2, figura I. pág. I).**

El camino está clasificado como una vía de todo tiempo. Sin embargo, en algunos sectores de su trayectoria presenta, tanto en invierno como en verano, situaciones físicas en su estructura que dificultan la circulación fluida del tráfico. Cuenta con un ancho de rodamiento promedio de 7 metros en los primeros 2 km estudiados. Aunque recientemente se le ha dado mantenimiento a la superficie de rodamiento, las lluvias de los eventos naturales extraordinarios, ocasionaron su deterioro con un nivel de severidad de medio a grave, que consiste en pérdida de material, existencia de cárcavas longitudinales y baches. También hay que tomar en cuenta que la carencia de conformación de cunetas revestidas contribuye a su deterioro.

En el año 2018 la alcaldía de Jinotega llevo a cabo la construcción del puente San Gabriel, con el fin de evitar accidentes a los pobladores de la localidad. Posteriormente en 2022 se ejecutaron 1000 metros lineales de pavimento rígido, el resto del tramo está compuesto de macadán o llamado suelo natural.

El tramo San Gabriel – Empalme Las Cruces en el Departamento de Jinotega, está contemplado dentro del Plan Nacional de Transporte con la finalidad de contribuir a la economía local ubicada en el departamento de Jinotega, así como mejorar el nivel de servicio, disminuir el tiempo de viaje, reducir los costos de operación vehicular, comodidad de viaje e incrementar la seguridad vial de los usuarios.

#### **1.4. Justificación**

En la actualidad, el tramo: “Empalme San Gabriel - Empalme Las Cruces, departamento de Jinotega”; no cuenta con una buena carpeta de rodamiento y no posee drenaje funcional que permita el manejo adecuado de las corrientes el cual es indispensable para los procesos de captación, conducción, y evacuación de los mismos, lo que ocasionan el deterioro prematuro de la infraestructura vial lo cual eleva los costos de operación vehicular, tanto para el transporte privado como el transporte público, y además aumenta los tiempos de viaje.

El deterioro de la vía de comunicación se produce por diversas causas, principalmente por las lluvias intensas en temporadas de invierno, esto debido a que es una zona bastante lluviosa, además de la falta de mantenimiento, inexistencia de obras de drenaje en el tramo, y otros eventos que son provocados por la acción del hombre o por alteraciones ambientales. **(Ver ANEXO 3 y 4, de Capítulo I. pág. II)**

La comarca de San Gabriel, se caracteriza por ser un sitio el cual se desarrolla mucho el comercio de granos básicos y café. Además, la ganadería es otro rubro que se da en esta zona, lo cual el diseño de dicho tramo permitirá que los agricultores, ganaderos y comerciantes puedan trasladar sus mercancías hacia la cabecera municipal y departamental, y de esa manera aportar a mejorar y crecer la economía del país. Una vez ejecutada la obra, se replantearán nuevas ideas de desarrollo, creación de pequeños negocios, mejor acceso a unidades de salud, escuelas y otros sitios de atracción de parte de los habitantes.

El fundamento principal de este trabajo monográfico, es generar una solución a la precariedad del servicio en las comunidades que conecta dicho tramo, mediante la aplicación de principios ingenieriles. Un diseño geométrico vial con todos los parámetros según normativa SIECA, permitirá reducir los riesgos, y proporcionará condiciones óptimas para que los usuarios la utilicen para trasladarse y así poder satisfacer sus necesidades en todo tiempo.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

- ✚ Proponer el diseño geométrico y estructura de pavimento flexible por el método de la AASHTO-93, del tramo de 2 km: empalme san Gabriel – empalme las cruces, departamento de Jinotega.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- ✚ Desarrollar un estudio topográfico con la finalidad de que se obtenga la rasante optima del tramo en estudio a través de un levantamiento topográfico.
- ✚ Efectuar el estudio de suelo del tramo y de los bancos de materiales, para la determinación de las propiedades físico-mecánicas del suelo, esenciales en el diseño de la estructura de pavimento, mediante la aplicación de la norma NIC 2019.
- ✚ Determinar los ejes equivalentes de carga a la que estará sometida la estructura de pavimento a través de los volúmenes obtenidos en el estudio de tránsito.
- ✚ Determinar los espesores requeridos para la Estructura de Pavimento, utilizando el método de la AASHTO 93.
- ✚ Elaborar el diseño geométrico de la vía por medio del Software CIVIL 3D y haciendo uso del Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de Carreteras Regionales (SIECA 2011).



# CAPÍTULO II.

## MARCO TEORICO.

**“La red vial es imprescindible para el desarrollo y  
crecimiento de un país”**

Julián Rivera

## CAPÍTULO II. MARCO TEORICO

### 2.1. Estudio Topográfico

La topografía es una ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la tierra.

Una porción (limitada) de la superficie terrestre: es decir. estudia los métodos y procedimientos para hacer mediciones sobre el terreno y su representación gráfica o analítica a una escala determinada. (Casanova, 2002, pág. 30)

#### 2.1.1. Equipo topográfico

- ❖ **Estación Total Electrónica:** con una estación total electrónica se pueden medir distancias verticales y horizontales, ángulos verticales y horizontales; e internamente, con el microprocesador programado, calcular las coordenadas topográficas (norte, este, elevación). (Casanova, 2002)
- ❖ **Plomada:** Es un instrumento con forma de cono, construido generalmente en bronce, con un peso que varía entre 225 y 500 gramos, que al dejarse colgar libremente de la cuerda sigue la dirección de la vertical del lugar. (Casanova, 2002, pág. 77)
- ❖ **Cinta métrica:** Las cintas métricas empleadas en trabajos topográficos deben ser de acero, resistentes a esfuerzos de tensión y a la corrosión. Comúnmente, las cintas métricas vienen en longitudes de 30, 50 y 100 m.
- ❖ **Brújula:** Generalmente un instrumento de mano que se utiliza fundamentalmente en la determinación del norte magnético, direcciones y ángulos horizontales. Su aplicación es frecuente en diversas ramas de la ingeniería.
- ❖ **Prisma:** es un instrumento de medición conformado por un conjunto de cristales, quienes tienen la función de proyectar una señal EMD, desde una estación total o teodolito electrónico.
- ❖ **Estadia:** Son reglas graduadas en metros y decímetros, generalmente fabricadas de madera, metal o fibra de vidrio.

- ❖ Usualmente, para trabajos normales, vienen graduadas con precisión de 1 centímetros y apreciación de 1 mm comúnmente, se fabrican con longitud de 4 m divididas en 4 tramos plegables para facilidad de transporte y almacenamiento. (Casanova, 2002, pág. 75)

### **2.1.2. Levantamiento topográfico**

Los levantamientos topográficos se realizan para localizar objetos y medir el relieve, los accidentes del terreno o las variaciones tridimensionales de la superficie terrestre. Proporcionan información detallada sobre las elevaciones y la ubicación de elementos naturales (edificios, caminos, corrientes, etc.), de tal forma que es posible dibujar la información completa en planos topográficos. (McCormack, 1998, pág. 50)

### **2.1.3. Planimetría**

“Estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo. (Marquez, 1994, pág. 145)

### **2.1.4. Altimetría**

“Determina las alturas de los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia, generalmente correspondiente al nivel medio del mar”. (Marquez, 1994, pág. 140)

### **2.1.5. Perfil longitudinal**

Es la proyección más fielmente posible a lo largo del eje de la vía sobre una superficie vertical paralela obteniendo cotas de puntos que sean representativos del terreno, es decir, un cambio de pendiente, denominado también rasante, aquí se detallan los alineamientos verticales, su gradiente longitudinal, así como las curvas verticales con sus parámetros más importante. (Marquez, 1994, pág. 143)

### **2.1.6. Curvas de nivel**

Una curva de nivel, es una línea que une puntos de igual elevación. En los mapas, las curvas de nivel representan la localización planimetría de las trazas de las superficies de nivel para diferentes elevaciones. (Ghilani, 2016, pág. 83)

## **2.2. Estudio Geotécnico**

Para propósitos de ingeniería, el suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) con líquido y gas en los espacios vacíos entre las partículas sólidas.

La mecánica de suelos incluye:

a) teorías sobre el comportamiento de los suelos sujetas a cargas, basadas en simplificaciones dado el actual estado de la técnica, b) investigación de las propiedades físicas de los suelos reales, y c) aplicación del conocimiento teórico y empírico a los problemas prácticos. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2005, p. 43)

### **2.2.1. Tipos y tamaño de suelos**

Independientemente de su origen, los tamaños de partículas que conforman el suelo pueden variar en un amplio intervalo. Los suelos son generalmente llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas dentro del suelo. Las arcillas son en su mayoría en forma de láminas microscópicas y sub microscópicas de mica, minerales de arcillas y otros minerales.

### **2.2.2. Sistemas de clasificación de suelos**

En este capítulo aprenderemos el procedimiento de clasificación de los suelos utilizando el AASHTO y los sistemas unificados. (Das, 2015, p. 128)

De acuerdo con este sistema el suelo se clasifica en siete grupos principales: A-1 a A-7. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz núm. 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz núm. 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7. Éstos son principalmente limo y arcilla.

### **2.2.3. Límite líquido**

El límite líquido se define como el contenido de humedad expresado en por ciento con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico. (Villalaz, Carlos Crespo, 2004, pág. 94)

Un procedimiento muy usado para determinar el límite líquido en los laboratorios de campo consiste en que, estando el material en la copa de Casagrande con la ranura hecha como ya se ha indicado en el procedimiento normalizado, dar 25 golpes y ver si la ranura se cierra los 12.7 mm.

En caso contrario, se recoge el material de la copa, se agrega agua a la pasta o se seca, según el caso, y se repite el proceso hasta conseguir que con los 25 golpes la ranura se cierre en su base los 12.7 mm especificados.

Cuando esto suceda se extrae de la muestra una determinada cantidad, se coloca en un recipiente adecuado, se pesa, se seca en un horno a temperatura constante y se vuelve a pesar una vez seca.

#### **2.2.4. Límite Plástico**

Para determinar el límite plástico, generalmente se hace uso del material que, mezclado con el agua, ha sobrado de la prueba de límite líquido y al cual se le evapora humedad por mezclado hasta tener una mezcla plástica que sea fácilmente moldeable. Se forma luego una pequeña bola que deberá rodillarse en seguida en la palma de la mano o en una placa de vidrio aplicando la suficiente presión a efecto de formar filamentos. (Villalaz, Carlos Crespo, 2004, p. 90)

Cuando el diámetro del filamento resultante sea de 3.17 mm (1/8") sin romperse, deberá juntarse la muestra de nuevo, mezclarse en forma de bola y volver a rodillarse. El proceso debe continuarse hasta que se produzca un rompimiento de los filamentos al momento de alcanzar 1/8" de diámetro se toman todos los pedacitos, se pesan, se san al horno en un vidrio, vuelven a pesarse ya secos.

#### **Índice de plasticidad**

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica, mientras que el índice de liquidez indica la proximidad de la humedad natural del suelo al límite líquido.

Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como un semilíquido. Si el suelo se seca gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua. (Muelas Rodríguez, Á, 2007, p. 58)

#### **Ensayos de suelos**

Los ensayos de laboratorio correspondientes al estudio de suelos para carreteras, se realizarán conforme a las Normas AASHTO ó ASTM.

### **2.3. Estudio de tránsito**

Se deriva de la ingeniería de transporte y se ha enfocado, principalmente, en el estudio de los elementos del tránsito: conductor, peatón, vehículo, vía, señalización y dispositivos de control del tráfico, y la caracterización y estudio del comportamiento de las llamadas variables macroscópicas del tránsito: volumen vehicular, velocidad y densidad, así como la relación existente entre elementos y variables. (Gonzales, Julian Rodrigo Quintero, 2017, pág. 79)

#### **2.3.1. Transito Promedio Diario (TPD).**

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos).

(Anuario de Tráfico, 2020, pág. 20)

#### **2.3.2. Factores para el cálculo del TPDA.**

Los Factores para el cálculo de TPDA en las Estación de Corta Duración (ECD) y Estaciones de Conteo Sumaria (ECS), dependiendo de los días que se realiza el aforo se utilizan los siguientes:

**Factor Día:** El factor para expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas se obtiene mediante los resultados correspondiente a conteos de 24 horas.

**Factor Semana:** El factor para expandir el resultado obtenido para un periodo corto de 3 días de a la semana a los promedios semanales 7 días (lunes a domingo). (Anuario de Tráfico, 2020, pág. 23).

**Factor Fin de Semana:** El factor para expandir el resultado obtenido durante el fin de semana a los 7 días de la semana. (Anuario de Tráfico, 2020, pág. 24).

**Factores estacionales:** Para ajustar el tráfico promedio diario que cubre una semana específica o período del año al TPDA. (Anuario de Tráfico, 2020, pág. 22)

#### **2.3.3. Estaciones de conteo**

##### **Estaciones Permanentes o Estaciones de Mayor Cobertura (EMC):**

Son las estaciones de conteos continuos los 365 días al año con conteos clasificados de 24 horas por día, el ministerio no está en la capacidad de realizarlos los 365 días del año, por ende, se dividió el período en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 tiempos por 7 días consecutivos cada uno las 24

horas, lográndose obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) que nos es más que el promedio de los períodos.

**Estaciones de corta duración – ECD:** que se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA.

**Estación de Conteo Sumaria (ECS):** Son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA.

Tanto para las estaciones de Corta Duración y de Conteo Sumaria, se realizarán conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (martes, miércoles y jueves). Se realizan aforos en caminos que no han sido pavimentados, pero que tienen una afluencia vehicular moderada.

#### **2.3.4. Volúmenes de tránsito**

Es el número de vehículos que pasan por un tramo de carretera en cierto período y se determina con un conteo directo, denominado aforo. Según la duración del aforo, el volumen puede ser horario, diario, semanal, mensual o anual. (Anuarios de aforo de tráfico, 2020, pág. 21)

##### **Volúmenes de tránsito horario**

Con base en la hora seleccionada se definen los siguientes volúmenes de tránsito horario, dados en vehículos por hora:

- ❖ **Volumen horario máximo anual (VHMA):** es el máximo número de vehículos que pasan por un punto de una calzada durante un año determinado. Es la hora de mayor volumen de las 8760 horas del año.
- ❖ **Volumen horario de máxima demanda (VHMD):** Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. También es denominado VHP (Volumen de la hora pico).

#### **2.3.5. Aforo vehicular**

Se denomina aforo, al proceso de medir la cantidad de vehículos que pasan por un tramo en una carretera en una unidad de tiempo.

El número de horas de aforo varía con el método usado y el propósito. Los contadores mecánicos pueden estar contando las 24 horas del día.

### **Método de aforo manual**

Son aquellos que registran a vehículos haciendo uso de hojas preparadas para datos de campo con observaciones registradas por contadores manuales.

Los recuentos pueden dividirse en 30 minutos, 15 minutos e incluso 5 minutos cuando el tránsito es muy denso.

#### **2.3.6. Tránsito de diseño**

El Tránsito de Diseño (TD), es una proyección que se realiza para el periodo de diseño, dicha proyección, se efectúa con una serie de datos históricos de tránsito, obteniendo así, un tráfico futuro. (Ingeniería De Pavimentos, 2002, pág. 49).

#### **2.3.7. Periodo de Diseño**

El periodo de diseño, es el tiempo para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección de tránsito, y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente. El cual se realiza de acorde al tipo de carretera.

#### **2.3.8. Factor de crecimiento**

Es un factor que toma en cuenta la variación del volumen de tránsito en el período de diseño considerado, y se utiliza para determinar las cargas equivalentes acumuladas (SIECA, 2002). Factor de crecimiento ( $F_c$ )

Es un factor que toma en cuenta la variación del volumen de tránsito en el período de diseño considerado, y se utiliza para determinar las cargas equivalentes acumuladas (SIECA, 2002).

#### **2.3.9. Factor de dirección**

Especifica que el factor de distribución por dirección, es el factor del total del flujo vehicular; en la mayoría de los casos el valor es de 0.50, haciendo énfasis, que la mitad de vehículos va en una dirección y la otra mitad en otra dirección, esto para una vía de dos carriles, por lo que dicho valor, se implementará en el tramo en estudio. (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, 2002, p. 28)

#### **2.3.10. Factor carril**

Es la relación que existe en la distribución del tráfico cuando dos o más carriles son usados en una sola dirección.

El factor distribución por carril, corresponde al carril de diseño, el cual es el que recibe el mayor número de ESAL's. (SIECA, Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras , 2011, pág. 70)

#### **2.3.11. ESAL**

Estimación de las cargas de diseño. Las carreteras permiten la circulación de diferentes tipos de vehículos, tamaños y pesos, desde pequeños livianos hasta grandes pesados por lo que el paquete estructural de una debe ser diseñada para soportar durante su vida útil las solicitaciones de los pesos de todos esos vehículos que circulan y circularán por esa vía.

Para calcular los ESAL's de diseño se multiplica el tránsito de diseño para cada tipo de vehículo por su respectivo factor de equivalencia. El resultado final ESAL's se obtiene del sumatorio total de las multiplicaciones antes realizadas.

#### **Factor por distribución por Carril (fc).**

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de 2 carriles, cualquiera de los 2 puede ser el camino de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril.

Para caminos de varios carriles el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril.

### **2.4. Diseño de pavimento flexible AASHTO93**

El método AASHTO 93 en el diseño de estructuras de pavimento flexible, consiste en una ecuación en donde se obtiene un numero estructural (SN), valor que indica la resistencia total requerida de la estructura de pavimento.

#### **2.4.1. Variables de tiempo**

El periodo de diseño: es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

#### **2.4.2. Variables en función del tránsito**

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que estos resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El transito está compuesto por vehículos de diferente peso y numero de ejes.

Para ello trabajaremos con el ESAL de diseño del estudio de tránsito a realizar.

### **2.4.3. Confiabilidad (R)**

Este valor se refiere al grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su período de diseño en buenas condiciones.

### **2.4.4. Serviciabilidad**

La serviciabilidad de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene este de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. Los valores que se recomiendan por experiencia son los siguientes:

#### **Serviciabilidad inicial:**

$P_o = 4.5$  para pavimentos rígidos.

$P_o = 4.2$  para pavimentos flexibles.

#### **Serviciabilidad final:**

$P_t = 2.5$  o más para caminos principales.

$P_t = 2.0$  para caminos de tránsito menor.

### **2.4.5. Propiedades de los materiales Mr**

Se consideraron las propiedades de los materiales, que son las que se valoran para obtener el módulo de resiliencia, ya que en función de éste se llega a los coeficientes de los números estructurales (SN). (SIECA, Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras, 2002, p. 370)

#### **Módulo resiliente**

Es la variable que se usa para caracterizar las propiedades de los suelos, está en función de la sub rasante para cuantificar la capacidad de soporte de los pavimentos flexibles, la guía de diseño establece la correlación para determinar el MR usando el CBR.

#### **Coeficiente estructural de cada capa**

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente ( $a_n$ ), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales.

#### **Coeficiente de drenaje de la capa**

El coeficiente de drenaje, es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento en su vida útil, así también en el diseño del mismo.

## **2.5. Estudio de Diseño Geométrico**

Las distancias de visibilidad, la sobreelevación o peralte, el ancho de calzada, los alineamientos horizontal y vertical y algunos otros, son elementos comunes para todas las clases de calles y carreteras.

Dichos elementos son fundamentales para efectuar el diseño geométrico, y juntos, crean la carretera para servir al tráfico de manera eficiente y con seguridad, debiendo ser consistente con la función que se intenta servir. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras , 2011, pág. 176)

### **2.5.1. Vehículos de diseño**

Los vehículos de diseño son automotores predominantes y de mayores exigencias en el transito que se desplaza por las carreteras regionales, por lo que al tipificar cada uno de ello, se brinda al diseñador los controles y elementos a los que se deben ajustar los diseños para facilitar su circulación irrestricta. ( Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras Regionales, 2004, pág. 180)

### **2.5.2. Velocidad de diseño**

La velocidad de diseño, también conocida como velocidad directriz, es la máxima velocidad que, en condiciones de seguridad, puede ser mantenida en una determinada sección de una carretera, cuando las condiciones son tan favorables como para hacer prevalecer las características del diseño utilizado. ( Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras Regionales, 2004, pág. 244).

### **2.5.3. Distancias de visibilidad en carreteras**

Una carretera debe diseñarse de manera tal que el conductor cuente siempre con una visibilidad suficiente como para ejecutar con seguridad las diversas maniobras a que se vea obligado o que decida efectuar. En general, el conductor requiere de un tiempo de percepción y reacción para decidir la maniobra a ejecutar y un tiempo para llevarla a cabo. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras , 2011, pág. 77)

#### **2.5.4. Alineamiento horizontal**

Esta forma de diseño se prefiere debido a que largos tramos rectos inducen a velocidades mayores que la velocidad de proyecto, aumentando el peligro de deslumbramiento por las luces del vehículo que viaja en sentido.

#### **2.5.5. Peralte**

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas; condiciones del terreno, tipo de zona (rural o urbana) y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte.

Las tasas de peralte son aplicadas sobre el rango de curvatura para cada velocidad de diseño y se calculan para su aplicación en el diseño de las carreteras. Para cada una de ellas se determina la máxima curvatura y la tasa de peralte correspondiente para curvas más suaves. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras , 2011, p. 90)

#### **2.5.6. 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. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras , 2011, p. 91)

#### **2.5.7. Grado de curvatura**

Es una forma de expresar la “agudeza” de una curva y se expresa, para la definición “arco” como el ángulo central subtendido por un “arco” de 20 metros.

#### **2.5.8. Sobre ancho en curvas**

Los sobre anchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños, combinadas con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica.



**“La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país”**

Julían Rivera

## **CAPÍTULO III ANALISIS Y PRESENTACION DE RESULTADOS**

### **3.1. Estudio topográfico**

#### **3.1.1. Metodología**

El levantamiento topográfico del tramo de 2 kilómetros de longitud se realizó con apoyo de La Alcaldía de Jinotega, el MTI y EDICRO S.A, iniciando en el Empalme San Gabriel (Estación 0+000) y finaliza en el Empalme Las Cruces, hasta finalizar en la Comunidad El Carmen (Estación 2+000). El procedimiento utilizado para el levantamiento fue el método de perfil longitudinal y secciones transversales considerando que es el más adecuado para carreteras.

Durante la realización del estudio topográfico primero se realizó el reconocimiento del terreno y se estableció la ubicación de los controles topográficos nacionales que fueron utilizados. Posterior al reconocimiento se colocaron mojones en el sitio, para su georreferenciación mediante lecturas de GPS, a lo largo del camino. Este levantamiento nos permitió conocer las condiciones actuales del sitio, así como su alti-planimetría.

Para efectos de procesamiento e interpretación de los datos topográficos de campo se hizo uso del programa Civil 3D 2023, tanto para el manejo como para el chequeo de toda la información de campo y determinar de modo gráfico las formas y los detalles naturales y artificiales del tramo en estudio.

#### **3.1.2. Levantamiento Topográfico**

Para el seccionamiento de camino existente y sus alrededores, los trabajos correspondientes al levantamiento topográfico se realizaron de manera secuencial, dentro de los Alcances del Proyecto, lo cual fue realizado a partir de la brigada de topografía bien estructurada; haciendo uso de equipo topográfico del tipo Electrónico. Así mismo, se colocaron los monumentos para las lecturas de coordenadas topográficas en la creación de la red de BM's que serán de referencia para el replanteo de las obras y su construcción.

El alineamiento dio inicio en el estacionamiento 0+000 y finalizó en el estacionamiento 2+000, cuyas coordenadas UTM (Universal transversal Mercator), se presentan a continuación.

**Tabla 1 :Coordenadas UTM del punto Inicial y Final del Proyecto**

| NOMBRE DEL TRAMO |                                                         | COORDENADAS UTM ZONA<br>16 |              |
|------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------|--------------|
| Inicio           | Empalme San Gabriel (Intersección Nic-3 con la NIC-41)  | X=601,213                  | Y= 1,455,906 |
| 2+000            | Estación final de tramo en estudio                      | X= 602,254                 | Y=1,457,470  |
| Fin              | Empalme Las Cruces (Intersección Nic-41 con la NIC- 43) | X=615,467                  | Y= 1,468,780 |

**Fuente:** Elaborada por sustentantes.

La ejecución del levantamiento topográfico, conllevó las diferentes fases de trabajo que generalmente están establecidas y comprendidas, corresponden principalmente a las siguientes:

- ✓ Monumentación de puntos de línea base o puntos BMS.
- ✓ Medición de Poligonal de Línea Base.
- ✓ Levantamiento plani-altimétrico ó seccionamiento del camino.

### **3.1.3. Planimetría**

La planimetría permitió representar la realidad física del tramo en estudio sobre un plano, mostrando únicamente las dimensiones horizontales, sin considerar la elevación o el relieve.

### **3.1.4. Alineamiento horizontal**

Para el alineamiento horizontal del eje longitudinal se realizó mediante el Método de que consiste en el seccionamiento transversal (a cada 20 metros en las rectas, y a cada 10 en las curvas), sobre la poligonal abierta.

El alineamiento da comienzo en el estacionamiento 0+000, propiamente en el Comunidad San Gabriel y finaliza en el estacionamiento 2+000, en la comunidad del Sisle.

### **3.1.5. Eje de la carretera**

El eje de la carretera se detalla en la vista en planta del proyecto horizontal que se encuentra en los planos. Este eje está compuesto por alineamientos horizontales rectos, enlazados por alineamientos horizontales curvos. Este eje, se encuentra seccionado partiendo del punto inicial de carretera (Po) cada 20 metros hasta llegar al punto final de carretera (PF).

Para lograr esto se requirió definir la forma dimensional del terreno, lo cual se logró levantando una poligonal abierta a lo largo del eje central de la carretera (en una vía se refiere a la línea que separa los sentidos de circulación). Además, la localización topográfica o detalles de interés, tales como: Tendido eléctrico, tendido telefónico, drenaje de aguas servidas o pluviales, red de agua potable, pozos de visita y tragantes de agua pluvial existente, localización de derecho de vía, Mojones, BMs, puntos de referencia (arboles de gran tamaño, arroyos, cauces, etc.), vías de acceso y construcciones existentes (**Ver ANEXO 2, Capítulo II. Pág. V**)

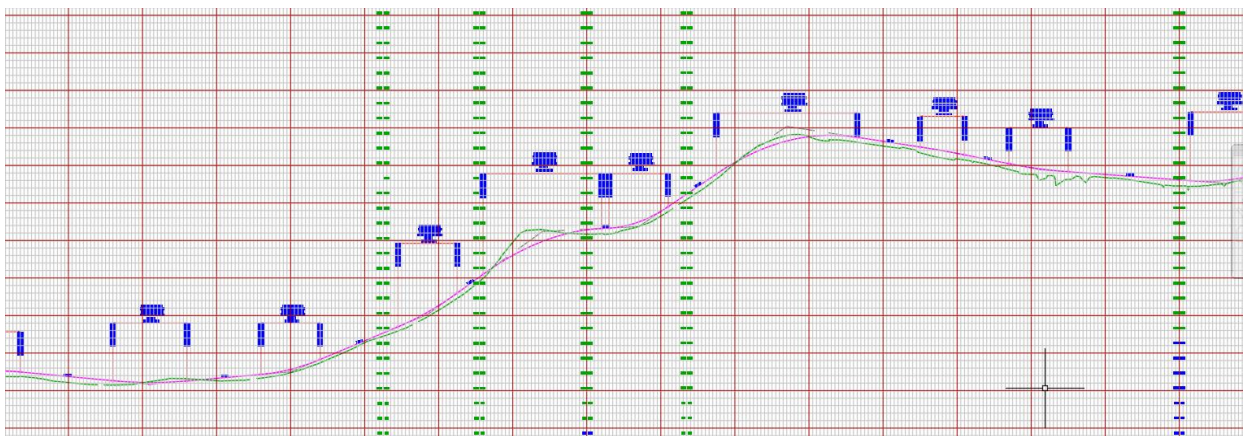
### **3.1.6. Perfil Longitudinal**

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

Se denota la línea verde que representa el perfil del terreno natural sobre el que se construirá el proyecto que a su vez será denotado con la línea rosada. También se indican las alturas de corte y de relleno, variables a lo largo del eje del proyecto.

A manera de ejemplo, se presenta el perfil longitudinal del tramo, el cual se procesa mediante el software civil 3D:

**Figura 3: Ejemplo de perfil longitudinal.**



### 3.1.7. Establecimiento de BM

Se establecieron 11 puntos de BMs, los cuales están debidamente marcados con coordenadas UTM y referenciados en las distintas estaciones, para poder realizar el cálculo de las diferentes elevaciones (Z).

**Tabla 2: Ubicación de BMs (BENCH MARCK)**

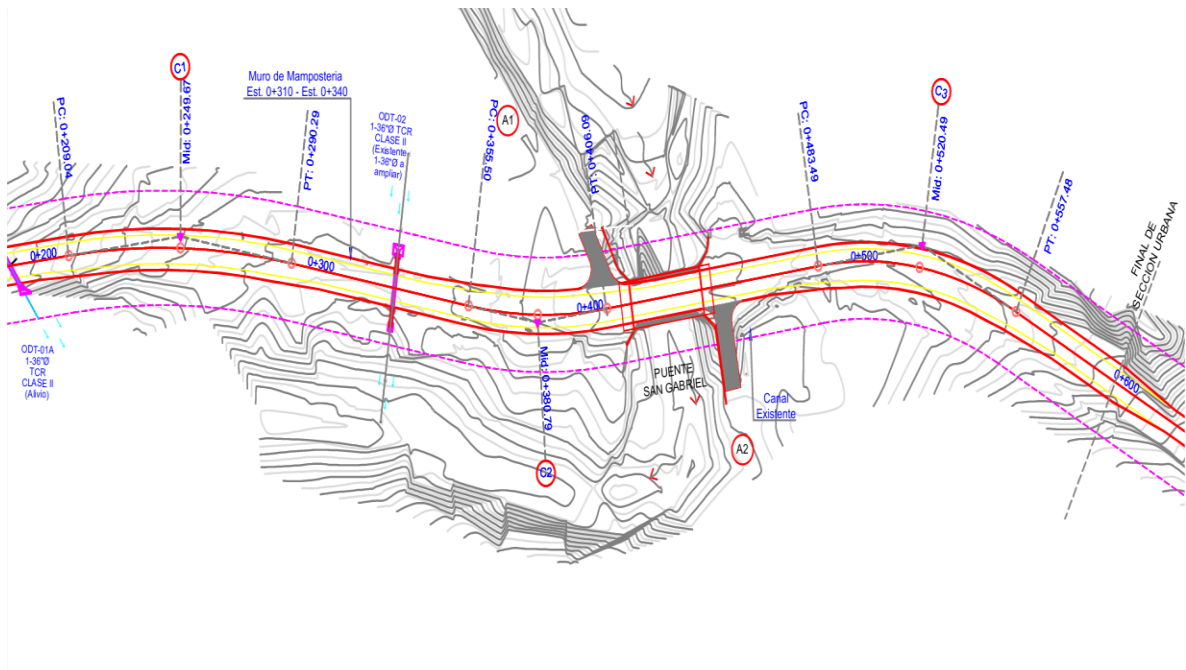
| POLIGONAL N°1 COMPENSADA |             |             |              |              |
|--------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| IDA                      | DESCRIPCIÓN | ESTE        | NORTE        | ELEVACIÓN    |
|                          | GPS-2'      | 601202.4930 | 1455873.4110 | 1011.868000  |
|                          | BM-1        | 601219.5449 | 1455892.1499 | 1011.262000  |
|                          | BM-2        | 601296.5130 | 1456091.4402 | 995.769000   |
|                          | BM-3        | 601419.1840 | 1456230.2610 | 995.743000   |
|                          | BM-4        | 601515.2049 | 1456360.5419 | 998.708000   |
|                          | BM-5        | 601640.0946 | 1456453.4536 | 1001.556000  |
|                          | BM-6        | 601736.2996 | 1456523.7565 | 1001.097000  |
|                          | BM-7        | 601926.7575 | 1456790.5852 | 10001.955000 |
|                          | BM-8        | 602120.5014 | 1457067.9850 | 1022.336000  |
|                          | BM-9        | 302210.5203 | 1457419.8803 | 1033.950000  |
|                          | BM-10       | 602551.1622 | 1457742.0780 | 1027.749000  |
|                          | BM-11       | 602851.9714 | 1457997.0359 | 1035.209700  |
| REGRESO                  | PI-1        | 602211.5470 | 1457416.3762 |              |
|                          | PI-2        | 602108.0920 | 1457416.3762 |              |
|                          | PI-3        | 601959.9000 | 1456844.4327 |              |
|                          | PI-4        | 601673.9030 | 1456468.1284 |              |
|                          | PI-5        | 601534.7802 | 1456385.0395 |              |
|                          | PI-6        | 601403.2219 | 1456219.4060 |              |
|                          | PI-7        | 601307.9371 | 1456100.3551 |              |
|                          | PI-8        | 601204.1949 | 1455880.1607 |              |
|                          | GPS-2'      | 601202.4930 | 1455873.4110 | 1011.868000  |

### 3.1.8. Curvas de nivel

En el presente trabajo, se determinaron las elevaciones de 303 puntos en todo el tramo en estudio, estos fueron procesados en el software Civil3D 2023 generando así el mapa de curvas de nivel que ayudan a conocer el tipo de relieve de la vía existente.

Como ejemplo de las curvas de nivel generadas en el software civil 3D, se muestra la ilustración 4, lo que permite tener una mejor caracterización del comportamiento del terreno del tramo.

**Figura 4: Vista de planta, Curvas de nivel del tramo (Civil3D 2023)**

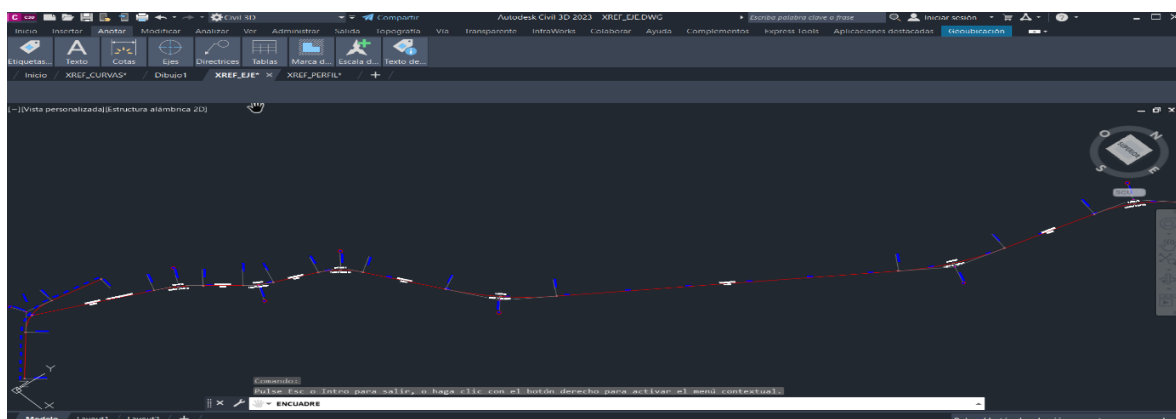


**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.9. Características de la topografía existente

El tramo del proyecto en estudio, se denomina del tipo ondulado, con bastante lomerío bien densificado en que predomina en todo su entorno zonas de bosques con árboles de grandes dimensiones en toda su trayectoria.

**Figura 5: Curvas horizontales, vista de planta, Civil3D**



**Fuente:** Elaboración propia.

Se presenta una geometría planimétrica, bien sinuosa con curvas horizontales con radios de curvatura cuyos valores en la mayoría de los casos son de baja magnitud, observándose en diferentes estaciones, van seguidas una de otra, y en otros casos del tipo curvas reversas en que la distancia en recta, entre dichas curvas, corresponde a valores bien reducidos.

**Tabla 3: Curvas Horizontales identificadas a lo largo del tramo,**

| Curvas | Curvas Horizontales |          |          | Radio (m) | Longitud (m) |
|--------|---------------------|----------|----------|-----------|--------------|
|        | PC                  | PI       | PT       |           |              |
| C1     | 0+209.04            | 0+249.96 | 0+290.29 | 275       | 81.25        |
| C2     | 0+335.50            | 0+381.00 | 0+406.09 | 160       | 50.59        |
| C3     | 0+483.49            | 0+521.70 | 0+557.48 | 120       | 73.99        |
| C4     | 0+698.88            | 0+792.11 | 0+882.75 | 450       | 183.88       |
| C5     | 1+445.06            | 0+538.31 | 0+628.96 | 450       | 183.9        |
| C6     | 1+798.01            | 1+871.07 | 1+939.50 | 230       | 141.49       |

**Fuente:** Elaboración propia.

Dichas curvas, se observa que se ubican en situaciones geométricas bien complejas, ya sea en relación a la ubicación de una infraestructura existente que por lo general corresponde a una obra de drenaje mayor del tipo puente o situaciones en que la configuración topográfica del terreno corresponde a la existencia de irregularidades de forma desproporcionada respecto a la plataforma de la vía, en

que puede ser taludes de relleno bien inclinados y/o taludes de corte, que en ambos casos de magnitudes considerable, que conllevan a una limitación en lo que corresponde a ampliación lateral de dicha plataforma.

Actualmente el camino posee un ancho de rodamiento promedio de 6 a 9 metros, con una superficie de rodamiento a base de material de revestimiento, de regular a mal estado, principalmente por la carencia de drenaje longitudinal y transversal, lo que ocasiona pérdida de material y la aparición de cárcavas y baches.

### 3.1.10. Pendiente longitudinal

Estas pendientes se determinaron a partir de la siguiente ecuación:

#### Ecuación 1: Calculo de pendiente longitudinal

$$\text{Pendiente} = \frac{\Delta H}{L} * 100 \quad [\text{Ec. 1}]$$

**Tabla 4: Clasificación de terrenos en función de pendientes**

| TIPO DE TERRENO | RANGO DE PENDIENTES (%) |   |    |
|-----------------|-------------------------|---|----|
| Llano o Plano   | P                       | ≤ | 5  |
| Ondulado        | 5                       | ≥ | 15 |
| Montañoso       | 15                      | ≤ | 30 |

**Fuente:** Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, pág. 116).

**Tabla 5: Consolidado de pendientes por estaciones**

| ESTACIONES    |             | PENDIENTE    |        | TIPO DE TERRENO |
|---------------|-------------|--------------|--------|-----------------|
| INICIO METROS | FIN METROS  |              |        |                 |
| 0+000         | 0+125       | -7.77%       | Bajada | Ondulado        |
| 0+125         | 0+300       | -6.53%       | Bajada | Ondulado        |
| 0+300         | 0+400       | 0.85%        | Subida | Llano           |
| 0+400         | 0+500       | 0.00%        |        | Llano           |
| 0+500         | 0+800       | 2.65%        | Subida | Llano           |
| 0+800         | 1+000       | -0.93%       | Bajada | Llano           |
| 1+000         | 1+200       | 0.87%        | Subida | Llano           |
| 1+200         | 1+320       | 4.14%        | Subida | Llano           |
| 1+320         | 1+460       | 7.13%        | Subida | Ondulado        |
| 1+460         | 1+740       | 0.50%        | Subida | Llano           |
| 1+740         | 1+920       | 6.68%        | Subida | Ondulado        |
| 1+920         | 2+000       | -1.52%       | Bajada | Llano           |
|               | <b>Suma</b> | <b>6.07%</b> | Subida | <b>Ondulado</b> |

**Fuente:** Elaborado propia con datos de sustentantes.

La pendiente máxima de este tramo es de -7.77% (Ondulado), y se encuentra en los estacionamientos 0+000 hasta 0+125. La pendiente mínima de este tramo es de 0.50% (Llano/Plano), y se encuentra en los estacionamientos 1+460 hasta 1+740.}

A partir del análisis de la Tabla 3: se determinó que el tipo de terreno correspondiente al área de estudio es ondulado. Esta conclusión se basa en la distribución y magnitud de las pendientes obtenidas a lo largo del tramo evaluado.

De acuerdo con la clasificación establecida en las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA, 2011), los terrenos ondulados se caracterizan por presentar pendientes que varían entre suaves y moderadas, con cambios frecuentes en la dirección y la magnitud del relieve. En este sentido, la tabla muestra que las pendientes oscilan entre valores negativos y positivos, predominando las pendientes moderadas entre 0.50% y 7.13%.

Se observa que, de los 12 tramos analizados, el 66.67% presentan pendientes con valores positivos, incluyendo varios tramos con pendientes mayores al 2°/o, y ningún tramo presenta pendientes superiores al 8%. Esta situación está dentro del rango característico de un terreno ondulado, donde el relieve tiene elevaciones y depresiones suaves, pero constantes.

Además, la presencia de alternancia entre pendientes de bajada y subida, así como la variación frecuente de su magnitud, confirma que no se trata de un terreno llano (pendientes cercanas a 0%) ni de un terreno montañoso (pendientes mayores al 12%).

Por ello, considerando el comportamiento general de las pendientes en el tramo evaluado y comparando con los criterios establecidos en la normativa de diseño geométrico de carreteras, se concluye que el tipo de terreno es ondulado.

### **3.2. Estudio geotécnico**

#### **3.2.1. Generalidades**

En este capítulo se detallan los procedimientos llevados a cabo a lo largo del tramo en análisis, con el propósito de evaluar y analizar las características físicas, mecánicas y condiciones de soporte del suelo, y así poder contar con la información básica necesaria para la determinación de los espesores de la estructura de pavimento flexible. Los ensayos de laboratorio y caracterización física de los suelos fueron proporcionados por la Alcaldía de Jinotega, de un Estudio realizado por el laboratorio LAMSA (Ingenieros consultores) en el año 2020. La investigación incluye también determinar las características de Bancos de Materiales, necesarios para la construcción del Proyecto.

Todos los ensayos se realizaron en conformidad a lo establecido en las Normas de la ASTM (Asociación Internacional para la Prueba de Materiales), y AASHTO, entre ellas: Humedad, Valor de Soporte (CBR), Granulometría, Límites de Atterberg (Límite líquido e índice plástico) y Densidad (Próctor).

Los ensayos se realizan en los laboratorios y miden la cohesión del terreno y su contenido de humedad, para ellos se forman pequeños cilindros de espesor con el suelo, siguiendo estos procedimientos se definen 3 tipos de límites:

- ✚ Límites líquido: cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido. Para la determinación de este límite se utiliza la cuchara de Casagrande.
- ✚ Límite plástico: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado plástico.
- ✚ Límite de retracción o contracción: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y se contrae al perder humedad.

**Tabla 6: Tipos de ensayos para estudio de suelos**

| Ensayo                           | Especificación<br>ASTM | Especificación<br>AASHTO |
|----------------------------------|------------------------|--------------------------|
| <b>Granulometría</b>             | D – 422                | T – 2788                 |
| <b>Límite Líquido</b>            | D – 423                | T –8990 y 9087           |
| <b>Índice de Plasticidad</b>     | D – 424                | T – 9097                 |
| <b>Ensayo Próctor Modificado</b> | D – 1557 – 91          | T – 180 – 90             |
| <b>Ensayo CBR.</b>               | D – 1883 – 73          | T – 193 – 81             |

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

### 3.2.2. Ensayos de suelo en línea

Para realizar el estudio, se efectuó un total de nueve (9) sondeos manuales, el muestreo se hizo con posteadora y barra, clasificándose el material en el sitio visualmente y al tacto, seleccionándose un total de veintiún (21) muestras; las cuales fueron trasladadas al laboratorio para su clasificación definitiva. Se tomaron dos muestras por kilómetro, para realizar igual número de ensayos de penetración CBR, necesarios para el diseño.

En base a los estudios realizados por la alcaldía de Jinotega, en colaboración con el laboratorio de suelo LAMSA, se tomaron muestras representativas alternadas a uno y otro lado de la vía, a una distancia de 250 metros con una profundidad de

hasta 1.50, dicho procedimiento se inició en la estación 0+000 (inicio del tramo) hasta la estación 2+000 (fin del tramo).

**Tabla 7: Ubicación de sondeos en línea.**

| Localización de Sondeo |       | Identificación de Muestras |           |
|------------------------|-------|----------------------------|-----------|
| Estación               | Banda | Sondeo                     | Muestra   |
|                        |       | No.                        | No.       |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | <u>1</u>  |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | <u>2</u>  |
| 0+250                  | B/D   | 2                          | <u>3</u>  |
| 0+250                  | B/D   | 2                          | <u>4</u>  |
| 0+500                  | B/I   | 3                          | <u>5</u>  |
| 0+500                  | B/I   | 3                          | <u>6</u>  |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | <u>7</u>  |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | <u>8</u>  |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | <u>9</u>  |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | <u>10</u> |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | <u>11</u> |
| 1+250                  | B/I   | 6                          | <u>12</u> |
| 1+250                  | B/I   | 6                          | <u>13</u> |
| 1+500                  | L/C   | 7                          | <u>14</u> |
| 1+500                  | L/C   | 7                          | <u>15</u> |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | <u>16</u> |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | <u>17</u> |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | <u>18</u> |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | <u>19</u> |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | <u>20</u> |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | <u>21</u> |

### 3.2.3. Resultados de ensayos sobre la línea

Las muestras obtenidas de los suelos y materiales recobrados se almacenaron y rotularon adecuadamente indicando el número de muestra e identificación de campo, el estacionamiento, ubicación correspondiente al centro, derecha, o izquierda de la línea central de la carretera, profundidad a que fue extraída, y la fecha para su remisión y transporte a los laboratorios centrales de LAMSA en Managua donde se practicaron los ensayos correspondientes para obtener la clasificación definitiva del material.

#### **3.2.4. Resultados granulométricos**

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.

En los suelos granulares nos da una idea de su permeabilidad y en general de su comportamiento ingenieril, no así en suelos cohesivos donde este comportamiento depende más de la historia geológica del suelo.

Al realizar el análisis granulométrico distinguimos en las partículas cuatro rangos de tamaños:

- Grava: Constituida por partículas cuyo tamaño es mayor que 4.76 mm.
- Arena: Constituida por partículas menores que 4.76 mm y mayores que 0.074 mm.
- Limo: Constituido por partículas menores que 0.074 mm y mayores que 0.002 mm.
- Arcilla: Constituida por partículas menores que 0.002 mm.

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).

Los granos de los suelos del proyecto en estudio, pasan entre 21 y 79% el tamiz No.4 y entre 6 y 48% el tamiz No.200. Se presenta tabla en donde se muestran los resultados de los estudios granulométricos de todas las muestras ensayadas.

**Tabla 8: Resultado granulométricos 0+000 – 2+000**

| Localización de Sondeo |       | Identificación de Muestras |         | Estratigrafía |            |              | % Que pasa por tamiz |     |        |     |      |      |      |       |        |        |         | Observación<br><br>Clasificación            |
|------------------------|-------|----------------------------|---------|---------------|------------|--------------|----------------------|-----|--------|-----|------|------|------|-------|--------|--------|---------|---------------------------------------------|
|                        |       |                            |         | Desde (cm)    | Hasta (cm) | Espesor (cm) | 3"                   | 2"  | 1 1/2" | 1"  | 3/4" | 1/2" | 3/8" | No. 4 | No. 10 | No. 40 | No. 200 |                                             |
| Estación               | Banda | Sondeo                     | Muestra |               |            |              | 75                   | 50  | 37.5   | 25  | 19   | 12.5 | 9.5  | 4.75  | 2      | 0.425  | 0.075   |                                             |
|                        |       | No.                        | No.     |               |            |              |                      |     |        |     |      |      |      |       |        |        |         |                                             |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | 1       | 0             | 30         | 30           |                      | 100 | 93     | 74  | 65   | 47   | 38   | 21    | 11     | 8      | 6       | Grava arenosa con limo color marrón         |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | 2       | 30            | 150        | 120          |                      |     |        |     |      | 100  | 97   | 79    | 64     | 53     | 46      | Arcilla gravo arenosa color café claro      |
| 0+250                  | B/D   | 2                          | 3       | 0             | 45         | 45           |                      |     | 100    | 99  | 90   | 78   | 71   | 52    | 31     | 21     | 17      | Grava arenosa con limo color café oscuro    |
| 0+250                  | B/D   | 2                          | 4       | 45            | 150        | 105          |                      |     | 100    | 94  | 87   | 80   | 74   | 55    | 35     | 27     | 23      | Grava areno limosa color café claro         |
| 0+500                  | B/I   | 3                          | 5       | 0             | 80         | 80           |                      | 100 | 87     | 76  | 70   | 56   | 49   | 26    | 17     | 14     | 11      | Grava con arena y arcilla color café claro  |
| 0+500                  | B/I   | 3                          | 6       | 80            | 110        | 30           |                      | 100 | 81     | 66  | 57   | 45   | 39   | 27    | 17     | 13     | 11      | Grava con arena y limo color café oscuro    |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | 7       | 0             | 25         | 25           |                      | 100 | 91     | 100 | 68   | 53   | 47   | 34    | 21     | 13     | 11      | Grava arenosa con limo color café claro     |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | 8       | 25            | 55         | 30           |                      | 100 | 91     | 75  | 70   | 62   | 57   | 46    | 30     | 23     | 17      | Grava areno limosa color café claro         |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | 9       | 55            | 100        | 45           |                      | 100 | 77     | 69  | 63   | 53   | 46   | 29    | 23     | 17     | 12      | Grava con arena y limo color café claro     |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | 10      | 0             | 40         | 40           |                      | 100 | 90     | 81  | 75   | 64   | 58   | 42    | 30     | 20     | 15      | Grava arenosa con limo color café claro     |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | 11      | 40            | 100        | 60           |                      | 100 | 91     | 80  | 72   | 62   | 57   | 42    | 36     | 29     | 23      | Grava areno arcillosa color café claro      |
| 1+250                  | B/I   | 6                          | 12      | 0             | 50         | 50           |                      | 100 | 95     | 72  | 63   | 52   | 46   | 30    | 23     | 16     | 12      | Grava arenosa con limo color café oscuro    |
| 1+250                  | B/I   | 6                          | 13      | 50            | 130        | 80           |                      | 100 | 80     | 72  | 65   | 57   | 52   | 27    | 24     | 20     | 17      | Grava con arena y arcilla color café oscuro |
| 1+500                  | L/C   | 7                          | 14      | 0             | 20         | 20           |                      | 100 | 86     | 64  | 55   | 46   | 41   | 27    | 18     | 14     | 12      | Grava con arena y arcilla color marrón      |

| Localización de Sondeo |       |        | Identificación de Muestras |     |     | Estratigrafía |            |              | % Que pasa por tamiz |     |           |    |      |      |      |          |           |                                                           | Observación<br><br>Clasificación |
|------------------------|-------|--------|----------------------------|-----|-----|---------------|------------|--------------|----------------------|-----|-----------|----|------|------|------|----------|-----------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|
|                        |       |        |                            |     |     | Desde (cm)    | Hasta (cm) | Espesor (cm) | 3"                   | 2"  | 1<br>1/2" | 1" | 3/4" | 1/2" | 3/8" | No.<br>4 | No.<br>10 | No.<br>40                                                 |                                  |
| Estación               | Banda | Sondeo | Muestra                    | No. | No. |               |            |              | 75                   | 50  | 37.5      | 25 | 19   | 12.5 | 9.5  | 4.75     | 2         | 0.425                                                     |                                  |
|                        |       |        |                            |     |     |               |            |              |                      |     |           |    |      |      |      |          |           |                                                           |                                  |
| 1+500                  | L/C   | 7      | 15                         | 20  | 150 | 130           |            |              |                      | 100 | 96        | 90 | 75   | 35   | 34   | 30       | 28        | Grava arcillosa con poca arena color café claro           |                                  |
| 1+750                  | B/D   | 8      | 16                         | 0   | 15  | 15            | 100        | 91           | 77                   | 64  | 59        | 50 | 42   | 30   | 20   | 17       | 14        | Grava con arena y limo color café claro                   |                                  |
| 1+750                  | B/D   | 8      | 17                         | 15  | 40  | 25            |            |              |                      | 100 | 97        | 96 | 94   | 63   | 60   | 51       | 48        | Arcilla gravosa con arena color café oscuro               |                                  |
| 1+750                  | B/D   | 8      | 18                         | 40  | 150 | 110           |            |              |                      |     |           |    | 100  | 66   | 64   | 56       | 46        | Arcilla gravo arenosa color café claro con pintas blancas |                                  |
| 2+000                  | B/I   | 9      | 19                         | 0   | 30  | 30            |            |              | 100                  | 85  | 68        | 52 | 45   | 29   | 21   | 17       | 13        | Grava con arena y limo color café oscuro                  |                                  |
| 2+000                  | B/I   | 9      | 20                         | 30  | 75  | 45            |            |              | 100                  | 92  | 82        | 74 | 67   | 52   | 38   | 31       | 25        | Grava areno limosa color café claro                       |                                  |
| 2+000                  | B/I   | 9      | 21                         | 75  | 110 | 35            |            |              |                      | 100 | 97        | 86 | 67   | 26   | 23   | 22       | 20        | Grava arcillosa con poca arena color café oscuro          |                                  |

### Perfil estratigráfico

Se encontró a una profundidad promedio de 0.85 m, en su mayoría suelos de Grava con arena y grava areno limosa clasificada por el método AASHTO M 145 de tipo A-2-4 y A-2-6, y en menor cantidad arcilla gravo arenosa y grava arcillosa tipo A-2-7, A-7-5 Y A-7-6. En los sondeos realizados de la estación 0+500 a 2+000 se encontró relleno de roca a 1 m profundidad.

**Tabla 9: Estratigrafía del tramo 0+000 – 2000**

| Profundidad<br>(M) | ESTACIÓN DE SONDEO |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                    | 0+000              | 0+250        | 0+500        | 0+750        | 1+000        | 1+250         | 1+500        | 1+750        | 2+000        |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    | S1                 | S2           | S3           | S4           | S5           | S6            | S7           | S8           | S9           |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.1                | A-2-4<br>(0)       | A-2-6<br>(0) | A-2-6<br>(0) | A-2-4<br>(0) | A-2-4<br>(0) | A-2-4<br>(0)  | A-2-6<br>(0) | A-2-4<br>(0) | A-2-4<br>(0) |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.15               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.2                |                    |              |              | A-2-4<br>(0) |              |               | A-2-7<br>(5) | A-7-5<br>(7) |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.25               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.3                |                    |              |              | A-2-4<br>(0) |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.35               | A-7-6<br>(3)       | A-2-4<br>(0) | A-2-6<br>(0) |              | A-2-6<br>(0) | A-2-7<br>(0)  |              |              | A-2-4<br>(0) |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.4                |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.45               |                    |              |              |              |              | A-7-6<br>(12) |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.5                |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.55               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.6                |                    |              | A-2-4<br>(0) |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.65               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              | A-2-6<br>(0) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.7                |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.75               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.8                |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.85               |                    |              | A-2-6<br>(0) |              |              |               |              | A-2-6<br>(0) |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.9                |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.95               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1                  |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.05               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.1                |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.15               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.2                |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.25               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.3                |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.35               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.4                |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.45               |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.5                |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                    |                    |              |              |              |              |               |              |              |              |              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

### 3.2.5. Límites de atterberg

Para la correcta caracterización del suelo, además del análisis granulométrico, se debe realizar el ensayo de Atterberg para estudiar las características de los granos de menor tamaño no considerados en el análisis mecánico de los suelos. Los límites de consistencia de estos suelos varían desde 20 a 82% de Límite Líquido y de 7 a 51% de Índice de Plasticidad.

**Tabla 10: Límites Atterberg**

| Localización de Sondeo |       | Identificación de Muestras |           | Estratigrafía |            |              | NORMA: AASHTO T 90   |      |      |
|------------------------|-------|----------------------------|-----------|---------------|------------|--------------|----------------------|------|------|
| Estación               | Banda | Sondeo                     | Muestra   | Desde (cm)    | Hasta (cm) | Espesor (cm) | Límites de Atterberg |      |      |
|                        |       | No.                        | No.       |               |            |              | L.L.                 | L.P. | I.P. |
|                        |       |                            |           |               |            |              | %                    | %    | %    |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | <u>1</u>  | 0             | 30         | 30           | 24                   | 16   | 9    |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | <u>2</u>  | 30            | 150        | 120          | 42                   | 30   | 12   |
| 0+250                  | B/D   | 2                          | <u>3</u>  | 0             | 45         | 45           | 33                   | 21   | 11   |
| 0+250                  | B/D   | 2                          | <u>4</u>  | 45            | 150        | 105          | 20                   | 13   | 7    |
| 0+500                  | B/I   | 3                          | <u>5</u>  | 0             | 80         | 80           | 40                   | 26   | 13   |
| 0+500                  | B/I   | 3                          | <u>6</u>  | 80            | 110        | 30           | 26                   | 15   | 11   |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | <u>7</u>  | 0             | 25         | 25           | 27                   | 18   | 8    |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | <u>8</u>  | 25            | 55         | 30           | 20                   | 12   | 9    |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | <u>9</u>  | 55            | 100        | 45           | 22                   | 14   | 8    |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | <u>10</u> | 0             | 40         | 40           | 25                   | 17   | 8    |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | <u>11</u> | 40            | 100        | 60           | 31                   | 17   | 14   |
| 1+250                  | B/I   | 6                          | <u>12</u> | 0             | 50         | 50           | 30                   | 21   | 10   |
| 1+250                  | B/I   | 6                          | <u>13</u> | 50            | 130        | 80           | 49                   | 32   | 17   |
| 1+500                  | L/C   | 7                          | <u>14</u> | 0             | 20         | 20           | 35                   | 21   | 13   |
| 1+500                  | L/C   | 7                          | <u>15</u> | 20            | 150        | 130          | 82                   | 32   | 51   |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | <u>16</u> | 0             | 15         | 15           | 22                   | 13   | 9    |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | <u>17</u> | 15            | 40         | 25           | 53                   | 33   | 20   |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | <u>18</u> | 40            | 150        | 110          | 66                   | 28   | 38   |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | <u>19</u> | 0             | 30         | 30           | 23                   | 14   | 9    |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | <u>20</u> | 30            | 75         | 45           | 21                   | 14   | 7    |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | <u>21</u> | 75            | 110        | 35           | 40                   | 21   | 18   |

### 3.2.6. Proctor estándar

Se define igualmente como densidad seca máxima aquella que se consigue para la humedad óptima. Es comprobado que el suelo se compacta a la medida en que aumenta su humedad, la densidad seca va aumentando hasta llegar a un punto de máximo, cuya humedad es la óptima.

**Tabla 11: Resultado de ensayo proctor estándar**

| Localización de Sondeo |       | Identificación de Muestras |             | Estratigrafía |            |              | Clasificación | Fracciones de la muestra |    |    | NORMA: AASHTO T 99 |                |
|------------------------|-------|----------------------------|-------------|---------------|------------|--------------|---------------|--------------------------|----|----|--------------------|----------------|
|                        |       |                            |             | Desde (cm)    | Hasta (cm) | Espesor (cm) |               |                          |    |    | Densidad máxima    | Humedad óptima |
| Estación               | Banda | Sondeo No.                 | Muestra No. |               |            |              | NORMA:        |                          |    |    |                    |                |
|                        |       |                            |             |               |            |              | AASHTO M 145  |                          |    |    | (kg/m3)            | (%)            |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | 1           | 0             | 30         | 30           | A-2-4 (0)     | 79                       | 15 | 6  | 1,677.00           | 15.50          |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | 10          | 0             | 40         | 40           | A-2-4 (0)     | 58                       | 26 | 15 | 2,046.00           | 10.01          |
| 1+500                  | L/C   | 7                          | 15          | 20            | 150        | 130          | A-2-7 (5)     | 65                       | 7  | 28 | 1,279.00           | 24.90          |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | 17          | 15            | 40         | 25           | A-7-5 (7)     | 37                       | 16 | 48 | 1,144.00           | 48.20          |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | 18          | 40            | 150        | 110          | A-7-6 (12)    | 34                       | 20 | 46 | 1,084.00           | 48.70          |

### 3.2.7. Ensayo CBR

Los valores de CBR fueron determinados en los ensayos de laboratorio practicados a los materiales de los sondeos de línea, bajo condiciones de humedad y densidad controlada. No se encontraron niveles de aguas freáticas (NAF) en los sondeos realizados en los 2.00 km en estudio.

**Tabla 12: Resultados ensayos CBR**

| Localización de Sondeo |       | Identificación de Muestras |         | Estratigrafía |            |              | Clasificación | NORMA: AASHTO T 193   |       |        |
|------------------------|-------|----------------------------|---------|---------------|------------|--------------|---------------|-----------------------|-------|--------|
|                        |       |                            |         | Desde (cm)    | Hasta (cm) | Espesor (cm) |               | Grado de Compactación |       |        |
| Estación               | Banda | Sondeo                     | Muestra |               |            |              | NORMA:        | 90.00                 | 95.00 | 100.00 |
|                        |       | No.                        | No.     |               |            |              | AASHTO M 145  | (%)                   | (%)   | (%)    |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | 1       | 0             | 30         | 30           | A-2-4 (0)     | 6.94                  | 12.49 | 17.58  |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | 2       | 30            | 150        | 120          | A-7-6 (3)     |                       |       |        |
| 0+250                  | B/D   | 2                          | 3       | 0             | 45         | 45           | A-2-6 (0)     |                       |       |        |
| 0+250                  | B/D   | 2                          | 4       | 45            | 150        | 105          | A-2-4 (0)     |                       |       |        |
| 0+500                  | B/I   | 3                          | 5       | 0             | 80         | 80           | A-2-6 (0)     |                       |       |        |
| 0+500                  | B/I   | 3                          | 6       | 80            | 110        | 30           | A-2-6 (0)     |                       |       |        |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | 7       | 0             | 25         | 25           | A-2-4 (0)     |                       |       |        |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | 8       | 25            | 55         | 30           | A-2-4 (0)     |                       |       |        |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | 9       | 55            | 100        | 45           | A-2-4 (0)     |                       |       |        |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | 10      | 0             | 40         | 40           | A-2-4 (0)     | 9.02                  | 16.89 | 24.75  |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | 11      | 40            | 100        | 60           | A-2-6 (0)     |                       |       |        |
| 1+250                  | B/I   | 6                          | 12      | 0             | 50         | 50           | A-2-4 (0)     |                       |       |        |
| 1+250                  | B/I   | 6                          | 13      | 50            | 130        | 80           | A-2-7 (0)     |                       |       |        |
| 1+500                  | L/C   | 7                          | 14      | 0             | 20         | 20           | A-2-6 (0)     |                       |       |        |
| 1+500                  | L/C   | 7                          | 15      | 20            | 150        | 130          | A-2-7 (5)     | 4.16                  | 9.02  | 11.34  |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | 16      | 0             | 15         | 15           | A-2-4 (0)     |                       |       |        |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | 17      | 15            | 40         | 25           | A-7-5 (7)     | 1.11                  | 1.87  | 2.83   |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | 18      | 40            | 150        | 110          | A-7-6 (12)    | 0.80                  | 1.93  | 2.13   |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | 19      | 0             | 30         | 30           | A-2-4 (0)     |                       |       |        |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | 20      | 30            | 75         | 45           | A-2-4 (0)     |                       |       |        |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | 21      | 75            | 110        | 35           | A-2-6 (0)     |                       |       |        |

### 3.2.8. Ensayos en Bancos de Materiales y Canteras

Se estudió dos bancos en un tramo de 6 km, en los que se realizaron 4 sondeos a cielo abierto de 1.5 m x 1.5 m x 3.0 m y se tomaron 3 muestras de los cortes.

El objetivo es de confirmar con mayor exactitud su uso potencial y la cantidad disponible a explotar. Se verificó el acceso a cada Banco y se tomaron fotos a cada calicata realizada. (Ver ANEXO 1-7, Capítulo III. Pág. X-XIII)

Las muestras de materiales obtenidas en los sondeos manuales realizados en los bancos de materiales fueron debidamente identificadas, almacenadas y transportadas al laboratorio, donde se le practicaron los ensayos. **(Ver ANEXO 10, Capítulo III. Pág. XV)**

### 3.2.9. Resultados de Bancos de Materiales y Canteras

Las muestras extraídas de los sondeos fueron trasladadas al laboratorio para la realización de los ensayos requeridos. Los resultados de laboratorio comprenden granulometría, plasticidad, clasificación AASHTO, proctor de densidad estándar y modificada, CBR, desgaste de Los Ángeles e intemperismo acelerado. Los resultados se presentan en los anexos del presente informe.

**Tabla 13: Tabla resumen información general de bancos de material**

| INFORMACION                                            | BANCO N°1<br>CLAVO GONZALEZ                                               | BANCO N°2<br>CHICO GONZALEZ                                       |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| PROPIETARIO                                            | CLAVO GONZALEZ                                                            | FRANCISCO GONZALEZ                                                |
| TIPO DE MATERIAL                                       | A-1-a                                                                     | A-2-6 (0), A-2-4 (0)                                              |
| UTILIZACION                                            | Relleno y base                                                            | Relleno y terracería, y para base si se estabiliza                |
| UBICACIÓN DEL BANCO                                    | Est. 0+550 B/Der, a 100 m de la línea,<br>(X = 601662.90, Y = 1456460.98) | Est. 5+550 B/lzq.<br>X = 604829.86, Y = 149143.54                 |
| COORDENADAS (UTM) DE CALICATAS EXCAVADAS DE 1.5X1.5X3m | CAL1<br>X = 601733.50, Y = 1456435.54                                     | CAL1<br>X = 604894.23, Y = 1459233.00                             |
|                                                        |                                                                           | CAL2<br>X = 604912.12, Y = 1459191.00                             |
|                                                        | M1 Y 2, CORTE EN ROCA<br>(X = 601734.61, Y = 1456439.52)                  | CAL3<br>X = 604968.00, Y = 1459173.10                             |
|                                                        |                                                                           | M1, CORTE EN ROCA<br>X = 604889.33, Y = 1459193.16                |
| VOLUMEN EXPLOTABLE APROXIMADO                          | Area = 13,849.11 m <sup>2</sup><br>Vol.= 69,245.55 m <sup>3</sup>         | Area = 21,056.63 m <sup>2</sup><br>Vol.= 94,754.84 m <sup>3</sup> |

**Fuente:** Elaborada por sustentante.

### **Banco Clavo González:**

Se encontró grava areno limosa tipo A-1-a en las calicatas hasta una profundidad de 1.00 m y en las áreas de corte. El CBR para A-1-a es de 82.12 al 95% de compactación.

El resultado del ensayo de Desgaste Los Ángeles para el tipo A-1-a es de 22% e Intemperismo acelerado de 6.88 %. **(Ver ANEXO 11, Capítulo III. Pág. XV).**

### **Banco Chico González:**

Se encontró grava arenosa con poco limo tipo A-2-6 en las calicatas hasta una profundidad de 3.00 m. El CBR para A-2-6 es de 25.68 al 95% de compactación. El resultado del ensayo de Desgaste Los Ángeles para el tipo A-2-6 es de 32% e Intemperismo acelerado de 8.58. El CBR para la muestra triturada es de 39.33 al 95% de compactación, un 20.10% de desgastes de los Ángeles y el Intemperismo de acelerado 6.22. **(Ver ANEXO 12, Capítulo III. Pág. XVI)**

#### **3.2.10. Consideraciones para la elección del banco a utilizar**

#### **3.2.11. Consideraciones técnicas para la base**

Esta es la capa que se encuentra colocada por debajo de la carpeta de rodamiento, por lo que su ubicación muy cercana a la aplicación de las cargas requiere materiales de gran calidad y resistencia. Por lo tanto, deben de cumplir las especificaciones mínimas de la NIC-2019.

**Tabla 14: Especificaciones de materiales para base Granular**

| ENSAYO                                                                | REQUERIMIENTOS         | NORMA DE PRUEBA |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------|
| Límite líquido                                                        | 25% Máx.               | AASHTO T-89     |
| Límite plástico                                                       | 0% Máx. (NP)           | AASHTO T-90     |
| CBR                                                                   | <b>80% Mín.</b>        | AASHTO T-193    |
| Desgaste de los Ángeles                                               | 35% Máx.               | AASHTO T-96     |
| Intemperismo Acelerado                                                | 12% Máx.               | AASHTO T-104    |
| Compactación                                                          | 95% Próctor Modificado | AASHTO-191      |
| Cumplir con requerimientos de granulometría (E) (Base) Cuadro 1003-6. |                        |                 |

**Fuente:** Especificaciones NIC-2019 Sección 1003. 8 (inciso a y b).

### 3.2.12. Consideraciones técnicas para Sub-Base

Esta se puede definir como aquella capa que se coloca por debajo de la capa base y está alejada de las cargas que resiste directamente la capa de rodamiento, no se requieren materiales de gran resistencia como los de la capa base, por lo que su módulo de elasticidad es menor. Debe de cumplir las especificaciones mínimas de la NIC-2019.

**Tabla 15: Especificaciones de materiales para la sub-base**

| ENSAYO                                                                   | REQUERIMIENTOS                         | NORMA DE PRUEBA                |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|
| Límite líquido                                                           | 25% Máx.                               | AASHTO T-89                    |
| Límite Plástico                                                          | 6% Máx.                                | AASHTO T-90                    |
| CBR                                                                      | <b>30% Mín.</b>                        | AASHTO T-193                   |
| Desgaste de los Ángeles                                                  | 40% Máx.                               | AASHTO T-96                    |
| Intemperismo Acelerado                                                   | 12% Máx.                               | AASHTO T-104                   |
| Compactación                                                             | 95% min del peso volumétrico seco máx. | AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ) |
| Cumplir con requerimientos de granulometría (B) (Subbase) Cuadro 1003-6. |                                        |                                |

**Fuente:** Especificaciones NIC-2019 Sección 1003. 8 (inciso a y b).

### 3.2.13. Evaluación de los Bancos conforme a la Nic-2019

**Tabla 16: Evaluación Banco N°1 Clavo González**

| PRUEBA                 | REQUERIMIENTOS    | BANCO N° 1 | VALORACIÓN BASE  | VALORACIÓN SUB BASE |
|------------------------|-------------------|------------|------------------|---------------------|
| Graduación             | Cuadro 1003-6     | Cumple     | <u>Cumple</u>    | <u>Cumple</u>       |
| Límite Líquido         | 25% máx.          | 17         | <u>Cumple</u>    | <u>Cumple</u>       |
| Desgaste Los Ángeles   | Máx. 35%          | 22         | <u>Cumple</u>    | <u>Cumple</u>       |
|                        | Máx. 40%          |            |                  |                     |
| Intemperismo Acelerado | Máx. 12%          | 6.88       | <u>Cumple</u>    | <u>Cumple</u>       |
| Índice de plasticidad  | Base Máx. 0% (NP) | 5          | <u>No Cumple</u> | <u>Cumple</u>       |
|                        | Sub Base Máx. 6%  |            |                  |                     |

| PRUEBA                                                                | REQUERIMIENTOS                                                               | BANCO N° 1                      | VALORACIÓN BASE | VALORACIÓN SUB BASE |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------|
| CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación | Min. 80% para base                                                           | 82.12                           | <u>Cumple</u>   | <u>Cumple</u>       |
|                                                                       | 30% subbase                                                                  |                                 |                 |                     |
|                                                                       | CUADRO 1003-6 DE NIC 2019, REQUISITOS GRADUACIÓN DE AGREGADOS BASE/ SUBBASE. |                                 |                 |                     |
| TAMIZ (MM)                                                            | GRANULOMETRÍA<br>A<br>% /BASE                                                | GRANULOMETRÍA<br>A<br>% SUBBASE | BANCO N° 1      | VALORACIÓN          |
| 75                                                                    | 100                                                                          | 100                             | 100             | Cumple              |
| 4.75                                                                  | 47-59                                                                        | 40-60                           | 46              | Cumple              |
| 0.075                                                                 | 4 al 8                                                                       | 0-12                            | 4               | Cumple              |

Fuente: Especificaciones Nic-2019. Sección: 1003.8. tomo II inciso (a y b).

**Tabla 17: Evaluación Banco N°2 Chico González**

| PRUEBA                                                                | REQUERIMIENTOS     | BANCO N° 2    | VALORACIÓN/BASE  | VALORACIÓN/S B   |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------|------------------|------------------|
| Graduación                                                            | Cuadro 1003-6      | <u>Cumple</u> | <u>Cumple</u>    | <u>Cumple</u>    |
| Limite Liquido                                                        | 25% máx.           | 21            | <u>Cumple</u>    | <u>Cumple</u>    |
| Desgaste Los Ángeles                                                  | Máx. 35%           | 20.1          | <u>Cumple</u>    | <u>Cumple</u>    |
|                                                                       | Máx. 40%           |               |                  |                  |
| Intemperismo Acelerado                                                | Máx. 12%           | 6.22          | <u>Cumple</u>    | <u>Cumple</u>    |
| Índice de plasticidad                                                 | Base Máx. 0% (NP)  | 7             | <u>No Cumple</u> | <u>No Cumple</u> |
|                                                                       | Sub Base Máx. 6%   |               |                  |                  |
| CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T-180) y 4 días de saturación | Min. 80% para base | 39.33         | <u>No Cumple</u> | <u>Cumple</u>    |
|                                                                       | 30% subbase        |               |                  |                  |

| CUADRO 1003-6 DE NIC 2019, REQUISITOS GRADUACIÓN DE AGREGADOS BASE/<br>SUBBASE. |                               |                                 |            |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|------------|
| TAMIZ (MM)                                                                      | GRANULOMETRÍA<br>A<br>% /BASE | GRANULOMETRÍA<br>A<br>% SUBBASE | BANCO N° 1 | VALORACIÓN |
| 75                                                                              | 100                           | 100                             | 100        | Cumple     |
| 4.75                                                                            | 47-59                         | 40-60                           | 34         | No Cumple  |
| 0.075                                                                           | 4 al 8                        | 0-12                            | 3          | Cumple     |

**Fuente:** Especificaciones Nic-2019. Sección: 1003.8. tomo II inciso (a y b).

### 3.2.14. Propuestas de soluciones Geotécnicas

Según los materiales encontrados en bancos de materiales y suelos existentes en el tramo de estudio se propone lo siguiente:

### 3.2.15. Suelos de la Línea de la carretera

El material superficial existente es de regular calidad en profundidades variables de 0 a 0.50 m.

Se recomienda reutilizar los materiales de buena calidad de tipo gravo arenoso con clasificación A-2-4 y A-2-6 en mezclas con suelos provenientes de los bancos del tipo A-1-a para sub rasante mejorada (N°1 **Clavo González**). En los espacios donde el material resultó limoso o arcilloso se recomienda sustituir con suelos de bancos estudiados tipo A-1-a.

### 3.2.16. Bancos de Materiales

De acuerdo a los resultados de ensayos de laboratorio, usar los materiales de los Bancos de Préstamo de la manera siguiente:

- ✓ **Banco Clavo González:** Este banco tiene buena cantidad de material para el proyecto, cumple con los parámetros de desgaste e intemperismo, y granulometría. Los suelos A-1-a cumplen para utilizarse para base siempre y cuando sea una base mejorada con cemento en proporción a ser ensayada de entre 3% a 7%, ya que; según NIC-2019, un IP del 5% es considerado alto para bases granulares, puesto que, un exceso de finos puede reducir la permeabilidad del material, dificultando el drenaje y aumentando su sensibilidad a cambios significativos de volumen y deformaciones con las

variaciones de humedad. Es por ello, que se busca disminuir la plasticidad del suelo en estudio.

- ✓ Cabe mencionar que, la presencia de finos puede afectar negativamente la capacidad de la base granular de soportar carga; incluso con un CBR alto.

Para ello, se recomienda un estudio de estabilización de suelo y una mezcla de materiales granulares, hasta alcanzar su espesor total y debe ser estabilizada con la adición de cemento, en una cantidad tal que la mezcla estabilizada alcance una resistencia mínima a la compresión simple, después de 7 días de curado, de 21 kg/cm<sup>2</sup>; reglamentada por la NIC-2019.

- ✓ El banco, cumple para ser usado como sub base.
- ✓ **Banco Chico González:** Este banco tiene cantidades moderadas para el proyecto. Los suelos A-2-6 cumplen las normas de intemperismo y desgaste, pero tiene índice de plasticidad alto, lo mismo con el material A-2-4 del banco.
- ✓ Estos suelos podrían ser utilizados como relleno en elementos secundarios como alcantarillas, pero para ser usados en la estructura de la carretera tendrían que ser estabilizados con cemento en proporción a ser ensayada de entre 3% a 7%.

### **3.2.17. Para base y sub base**

1. Utilizar el banco Clavo González, suelos A-1-a, en capas de 15 a 20 cm.
2. Mantener y/o acopiar para su uso posterior los suelos tipo A-2-4 y A-2-6 existentes de la rasante de la carretera.
3. Los suelos del tipo A-7-5 y A-7-6 retirarlos de las capas de la estructura del camino hasta 0.60 m de profundidad, reemplazarlos por el material A-1-a del banco Clavo González.

### **3.2.18. Determinación del CBR de diseño**

Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad, y esta normado por la ASTM-D1883 y por la AASTHO T-193. Para la aplicación de este ensayo las muestras se sometieron a saturación por un periodo de 96 horas de anticipación.

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

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

### **3.2.19. Identificación de la Subrasante**

Se tomaron las muestras de las capas inmediatas por debajo de la línea de subrasante propuesta en planos, también se utilizaron las alturas del terreno natural y subrasante para determinar los tramos donde se tiene que realizar corte o relleno; se seleccionó la capa inmediata. En la siguiente tabla se muestra la acumulación de los valores de CBR de diseño y el tipo de suelo al que corresponde el material existente en la subrasante:

**Tabla 18: Valores de CBR de diseño en la subrasante propuesta**

| Localización de Sondeo |         | Identificación de Muestras |       | Estratigrafía |            |              | Clasificación | CBR   |
|------------------------|---------|----------------------------|-------|---------------|------------|--------------|---------------|-------|
|                        |         |                            |       | Desde (cm)    | Hasta (cm) | Espesor (cm) |               |       |
| Sondeo                 | Muestra | NORMA:                     | 95.00 |               |            |              |               |       |
| No.                    | No.     | AASHTO M 145               | (%)   |               |            |              |               |       |
| 0+000                  | L/C     | 1                          | 1     | 0             | 30         | 30           | A-2-4 (0)     | 12.49 |
| 0+000                  | L/C     | 1                          | 2     | 30            | 150        | 120          | A-7-6 (3)     |       |
| 0+250                  | B/D     | 2                          | 3     | 0             | 45         | 45           | A-2-6 (0)     |       |
| 0+250                  | B/D     | 2                          | 4     | 45            | 150        | 105          | A-2-4 (0)     |       |
| 0+500                  | B/I     | 3                          | 5     | 0             | 80         | 80           | A-2-6 (0)     |       |
| 0+500                  | B/I     | 3                          | 6     | 80            | 110        | 30           | A-2-6 (0)     |       |
| 0+750                  | L/C     | 4                          | 7     | 0             | 25         | 25           | A-2-4 (0)     |       |
| 0+750                  | L/C     | 4                          | 8     | 25            | 55         | 30           | A-2-4 (0)     |       |
| 0+750                  | L/C     | 4                          | 9     | 55            | 100        | 45           | A-2-4 (0)     |       |
| 1+000                  | B/D     | 5                          | 10    | 0             | 40         | 40           | A-2-4 (0)     | 16.89 |
| 1+000                  | B/D     | 5                          | 11    | 40            | 100        | 60           | A-2-6 (0)     |       |
| 1+250                  | B/I     | 6                          | 12    | 0             | 50         | 50           | A-2-4 (0)     |       |
| 1+250                  | B/I     | 6                          | 13    | 50            | 130        | 80           | A-2-7 (0)     |       |
| 1+500                  | L/C     | 7                          | 14    | 0             | 20         | 20           | A-2-6 (0)     |       |
| 1+500                  | L/C     | 7                          | 15    | 20            | 150        | 130          | A-2-7 (5)     | 9.02  |
| 1+750                  | B/D     | 8                          | 16    | 0             | 15         | 15           | A-2-4 (0)     |       |
| 1+750                  | B/D     | 8                          | 17    | 15            | 40         | 25           | A-7-5 (7)     | 1.87  |
| 1+750                  | B/D     | 8                          | 18    | 40            | 150        | 110          | A-7-6 (12)    | 1.93  |
| 2+000                  | B/I     | 9                          | 19    | 0             | 30         | 30           | A-2-4 (0)     |       |
| 2+000                  | B/I     | 9                          | 20    | 30            | 75         | 45           | A-2-4 (0)     |       |
| 2+000                  | B/I     | 9                          | 21    | 75            | 110        | 35           | A-2-6 (0)     |       |

**Fuente:** Laboratorio LAMSA.

A continuación, procedimos al cálculo del CBR de diseño para nuestro tramo y que abarcara las estaciones 0+000 hasta la 2+000, aplicando el método del Instituto del Asfalto, el cual utiliza un método estadístico de percentiles que está en un rango contemplado entre el 60%, 75% ó el 87.5% de los valores obtenidos que sean mayores o iguales que él, en función del tráfico proyectado.

Aplicando el criterio expuesto por el Instituto del Asfalto para la determinación del valor del CBR de Diseño, el cual recomienda elegir un valor adecuado ya sea de 60%, 75% o el 87.5%, tomando en cuenta que el ESAL's previsto por el carril de diseño será de 21 034, 910.00 por tanto para nuestro diseño utilizaremos un percentil de 87.5%, tal y como se indica a continuación.

**Tabla 19: Criterio del Instituto de Asfalto para CBR de Diseño**

| <b>Cargas Equivalentes Totales (ESAL 's)</b> | <b>Percentil de Diseño (%)</b> |
|----------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>&lt; de 10,000 ESAL 's</b>                | 60%                            |
| Entre 10,000 y 1,000,000 de ESAL 's          | 75%                            |
| <b>&gt; de 1,000,000 ESAL 's</b>             | <b>87.5%</b>                   |

**Fuente:** Instituto de Asfalto. (MS-1) 1,991, pág.168.

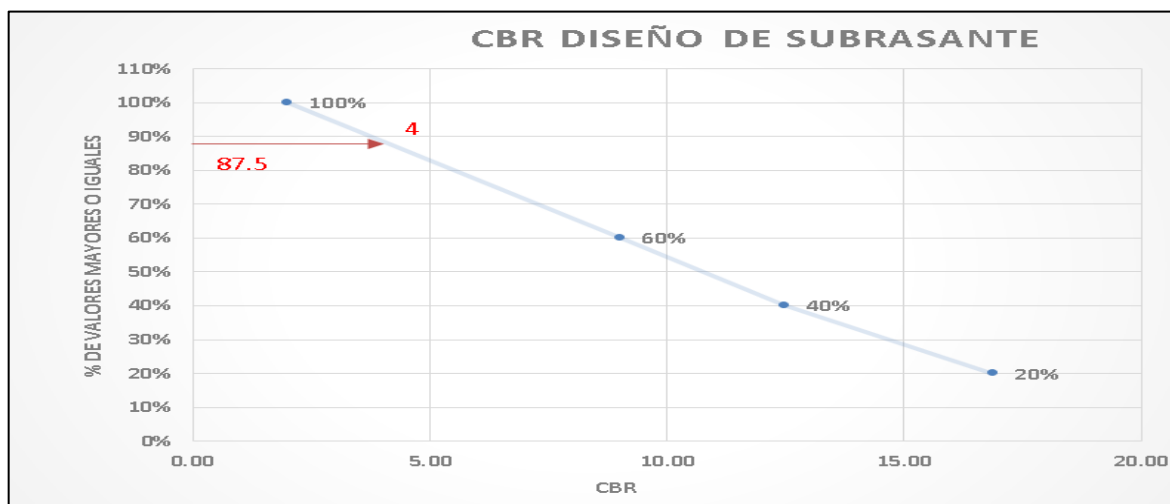
**Tabla 20: Número de ensayos con valores iguales o mayores**

| <b>Clasificación</b> | <b>CBR</b>   |    | <b>NORMA: AASHTO T 193</b> |                                            |                                                |
|----------------------|--------------|----|----------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                      |              |    | <b>Frecuencia</b>          | <b>Número de valores iguales o mayores</b> | <b>Porcentaje de valores iguales o mayores</b> |
| <b>NORMA:</b>        | <b>95.00</b> |    |                            |                                            |                                                |
| <b>AASHTO M 145</b>  | <b>(%)</b>   |    |                            |                                            |                                                |
| A-7-5 (7)            | 1.87         | 2  | 2                          | 5                                          | 100%                                           |
| A-7-6 (12)           | 1.93         | 2  |                            |                                            |                                                |
| A-2-7 (5)            | 9.02         | 9  | 1                          | 3                                          | 60%                                            |
| A-2-4 (0)            | 12.49        | 12 | 1                          | 2                                          | 40%                                            |
| A-2-4 (0)            | 16.89        | 17 | 1                          | 1                                          | 20%                                            |
|                      | <b>Σ</b>     |    | <b>5</b>                   |                                            |                                                |

**Fuente:** Elaboración propia.

Una vez realizado el cálculo, graficamos los valores de C.B.R con los porcentajes anteriormente calculados y en la curva resultante, determinamos el C.B.R para el percentil elegido que para este caso debe ser 87.5%, al cual le corresponde un CBR con valor de 4%. **(Ver Gráfico-5)**

**Figura 6: CBR de Diseño según el Instituto del Asfalto**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 21: Interpolación lineal para cálculo de CBR**

| INTERPOLACIÓN LINEAL DEL VALOR DE 87.5% |                                                                                      |              |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| %                                       |                                                                                      | CBR 95%      |
| 100%                                    |  | 2%           |
| <div>87.5%</div>                        |                                                                                      | <div>X</div> |
| 60%                                     |  | 9%           |
| 60-100= -0.4                            | <div>Multiplicación Cruzada</div>                                                    | 9-2=7        |
| 87.5-100= -0.125                        |                                                                                      | X-2          |
| Solución                                |                                                                                      |              |
| -0.4(X-2) = -0.125 (7)                  | Despejando la X                                                                      |              |
| -0.4 (X-2) = -0.875                     |                                                                                      |              |
| X-2=-0.875/-0.4                         |                                                                                      |              |
| X-2=2.187                               |                                                                                      |              |
| X=2.187+2                               |                                                                                      |              |
| X=4.187                                 |                                                                                      |              |
| RESULTADO: 4.2 %                        |                                                                                      |              |

**Fuente:** Elaborado por Sustentantes.

Encontrando un CBR de diseño de 4.2%, para Subrasante, el cual es un CBR bajo para soporte debido a la presencia de suelos (A-7-5 y A-7-6). Procedemos a comparar con la siguiente tabla para obtener conclusiones:

**Tabla 22: Clasificación de sub-base según CBR**

| CBR    | CLASIFICACIÓN        |
|--------|----------------------|
| 0-5    | Subrasante mala      |
| 5-10   | Subrasante regular   |
| 10-20  | Subrasante buena     |
| 20-30  | Subrasante muy buena |
| 30-50  | Subbase buena        |
| 50-80  | Base buena           |
| 80-100 | Base muy buena       |

**Fuente:** Crespo Villalaz, C. (2008).

Al hacer comparación de la tabla anterior con el CBR de diseño 4.2 %, observamos que está dentro del rango de una Subrasante Mala entre CBR 0 – 5. Dicho valor fue obtenido tanto gráficamente como por interpolación lineal

Tomando en cuenta la investigación de campo, y los ensayos de laboratorio realizados se concluye y recomienda lo siguiente: El material superficial existente es de regular calidad en profundidades variables de 0 a 0.50 m. Se recomienda reutilizar los materiales de buena calidad de tipo gravo arenoso con clasificación A-2-4 y A-2-6 en mezclas con suelos provenientes de los bancos del tipo A-1-a para sub rasante mejorada. En los espacios donde el material resultó limoso o arcilloso se recomienda sustituir con suelos de bancos estudiados tipo A-1-a.

### **3.1. Estudio de tránsito**

#### **3.1.1. Generalidades**

Elaborar el Estudio de Tráfico, permitió determinar tanto del volumen de tráfico actual como los proyectados a lo largo del periodo de operación del proyecto, su composición por tipología vehicular, el origen y destino de los diferentes usuarios de vía, así como las velocidades de operación actual y la determinación de la Capacidad y los Niveles de Servicios de la carretera.

En este capítulo se realizó la proyección del tránsito actual de la vía, dependiendo de los resultados que exprese este estudio, se proyectaron los niveles de servicio, que deberá ofrecer el tramo en análisis, para su período de diseño, el tránsito posiblemente es la variable más importante para el diseño de una vía, pues si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de estos son factores determinantes en el diseño de la estructura de pavimento para poder calcular los espesores de pavimento.

#### **3.1.2. Metodología del estudio**

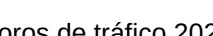
En este capítulo se detalla la metodología empleada en la elaboración del estudio, desde la recopilación de información de campo hasta el trabajo de gabinete, con el fin de cumplir con los objetivos del estudio, conforme a lo requerido. Se efectuaron las siguientes actividades antes de iniciar con las actividades de campo:

- a) Organización y logística del trabajo de campo.
- b) Diseñar/Elaborar instrumentos para el levantamiento de datos y procedimientos de campo y de gabinete para uso de los grupos de trabajo: Formatos de campo, Bases de Datos.
- c) Obtener información documental en el MTI.

#### **3.1.3. Tipo de vehículos**

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

**Tabla 23: Tipología y clasificación vehicular en conteos de tránsito**

| 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, Cuadracillos, 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. |
|                        | AUTOMÓVILES                     |  | 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 lina en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.                                                                                                                |
|                        | MICROBUS                        |  | Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.                                                                                                                                                                                           |
|                        | MINIBUS                         |  | Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.                                                                                                                                                                                                                           |
|                        | BUS                             |  | Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.                                                                                                                                                                      |
| VEHICULOS DE CARGA     | LIVIANO DE CARGA                |  | Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.                                                                                                                                                                                                 |
|                        | CAMIÓN DE CARGA C2 - C3         |  | Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.                                                                                                                                           |
|                        | CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4 |  | Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.                                                                                                                                                                   |
|                        | Tx-Sx>=5                        |  | Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.                                                                                                                                                                        |
|                        | Cx-Rx<=4                        |  | Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4                                                                                                                                                                         |
|                        | Cx-Rx>=5                        |  | Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.                                                                                                                                                                                                      |
| EQUIPO PESADO          | VEHÍCULOS 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)                                  |
|                        | VEHÍCULOS DE CONSTRUCCIÓN       |  | Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.                 |
| OTROS                  | REMOLQUES Y/O TRAILERS          |  | Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).                                                                                                                                |

**Fuente:** Anuario de aforos de tráfico 2020. Pág, 28.

### 3.1.4. Tipo de vehículos por la disposición de sus ejes

La diversidad de vehículos que circulan sobre un pavimento durante su periodo de diseño trae como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, con diferentes distancias entre ejes, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura. Se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de sus ejes de la forma que se muestra en el Diagrama de Cargas Permisibles. **(Ver ANEXO 1 y 2, Capítulo IV. Pág. XX).**

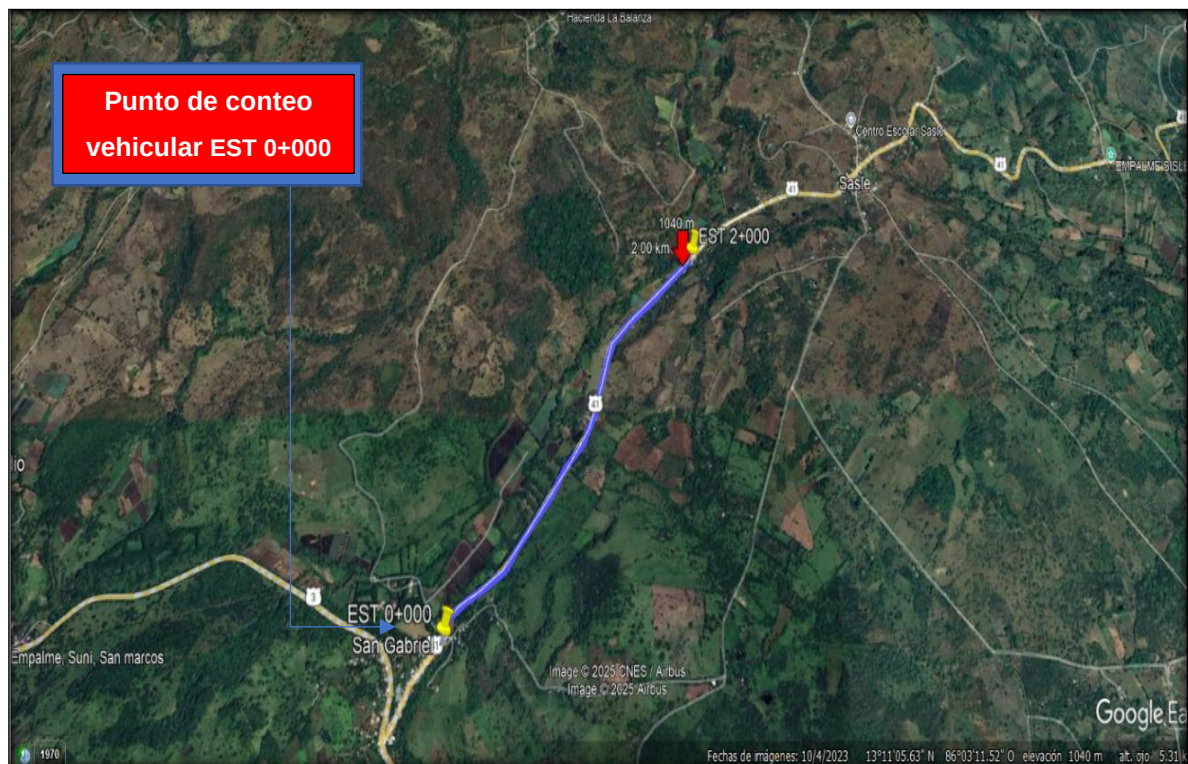
### 3.1.5. Procesamiento y análisis de información

Es la etapa de trabajo de gabinete en la cual se procesó toda la información obtenida de los conteos mediante el Software Microsoft Excel, esto con el fin de obtener los mejores resultados, basándonos para esto en la Revista Anuario de Tránsito del Ministerio de Transporte 2020. Para el análisis de la información, se usó los criterios de la AASHTO-93, SIECA y NIC-2019.

### 3.1.6. Estación de conteo vehicular

La estación de conteo vehicular se ubicó en un lugar estratégico, a fin de ejecutar los conteos de volumen de tránsito vehicular que circula en la vía; permitiendo captar el 100% del tránsito en ambos sentidos de la vía. En la **Imagen 8**, se puede observar el tramo en estudio el cual se encuentra clasificada según la red vial de Nicaragua 2018 como Colectora Rural perteneciente a la NIC. 41, su punto inicial la Est: 0+000 a Est. 2+000 ubicado en las coordenadas geográficas norte  $13^{\circ}11'05.31''$  oeste  $86^{\circ}03'11.97''$  con una longitud aproximada de (2 kilómetros).

**Figura 7: Ubicación del aforo vehicular**



Fuente: Google Earth.

En la **Est: 0+000** (inicio del tramo) se realizó el aforo vehicular en el periodo del martes 03 al lunes 09 de diciembre de 2024, en un periodo de 12 horas, desde las

06:00 am a las 06:00 pm., realizando un conteo y clasificación vehicular de 12.0 horas diurnas en ambos sentidos de la vía.

### **3.1.7. Procesamiento de datos**

Se refiere a la tabulación de la información corresponde directamente al trabajo de gabinete, luego de haberse realizado el trabajo de campo, siendo esta procesada en el Software Microsoft Excel, mediante hojas de cálculo. De la información recogida de los conteos, se obtuvo el volumen de tránsito vehicular diurno de 12 horas, durante un conteo de 7 días consecutivos (martes, miércoles, jueves, viernes, sábado, domingo, lunes). Se logró obtener los conteos del tránsito, composición vehicular; así como el promedio del período de evaluación en consolidado para ambos sentidos del tramo en estudio.

### **3.1.8. Resumen del aforo vehicular**

Para obtener resultados adecuados, se contó y clasificó el cien por ciento de los vehículos que circularan en ambas direcciones de la estación de conteo (0+000).

### **3.1.9. Tráfico Promedio Diario de 12 horas (TPD 12 h)**

De la información de campo se obtienen los volúmenes de tráfico existente de 12 horas, por tipología vehicular. La tipología vehicular será contabilizada tomando en consideración la clasificación vehicular que publica el MTI en el Anuario de Tráfico del año 2020, la cual se presenta en la siguiente figura. Para obtener el Tránsito Promedio Diurno (TPDi) fue necesario aplicar la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 2: Transito Promedio Diurno**

$$TPDi = \frac{\text{Total Diurno}}{N \text{ días}}$$

**Donde:**

**TPDi** = Tránsito Promedio Diurno.

**N** = Número de días en estudio.

**Tabla 24: Tránsito Promedio Diario Total EST 0+000**

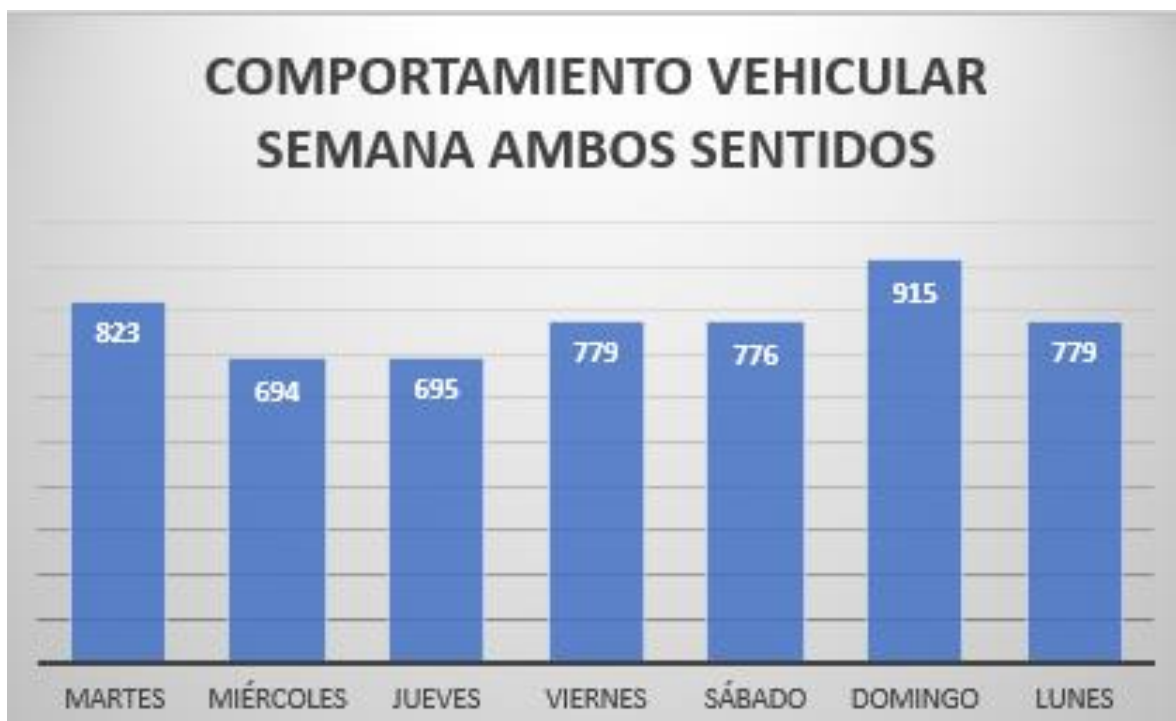
| DIA            | BICIC. | VEHICULOS LIVIANOS |       |       |        | VEHICULOS DE PASAJEROS |        |       | VEHICULOS DE CARGA |           |       |         | TOTAL  |
|----------------|--------|--------------------|-------|-------|--------|------------------------|--------|-------|--------------------|-----------|-------|---------|--------|
|                |        | MOTO               | AUTO  | JEEP  | CTA.   | MBUS                   | MB>15P | BUS   | C2 LIV             | C2> 5 TON | C3    | TX SX 5 |        |
| MARTES         |        | 329                | 44    | 41    | 215    | 3                      | 3      | 30    | 22                 | 70        | 41    | 25      | 823    |
| MIÉRCOLES      |        | 348                | 33    | 17    | 211    | 0                      | 0      | 27    | 14                 | 37        | 6     | 1       | 694    |
| JUEVES         |        | 304                | 14    | 21    | 228    | 4                      | 0      | 35    | 15                 | 59        | 10    | 5       | 695    |
| VIERNES        |        | 397                | 16    | 22    | 242    | 4                      | 0      | 31    | 8                  | 38        | 21    | 0       | 779    |
| SÁBADO         |        | 379                | 17    | 12    | 253    | 2                      | 5      | 28    | 7                  | 56        | 16    | 1       | 776    |
| DOMINGO        |        | 482                | 23    | 42    | 229    | 0                      | 0      | 35    | 10                 | 67        | 22    | 5       | 915    |
| LUNES          |        | 373                | 25    | 27    | 248    | 1                      | 0      | 30    | 12                 | 56        | 6     | 1       | 779    |
| TOTAL          |        | 2612               | 172   | 182   | 1626   | 14                     | 8      | 216   | 88                 | 383       | 122   | 38      | 5461   |
| TPDi 12 H      |        | 373                | 25    | 26    | 232    | 2                      | 1      | 31    | 13                 | 55        | 17    | 5       | 780    |
| % de vehículos |        | 47.83%             | 3.15% | 3.33% | 29.77% | 0.26%                  | 0.15%  | 3.96% | 1.61%              | 7.01%     | 2.23% | 0.70%   | 100.0% |
| Composición    |        | 84.09%             |       |       |        | 4.36%                  |        |       | 11.55%             |           |       |         | 100.0% |

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar el conteo de 7 días consecutivo durante 12 horas diurnas en la Est **0+000 (inicio del tramo)** y posterior realizar el consolidado en Microsoft Excel pudimos tener una perspectiva bastante clara de cómo se comporta el tránsito a lo largo de los días en el tramo de estudio, para luego calcular el Tránsito Promedio Diurno (TPDi) en base a la **ecuación 2**, obteniendo un valor de total de 780 vehículos por 12 horas diurnas.

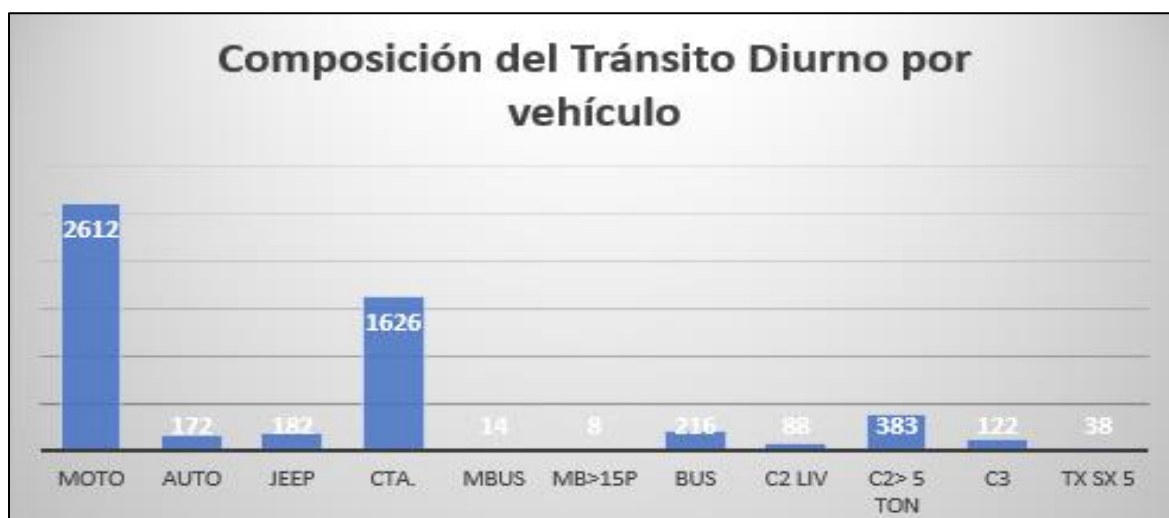
Luego se realizó un gráfico con los datos obtenidos donde se refleja el comportamiento del tránsito diurno, de igual manera otro gráfico donde se muestra su composición en periodo de 12 horas. **(Ver gráfico a continuación).**

**Figura 8: Comportamiento del Tránsito Diurno (TPDi) por día**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 9: Composición del Tránsito Diurno por vehículo**



**Fuente:** Elaboración propia.

En la **figura 8**, muestra el comportamiento del tránsito vehicular diurno, los días con mayor demanda de vehículos es el domingo, seguido de martes y último el miércoles.

En la **figura 9**, se aprecia el comportamiento de la composición vehicular predominando los Vehículos Livianos (motos, camionetas, autos y jeep) seguido de los vehículos pesados (Liv C2>5, bus, C2 Liv, C3, Mbus), y en menor cantidad los vehículos de pasajeros (bus micro bus>15p, y V.A).

### 3.1.10. Cálculo del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Para obtener el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) fue necesario usar factores de ajustes diarios, semanales y de expansión, obtenidos del anuario de aforos de tráfico del MTI año 2020, publicado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura– DAV. Para expandir (TPDi<sub>12 hrs</sub> a TPDA), se consideró utilizar una estación que cumpla con características similares al tramo de estudio. Para ello se hizo uso de los vectores de correspondencia (vector geográfico, volumen de tránsito vehicular (TPDA) y el porcentaje de tránsito vehicular).

#### Vector geográfico de correspondencia

Utilizando la metodología del (Anuario de tráfico-2020 del MTI), el vector geográfico para el tramo de estudio departamento de Jinotega (ubicación del proyecto), corresponde a la región central norte. Según el vector geográfico el tramo de estudio localizado en el departamento de Jinotega se ubica en la región central norte vector R3.

**Tabla 25: Vector Geográfico de correspondencia**

| N°. | Vector | Código | Nombre de Región | Departamentos                                                        |
|-----|--------|--------|------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1   | R1     | PS     | Pacífico Sur     | Masaya, Granada, Carazo, Rivas                                       |
| 2   | R2     | PN     | Pacífico Norte   | León, Chinandega, Managua                                            |
| 3   | R3     | CN     | Central Norte    | Nueva Segovia, Madriz, Estelí, Jinotega, Matagalpa, Boaco, Chontales |
| 4   | R4     | AS     | Atlántico Sur    | Región Autónoma del Caribe Sur (RACS), Río San Juan                  |
| 5   | R5     | AN     | Atlántico Norte  | Región Autónoma del Caribe Norte (RACN)                              |

**Fuente:** Anuario de Tráfico 2020, Tabla N°1; MTI.

### Estación de mayor cobertura

Entre las 11 estaciones de mayor cobertura existentes en Nicaragua, la estación a utilizar en este caso es la del tramo “San Marcos - Masatepe” (EMC 1802), debido a que posee mayor similitud en los porcentajes de vehículos livianos, y pesados (Ver gráfico-3); la cual, brindará los factores de ajustes diarios, semanales y de expansión correspondientes para la cuantificación del TPDA.

**Figura 10: Resultados de aforo vehicular de 12 hora**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 26: Porcentaje vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura**

| N. | EST. | Nombre del tramo                      | TPDA   | Total Pesados | Tx-Sx y Cx-Rx | % de Livianos | % de Pesados | % Tx-Sx y Cx-Rx Vehiculos de Carga |
|----|------|---------------------------------------|--------|---------------|---------------|---------------|--------------|------------------------------------|
| 1  | 101B | Zona Franca - La Garita               | 24.523 | 5.291         | 956           | 78.3%         | 21.6%        | 18.1%                              |
| 2  | 1205 | Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega | 10.585 | 2.614         | 934           | 75.0%         | 24.7%        | 35.70%                             |
| 3  | 200  | Entrada al INCAE - El Crucero         | 9.403  | 1.183         | 283           | 87.3%         | 12.6%        | 23.90%                             |
| 4  | 1802 | San Marcos - Masatepe                 | 9.392  | 830           | 69            | 91.1%         | 8.8%         | 8.30%                              |
| 5  | 401  | Masaya - Granada                      | 8.882  | 1.074         | 69            | 87.8%         | 12.1%        | 6.40%                              |
| 6  | 107  | Sébaco - Emp. San Isidro              | 7.877  | 1.797         | 463           | 77.0%         | 22.8%        | 25.8%                              |
| 7  | 300  | Sébaco - Quebrada Honda               | 6.270  | 1.459         | 200           | 76.5%         | 23.3%        | 13.70%                             |
| 8  | 2803 | Nagarote - La Paz Centro              | 6.058  | 2.227         | 1106          | 62.8%         | 36.8%        | 49.70%                             |
| 9  | 2404 | Chinandega - Corinto                  | 5.471  | 1.754         | 1.110         | 67.7%         | 32.1%        | 63.30%                             |
| 10 | 2400 | Chinandega (Rotonda) - Rancheria      | 4.019  | 686           | 166           | 81.1%         | 17.1%        | 24.20%                             |
| 11 | 700  | Emp. San Francisco -                  | 2.024  | 638           | 96            | 68.3%         | 31.5%        | 15.0%                              |

**Fuente:** Anuario de aforos de tráfico 2020. MTI pág.13 PDF

### Dependencia de estaciones

En base al vector geográfico de correspondencia se identificaron dos estaciones de corta duración **ECD** cercanas al tramo en estudio como la ECD **303 Llano de la Cruz - Empalme San Gabriel**, la ECD **304 Empalme San Gabriel - San Rafael del Norte** y la estación de conteo sumario **ECS 4101 Empalme San Gabriel - Sisle**, las cuales están bajo la dependencia de la estación de mayor cobertura **EMC 1802 San Marcos - Masatepe**.

**Tabla 27: Dependencia de estaciones Nic-41**

**Emp. San Gabriel - Sisle - Emp. Las Cruces**

| DEPENDENCIA DE ESTACIONES<br>2020         |        |             |      |                                            |
|-------------------------------------------|--------|-------------|------|--------------------------------------------|
| ESTACION DE MAYOR COBERTURA               | NIC    | Nº ESTACION | TIPO | NOMBRE DEL TRAMO                           |
| <b>1802<br/>San Marcos -<br/>Masatepe</b> | NIC-38 | 3802        | ECS  | Rio Grande - Achuapa                       |
|                                           | NIC-38 | 3802 A      | ECS  | Achuapa - San Juan de Limay                |
|                                           | NIC-38 | 3806        | ECS  | San Juan de Limay - Paso Hondo             |
|                                           | NIC-38 | 123         | ECS  | Paso Hondo - Pueblo Nuevo                  |
|                                           | NIC-38 | 3804        | ECD  | Pueblo Nuevo - Shell de Palacaguina        |
|                                           | NIC-39 | 3902        | ECS  | Granada (INTECNA) - Malacatoya             |
|                                           | NIC-39 | 3901        | ECS  | Malacatoya - El Papayal                    |
|                                           | NIC-40 | 4001        | ECS  | Emp. El Transito - El Transito - La Gloria |
|                                           | NIC-41 | 4101        | ECS  | Emp. San Gabriel - Sisle                   |
|                                           | NIC-41 | 4109        | ECS  | Sisle - La Porrita                         |
|                                           | NIC-41 | 4110        | ECS  | La Porrita - Emp. Las Cruces               |
|                                           | NIC-43 | 4301        | ECD  | Llano de la Cruz - Emp. Dantali            |

**Fuente:** Anuario de Aforos de Tráfico, MTI (Año 2020)

**Tabla 28: Estación de dependencia asociada al tráfico en estudio**



MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA

DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION

DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL

OFICINA DE DIAGNOSTICO, EVALUACION DE PAVIMENTOS Y PUENTES

TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL HISTORICO POR TIPO DE VEHICULO

AÑO 2020

| Nº   | CODIGO NIC | EST. | TIPO | NOMBRE DEL TRAMO         | Año                     | Motos | Autos | Jeep | Cmta. | MeBus <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 |   |     |  |  |
|------|------------|------|------|--------------------------|-------------------------|-------|-------|------|-------|----------------|----------------|-----|--------------|------------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|-----|-------|------|---|-----|--|--|
| 238  | NIC-41     | 4101 | ECD  | Emp. San Gabriel - Sisle | 2015                    | 148   | 8     | 1    | 157   | 29             | 1              | 2   | 16           | 33         | 7  |             |             |             | 1           | 2   | 1   | 1     | 407  |   |     |  |  |
|      |            |      |      |                          | 2011                    | 173   | 2     | 25   | 169   |                |                | 35  | 31           | 37         | 4  |             | 2           |             |             |     |     |       |      | 1 | 479 |  |  |
|      |            |      |      |                          | 2008                    | 69    | 4     | 14   | 76    |                |                | 35  | 11           | 38         | 2  |             |             |             |             |     |     | 1     |      | 2 | 252 |  |  |
|      |            |      |      |                          | 2002                    | 38    | 5     | 15   | 95    |                |                | 23  | 21           | 39         | 3  |             |             |             |             |     |     |       |      |   | 240 |  |  |
|      |            |      |      |                          | 2000                    | 15    |       | 16   | 90    |                | 2              | 29  | 9            | 33         | 5  |             |             |             |             |     |     |       |      | 3 | 202 |  |  |
|      |            |      |      |                          | 1997                    | 8     |       | 11   | 37    |                | 2              | 19  | 5            | 24         |    |             |             |             |             |     |     |       |      |   | 106 |  |  |
|      |            |      |      |                          | EMC:1802                |       |       |      |       |                |                |     |              |            |    |             |             |             |             |     |     |       |      |   |     |  |  |
|      |            |      |      |                          | Tasa Crecimiento: 6.74% |       |       |      |       |                |                |     |              |            |    |             |             |             |             |     |     |       |      |   |     |  |  |
| 2020 | 205        | 11   | 1    | 218                      | 40                      | 1     | 3     | 22   | 46    | 10             |                |     |              |            |    |             | 1           | 3           | 1           | 1   | 564 |       |      |   |     |  |  |

**Fuente:** Anuario de Aforos de Tráfico 2020. MTI pág. 197 PDF.

La estación escogida cuenta con un flujo vehicular es de 564, sobrepasa los 300 vehículos por día, esta se muestra en Tabla-11.

### Tráfico Promedio Diario Semanal (TPDS)

En vista que se efectuaron los conteos durante los 7 días de la semana, no se aplicará el factor Semana a la tipología vehicular, dado que el TPDS se obtiene

únicamente al calcular el promedio de los 7 días de conteos realizados. El factor Semana se aplica cuando se realizan conteos menores a los 7 días consecutivos.

### Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)

Una vez obtenido el TPDS se procede a aplicarle el factor expansión por tipo de vehículo para calcular el TPDA. El anuario de tráfico del MTI-2020 presenta factores para tres cuatrimestres del año, ya que, éstos se realizan en tres periodos enero-abril, mayo-agosto y septiembre-diciembre. El procedimiento para el cálculo del TPDA se basa en la aplicación de factores de expansión dados por el MTI. Donde cada tramo de carretera/camino se le asigna dependencia a una determinada **Estación de Mayor Cobertura (EMC)**, de la cual, se retoman dichos factores, dependiendo del cuatrimestre en que se ha efectuado los conteos vehiculares.

Los factores de ajuste utilizados en este estudio para el cálculo del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), comprenden los del tercer cuatrimestre del año (septiembre-diciembre) **EMC 1802 San Marcos – Masatepe**, ya que; los conteos de aforo vehicular realizado para la zona del tramo en estudio, se realizaron en el mes de diciembre 2024.

**Tabla 29: Factores 3er Trimestre del año, EMC 1802**

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

ESTACION DE MAYOR COBERTURA 1802  
SAN MARCOS - MASATEPE  
FACTORES - 2020

Factores del tercer cuatrimestre del año septiembre - Diciembre

| 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              | 1.44 | 1.41  | 1.21 | 1.28      | 1.34      | 1.29     | 1.32 | 1.23        | 1.25 | 1.07 | 1.00      | 1.22      | 1.00      | 1.00      | 1.00 | 1.00 | 1.00  |
| Factor Semana           | 0.99 | 1.12  | 1.11 | 1.03      | 0.97      | 0.99     | 0.98 | 0.92        | 0.86 | 0.89 | 1.00      | 0.85      | 1.00      | 1.00      | 1.00 | 1.00 | 0.96  |
| Factor Fin de Semana    | 1.03 | 0.79  | 0.80 | 0.94      | 1.10      | 1.01     | 1.05 | 1.30        | 1.73 | 1.45 | 1.00      | 1.78      | 1.00      | 1.00      | 1.00 | 1.00 | 1.10  |
| Factor Expansión a TPDA | 1.00 | 0.93  | 1.04 | 0.99      | 1.00      | 0.99     | 1.03 | 1.02        | 0.98 | 1.16 | 1.00      | 0.98      | 1.00      | 1.00      | 1.00 | 1.00 | 0.99  |

**Fuente:** Anuario de Tráfico 2020. MTI

### **Ecuación 3: Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)**

$$\text{TPDA} = \text{TPDi}_{12\text{hrs}} * \text{FD} * \text{FS} * \text{FE} \quad [\text{Ec. 3}]$$

**Donde:**

**TPDi<sub>12</sub>:** Tránsito Promedio Diurno de 12 horas.

**FD:** Factor Día.

**FS:** Factor Semana.

**FE:** Factor Expansión (Expansión a TPDA).

**Tabla 30: TPDA Total, 0+000 Emp. San Gabriel- Emp. Las Cruces**

|                  | BICIC. | VEHICULOS DE PASAJEROS |       |       |        |       |        |       | VEHICULOS DE CARGA |           |       |         | TOTAL |
|------------------|--------|------------------------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------------------|-----------|-------|---------|-------|
|                  |        | MOTO                   | AUTO  | JEEP  | CTA.   | MBUS  | MB>15P | BUS   | C2 LIV             | C2> 5 TON | C3    | TX SX 5 |       |
| TPDS 12 H        |        | 373                    | 25    | 26    | 232    | 2     | 1      | 31    | 13                 | 55        | 17    | 5       | 780   |
| FACTOR DÍA       |        | 1.44                   | 1.41  | 1.21  | 1.28   | 1.34  | 1.29   | 1.32  | 1.23               | 1.25      | 1.07  | 1.22    |       |
| FACTOR Expansion |        | 1.00                   | 0.93  | 1.04  | 0.99   | 1.05  | 1.00   | 1.03  | 1.02               | 0.98      | 1.16  | 1.36    |       |
| TPDA             |        | 537                    | 32    | 33    | 294    | 3     | 1      | 42    | 16                 | 67        | 22    | 9       | 1056  |
| %TPDA            |        | 50.87%                 | 3.05% | 3.10% | 27.87% | 0.27% | 0.14%  | 3.97% | 1.49%              | 6.35%     | 2.05% | 0.85%   | 100%  |
| %                |        | 89.26%                 |       |       |        |       |        |       | 10.74%             |           |       |         | 100%  |

**Fuente:** Elaboración propia.

Para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual se utilizó la ecuación 3. El cálculo para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) correspondiente al tramo de estudio resultó de: 1056 vpd (vehículos por día), la estación de conteo sumario **ECS 4101 Empalme San Gabriel – Sisle** para realizar la estimación de una tasa de crecimiento acorde al desarrollo económico del país y proyectar el TPDA calculado a un periodo de años.

### 3.1.11. Proyección de Tránsito

Se deben de tomar variables para poder conocer este en un futuro, tales variables son los registros históricos del tránsito promedio diario anual “TPDA” de la zona en estudio, siendo este la tasa de crecimiento vehicular a lo largo de los años, la tasa de crecimiento poblacional “POB” y el producto interno bruto “PIB”, analizando cuales tasas de crecimiento son ajustables a la zona.

### 3.1.12. Tasas de crecimiento

#### ***Ecuación 4: tasa de crecimiento***

$$TC = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100$$

Las tasas de crecimiento varían acorde a los indicadores que se toman en cuenta, por ende, las variables a considerar son la que se describen a continuación; el Producto Interno Bruto (PIB), considerado por ser un factor socioeconómico, el crecimiento poblacional, y los registros históricos de conteos vehiculares, cabe destacar, que se toman los valores de la **ECD 4101 Empalme San Gabriel - Sisle**, dicho registro histórico, se presenta en la versión del anuario estadístico del MTI (2020). (Ministerio de Transporte e Infraestructura 2020, 2020) Con los registros históricos publicados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) y el Banco Central de Nicaragua (BCN), se definen los valores de las variables a considerar para cada una de los años. (Ver Tabla xx, pág. xx).

**Tabla 31: Tasas de Crecimientos.**

| Años            | ECD 4101    | TC TPDA | PIB         | TC PIB | POB         | TC POB |
|-----------------|-------------|---------|-------------|--------|-------------|--------|
| 2000            | 202         |         |             |        |             |        |
| 2002            | 240         | 9.00    |             |        |             |        |
| 2006            |             |         | 118,837.71  |        | 5522.6      |        |
| 2007            |             |         | 124,870.33  | 5.08   | 5,595.5     | 1.32   |
| 2008            | 252         | 0.82    | 129,160.52  | 3.44   | 5,668.9     | 1.31   |
| 2009            |             |         | 124,907.70  | -3.29  | 5,742.3     | 1.29   |
| 2010            |             |         | 130,416.25  | 4.41   | 5,815.5     | 1.27   |
| 2011            | 479         | 23.87   | 138,654.24  | 6.32   | 5,966.6     | 2.60   |
| 2012            |             |         | 147,661.40  | 6.50   | 6,071.0     | 1.75   |
| 2013            |             |         | 154,936.82  | 4.93   | 6,134.3     | 1.04   |
| 2014            |             |         | 162,351.26  | 4.79   | 6,198.2     | 1.04   |
| 2015            | 407         | -3.99   | 170,131.57  | 4.79   | 6,262.7     | 1.04   |
| 2016            |             |         | 177,894.92  | 4.56   | 6,327.9     | 1.04   |
| 2017            |             |         | 186,133.60  | 4.63   | 6,393.8     | 1.04   |
| 2018            | 502         | 7.24    | 179,873.27  | -3.36  | 6,460.4     | 1.04   |
| 2019            |             |         | 174,662.57  | -2.90  | 6,527.7     | 1.04   |
| 2020            | 564         | 6.00    | 170,756.17  | -2.24  | 6,595.7     | 1.04   |
| 2021            |             |         | 188,607.69  | 10.45  | 6,664.4     | 1.04   |
| 2022            |             |         | 195,303.83  | 3.55   | 6,733.9     | 1.04   |
| <b>Promedio</b> | <b>5.76</b> |         | <b>3.04</b> |        | <b>1.26</b> |        |

### Tasa de Crecimiento Vehicular

Las tasas de crecimiento anual para las variables se definieron mediante correlaciones, resultando valores de 5.76% para el TPDA de la ECD 4101 Emp-San Gabriel-Sisle, para el PIB un valor de 3.04% y el crecimiento poblacional de 1.26%. Para la selección de la tasa de crecimiento vehicular, se realizó un promedio de las tasas que corresponde al PIB, crecimiento poblacional y TPDA que es el que rige a nuestro país, demostrando el cálculo a continuación:

#### **Ecuación 5: tasa de crecimiento vehicular**

$$TC = \frac{TC_{PIB} + TC_{POB} + TC_{TPDA}}{n}$$

$$TC = \frac{3.04+1.26+5.76}{3}$$

$$TC = 3,35\%$$

La tasa de crecimiento vehicular a implementar en el tramo en estudio, es de 3.35%.

### 3.1.13. Período de diseño

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

**Tabla 32: Periodo de diseño para pavimentos según AASHTO**

| Condición de carretera                              | Período de diseño (años) |
|-----------------------------------------------------|--------------------------|
| Alto volumen de tránsito Urbano                     | 30-50                    |
| Alto volumen de tránsito Rural                      | 20-50                    |
| Bajo volumen Pavimentado                            | 15-25                    |
| Bajo volumen de tráfico con superficie de agregado. | 10-20                    |

**Fuente:** (Diseño de pavimentos AASHTO-93, pág. 97)

Según AASHTO, el periodo de diseño para pavimentos con bajo volumen de tráfico con superficie de agregado se encuentra entre 10-20 años, proponiéndose un periodo de diseño de pavimento de 20 años.

### 3.1.14. Factor Distribución por Dirección (FD)

Este valor se puede deducir del estudio de tránsito (conteo), es la relación entre la cantidad de vehículos que viajan en una dirección y la cantidad de vehículos que viajan en la dirección opuesta, por lo general es 0.5, ya que; la cantidad de vehículos es la misma en ambos sentidos.

**Tabla 33: Factor de Distribución por Dirección (FD)**

| Número de carriles en ambas direcciones | FD %     |
|-----------------------------------------|----------|
| 2                                       | 50 (0.5) |
| 4                                       | 45       |
| 6 o más                                 | 40       |

**Fuente:** Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2002.

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

### 3.1.15. Factor distribución por 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 34: Factor de Distribución por Carril (Fc)**

| Número de carriles en una sola dirección | Fc'         |
|------------------------------------------|-------------|
| 1                                        | 1.00        |
| 2                                        | 0.80 - 1.00 |
| 3                                        | 0.60 - 0.80 |
| 4                                        | 0.50 - 0.75 |

**Fuente:** Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2002.

Se tomó el valor de **Fc' = 1.00** puesto que la vía posee un solo carril para un sentido direccional.

### 3.1.16. 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.

#### Ecuación 6: Factor de Crecimiento

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

**Donde:**

**FC=** Factor de crecimiento

**i:** Tasa de Crecimiento anual :3.35%

**n:** Periodo de Diseño: 20 años

365: Días del año.

$$FC = \frac{(1+0.0335)^{20}-1}{0.0335} * 365 = 10\ 164.44$$

$$FC= 10\ 164.44$$

### 3.1.17. Tráfico proyectado en el año n

Es el TPDA proyectado hacia el año n. Para calcularlo es necesario conocer el tránsito inicial, la tasa de crecimiento anual y el periodo de diseño. Siendo el tránsito inicial el del año 2020, la tasa de crecimiento de 3.35% = 0.0335 y el periodo de diseño de 20 años.

### Ecuación 7: Tráfico proyectado en el año n

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

### Tabla 35: Proyección del tránsito al año 2044

Este TPDA lo conforman Empalme San Gabriel y Empalme Las Cruces correspondiente al tramo de estudio donde resultó de: 1, 056 vpd

| TIPO DE VEHÍCULO                          |            | TRÁNSITO ACTUAL (2024) | TASA DE CRECIMIENTO | N  | TPDA PROYECTADO (2044) |
|-------------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|----|------------------------|
| VEHÍCULOS LIVIANOS                        | Motos      | 537                    | 0.0335              | 20 | 1038                   |
|                                           | Autos      | 32                     | 0.0335              | 20 | 62                     |
|                                           | Jeep       | 33                     | 0.0335              | 20 | 64                     |
|                                           | Camioneta  | 294                    | 0.0335              | 20 | 568                    |
| VEHÍCULOS DE PASAJEROS                    | Mbus       | 3                      | 0.0335              | 20 | 6                      |
|                                           | Mb> 15 P   | 1                      | 0.0335              | 20 | 2                      |
|                                           | Bus        | 42                     | 0.0335              | 20 | 81                     |
| VEHÍCULOS DE CARGA                        | C2 Liv     | 16                     | 0.0335              | 20 | 31                     |
|                                           | C2 > 5 ton | 67                     | 0.0335              | 20 | 130                    |
|                                           | C3         | 22                     | 0.0335              | 20 | 43                     |
|                                           | TxSx 5     | 6                      | 0.0335              | 20 | 12                     |
|                                           | VC         | 1                      | 0.0335              | 20 | 2                      |
|                                           | Otros      | 2                      | 0.0335              | 20 | 4                      |
| TOTAL DE DISEÑO EN UN PERÍODO DE 20 AÑOS: |            |                        |                     |    | 2041                   |

Fuente: Elaboración propia. Se obtuvo un TPDA proyectado de 2,041 VPD

### 3.1.18. Clasificación funcional del tramo

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

La clasificación funcional de la vía en estudio, se estableció a partir de volumen y composición del tránsito proyectado TPDA 2044 en el año horizonte. Se obtuvo un TPDA proyectado de 2, 041 VPD, por lo que este tramo clasifica como colecciona menor rural.

**Tabla 36: Clasificación funcional de carreteras**

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

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

### 3.1.19. Determinación del Tráfico de Diseño

El tránsito de Diseño (TD), teniendo el tránsito proyectado se determinó de la siguiente manera:

#### **Ecuación 8: Tránsito de diseño**

$$TD = TPDA_0 * FC * FD * fc$$

**Donde:**

**TPDA<sub>0</sub>:** Tránsito Promedio Diario Anual del año cero

**FC:** Factor Crecimiento

**FD:** Factor de dirección

**Fc:** Factor Carril

En base a los datos anteriormente definidos se realizó la determinación del Tránsito de Diseño (TD), para cada eje y tipo de vehículos aplicando la **Ecuación N°8**, tal como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 37: Tránsito de diseño para el año 2044**

| TIPO DE VEHÍCULO                                 |            | TPDA ACTUAL (2024) | F.C       | FACTOR POR CARRIL (Fc) | FACTOR DE DIRECCIÓN (Fs) | TPDA PROYECTADO (2044) |
|--------------------------------------------------|------------|--------------------|-----------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| VEHÍCULOS LIVIANOS                               | Motos      | 537                | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 2,729,152.14           |
|                                                  | Autos      | 32                 | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 162,631.04             |
|                                                  | Jeep       | 33                 | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 167,713.26             |
|                                                  | Camioneta  | 294                | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 1,494,172.68           |
| VEHÍCULOS DE PASAJEROS                           | Mbus       | 3                  | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 15,246.66              |
|                                                  | Mb> 15 P   | 1                  | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 5,082.22               |
|                                                  | Bus        | 42                 | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 213,453.24             |
| VEHÍCULOS DE CARGA                               | C2 Liv     | 16                 | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 81,315.52              |
|                                                  | C2 > 5 ton | 67                 | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 340,508.74             |
|                                                  | C3         | 22                 | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 111,808.84             |
|                                                  | TxSx 5     | 6                  | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 30,493.32              |
|                                                  | VC         | 1                  | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 5,082.22               |
|                                                  | Otros      | 2                  | 10 164.44 | 1.00                   | 0.50                     | 10,164.44              |
| <b>TOTAL DE DISEÑO EN UN PERÍODO DE 20 AÑOS:</b> |            |                    |           |                        |                          | <b>5,366,824</b>       |

**Fuente:** Elaborado por Sustentantes.

En este cuadro se muestra el tránsito para el carril de diseño, el cual corresponde a 5,366,824 Vehículos proyectados para el periodo de 20 años.

### 3.1.20. Cálculo del ESAL de diseño

El volumen de tránsito del carril de diseño se convierte a un determinado número de ESAL (por sus siglas en inglés es Equivalent Single Axle Load o Cargas Equivalentes por Eje Simple).

Siendo el parámetro usado en el diseño de la estructura del pavimento. El ESA es un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos.

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

### **3.1.21. Índice de Serviciabilidad inicial (Po)**

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

En el Diseño de la Estructura de Pavimento flexible del tramo de carretera San Gabriel – Las Cruces, se trabajó con un valor de **Po=4.2**.

### **3.1.22. Índice de Serviciabilidad final (Pt)**

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

Por las características de la vía en estudio la final (Pt) es de 2.50 según el manual SIECA Capítulo 3 Pág. 4. **Pt=2.5**.

### **3.1.23. Pérdida de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI)**

Es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. Entre mayor sea el  $\Delta$ PSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, calculado con la siguiente Ecuación:

#### **Ecuación 9: Pérdida de Serviciabilidad**

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$$

**Donde:**

**Po**=Índice de Serviciabilidad inicial

**Pt**= Índice de Serviciabilidad final

Para el tramo San Gabriel – Las Cruces se trabajó con un valor de:

$$\Delta\text{PSI} = 4.2 - 2.5$$

$$\Delta\text{PSI} = 1.7$$

### 3.1.24. Número Estructural Asumido

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

### 3.1.25. Factor de Equivalencia (FESAL)

Se obtiene las tablas de la AASHTO– 93 apéndice D, para ejes sencillos y dobles respectivamente. Conociendo la serviciabilidad final ( $P_t=2.5$ ) y un número estructural recomendado (SN=5) para pavimento articulado, los pesos de las tablas están dados en kips en números enteros. Sin embargo, la mayoría de los factores para este estudio no son valores enteros, por lo cual se tuvieron que interpolar.

Con el objeto de evaluar el efecto dañino, en un pavimento flexible, de las cargas diferentes a un eje estándar, se han considerado factores de equivalencia de carga por eje, F. ESAL.

Estos valores se obtuvieron a partir de los resultados experimentales de la AASHTO Road Test. Los valores de F. ESAL utilizados para el cálculo del ESAL de diseño se encuentran en la guía AASHTO 93.

El siguiente cuadro detalla los pesos en Kips para cada eje por tipo de vehículo para la determinación del diseño del ESAL; el cual se subdividen en tres categorías: Simple, Tándem y Tridem.

- ✓ **Ejes simples:** Vehículos de un solo eje.
- ✓ **Ejes Tándem:** Vehículos de dos ejes.
- ✓ **Ejes Tridem:** Vehículos de tres ejes.

**Tabla 38: Factores de ejes Kips a interpolar**

| Tipo de vehículos | Peso X eje(Ton.met) | Peso X eje (Kips) | Tipo de eje |
|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|
| Autos             | 1                   | 2.2               | Simple      |
|                   | 1                   | 2.2               | Simple      |
| Jeep              | 1                   | 2.2               | Simple      |
|                   | 1                   | 2.2               | Simple      |
| Camionetas        | 1                   | 2.2               | Simple      |
|                   | 2                   | 4.4               | Simple      |
| McBus<15 pas      | 2                   | 4.4               | Simple      |
|                   | 4                   | 8.8               | Simple      |
| MnBus > 15 pas    | 4                   | 8.8               | Simple      |
|                   | 8                   | 17.6              | Simple      |
| Bus               | 5                   | 11                | Simple      |
|                   | 10                  | 22                | Simple      |
| C2 Liv            | 4                   | 8.8               | Simple      |
|                   | 8                   | 17.6              | Simple      |
| C2 5 +ton         | 5                   | 11                | Simple      |
|                   | 10                  | 22                | Simple      |
| C3                | 5                   | 11                | Simple      |
|                   | 16.5                | 36.3              | Doble       |
| T3-S2             | 5                   | 11                | Simple      |
|                   | 16                  | 35.2              | Doble       |
|                   | 16                  | 35.2              | Doble       |
| V.C.              | 4.5                 | 9.9               | simple      |
|                   | 6.5                 | 14.3              | simple      |

Fuente: Elaborado por sustentantes. (Ver ANEXOS 2 y 3, Capítulo IV. Pág. XX)

### 3.1.26. Ejes equivalentes ESAL o W18

En el Método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El transito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos del cálculo, se los transforma un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 KN o 18 Kips, los cuales se les denomina “equivalent simple axial load” o ESAL. Se calcula utilizando la ecuación:

### Ecuación 10: Cálculo de ESAL O W18

$$\text{ESAL o W18} = \text{TD} * \text{FESAL} \quad [\text{Ecuación 10}]$$

**Donde:**

**TD:** Transito de Diseño.

**FESAL:** Factor de Equivalencia de carga por eje.

Ya conocido los valores del Tránsito de Diseño (TD) por tipo de vehículo. En donde el TPDA para motos no se tomó en cuenta en el cálculo del tránsito de Diseño, ya que se considera que el daño causado por este tipo de vehículo es imperceptible.

El cálculo de los ejes equivalentes a 18 KIPS para cada clasificación de vehículos se estimó en base al tránsito de diseño y los factores ESAL para cada eje, este último se determinó utilizando los factores equivalentes de carga, considerando una serviciabilidad final de  $pt=2.5$  y un  $SN=5$ , para lo cual se debió conocer los pesos de cada eje en toneladas y luego pasarlo a Kips fue necesario utilizar la tabla de diagramas de carga permisibles para la conversión. **(Ver ANEXO 4 y 5, Capítulo IV. Pág. XXIV y XXV)**

Los valores de los factores de Equivalencia (FESAL), los cuales se tuvieron que interpolar 7 valores de FESAL para ejes Simples (2.2, 4.4, 8.8, 9.9, 11, 14.30 17.60), y un 2 valor de FESAL para ejes Dobles (35.20 ,36.30). Solo el peso de 22 Kips no se interpolo ya que el FESAL (2.35), si se muestra en el cuadro AASHTO– 93 apéndice D, para ejes Sencillos. **(Ver ANEXO 6, Capítulo IV. Pág. XXVI)**. El cálculo del ESAL o W18 se muestra a continuación:

Para el tramo San Gabiel – Las Cruces, se obtuvo un **ESAL'S 2.034E +06 o 21034,910** repeticiones equivalentes a 18 Kips o 18, 000 lbs para el carril de diseño, en un periodo de 20 años. Trabajando con **Po=4.2, Pt=2.5, ΔPsi=1.7 y SN=5**. Las motos no se tomaron en cuenta por no ejercer una carga considerable al pavimento.

**Tabla 39: Cálculo ESAL'S del Carril de Diseño**

| Tipo de vehículos                                                                                  | Peso X eje(Ton.met) | Peso X eje (Kips) | Tipo de eje | TPDA 2024  | TD               | Factor ESAL | ESAL de diseño   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------|------------|------------------|-------------|------------------|
| Autos                                                                                              | 1                   | 2.2               | Simple      | 32         | 162,631.04       | 0.00038     | 62               |
|                                                                                                    | 1                   | 2.2               | Simple      |            |                  | 0.00038     | 62               |
| Jeep                                                                                               | 1                   | 2.2               | Simple      | 33         | 167,713.26       | 0.00038     | 64               |
|                                                                                                    | 1                   | 2.2               | Simple      |            |                  | 0.00038     | 64               |
| Camionetas                                                                                         | 1                   | 2.2               | Simple      | 294        | 1,494,172.68     | 0.00038     | 568              |
|                                                                                                    | 2                   | 4.4               | Simple      |            |                  | 0.0036      | 5,379            |
| McBus<15 pas                                                                                       | 2                   | 4.4               | Simple      | 3          | 15,246.66        | 0.0036      | 55               |
|                                                                                                    | 4                   | 8.8               | Simple      |            |                  | 0.0556      | 848              |
| MnBus > 15 pas                                                                                     | 4                   | 8.8               | Simple      | 1          | 5,082.22         | 0.0556      | 283              |
|                                                                                                    | 8                   | 17.6              | Simple      |            |                  | 0.9246      | 4,699            |
| Bus                                                                                                | 5                   | 11                | Simple      | 42         | 213,453.24       | 0.1385      | 29,563           |
|                                                                                                    | 10                  | 22                | Simple      |            |                  | 2.18        | 465,328          |
| C2 Liv                                                                                             | 4                   | 8.8               | Simple      | 16         | 81,315.52        | 0.0556      | 4,521            |
|                                                                                                    | 8                   | 17.6              | Simple      |            |                  | 0.9246      | 75,184           |
| C2 5 +ton                                                                                          | 5                   | 11                | Simple      | 67         | 340,508.74       | 0.1385      | 47,160           |
|                                                                                                    | 10                  | 22                | Simple      |            |                  | 2.18        | 742,309          |
| C3                                                                                                 | 5                   | 11                | Simple      | 22         | 111,808.84       | 0.1385      | 15,486           |
|                                                                                                    | 16.5                | 36.3              | Doble       |            |                  | 1.428       | 159,663          |
| T3-S2                                                                                              | 5                   | 11                | Simple      | 6          | 30,493.32        | 0.1385      | 4,223            |
|                                                                                                    | 16                  | 35.2              | Doble       |            |                  | 1.264       | 38,544           |
|                                                                                                    | 16                  | 35.2              | Doble       |            |                  | 1.264       | 38,544           |
| V.C.                                                                                               | 4.5                 | 9.9               | simple      | 3          | 15,246.66        | 0.0853      | 1,301            |
|                                                                                                    | 6.5                 | 14.3              | simple      |            |                  | 0.39945     | 6,090            |
| <b>TOTAL</b>                                                                                       |                     |                   |             | <b>519</b> | <b>DE 1, 056</b> |             | <b>2,034,810</b> |
| <b>Nota:</b> Las motos no se tomaron en cuenta por no ejercer una carga considerable al pavimento. |                     |                   |             |            |                  |             |                  |

**Fuente:** Elaborado por Sustentantes.

## 3.2. Diseño de pavimento

### 3.2.1. Metodología de diseño AASHTO 93

El método de la AASHTO, versión 1993, describe con detalle los procedimientos para el diseño de la sección estructural de los pavimentos flexibles de acuerdo con la siguiente formula.

#### **Ecuación 11: Método AASHTO 93**

$$\log_{10} W_{t18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

**Donde:**

**W<sub>t18</sub>:** Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 KN acumuladas en el período de diseño (**n**).

**Z<sub>R</sub>:** Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (**R**) o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

**S<sub>o</sub>:** Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida deservicio.

**ΔPSI:** Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la plenitud (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su construcción (Serviciabilidad Inicial (**po**)) y su plenitud al final del periodo de diseño Serviciabilidad Final (**pt**)).

**MR:** Módulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y sub-bases granulares, obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).

**SN:** Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

### 3.2.2. Factores Equivalente de Carga (FEi)

Una carga estándar para diseño de pavimentos flexibles de carreteras y calles es el eje de 8.2 Ton. (18,000 LBS). El efecto de cargas diferentes a esta se tiene en cuenta para el diseño aplicado los llamados Factores de Equivalencia de Carga por Ejes, los cuales se obtienen en base a los resultados de AASHTO Road Test. Existen para el pavimento flexible diferentes factores equivalentes (FEi) para distintos tipos de cargas por eje, y distintos índices de serviciabilidad, para este caso un índice de serviciabilidad final de  $P_t = 2.5$ .

### 3.2.3. Peso por Ejes Simples Equivalentes

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también “eje estándar”, el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 libras) y se presentará en el carril de diseño. Se considera que el “eje estándar” tiene un factor de daño  $F=1$ . En el tramo en estudio, el ESAL de diseño es 21 034,910.

### 3.2.4. Confiabilidad (R)

Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad **R** del **85%**, que corresponde a un valor recomendado para el tipo de vía, como Colectora en Zona Rural la cual se muestra a continuación.

**Tabla 40: Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera**

| Tipo de camino                      | Confiabilidad recomendada |                |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------|
|                                     | Zona urbana               | Zona rural     |
| Rurales interestatales y autopistas | 85 – 99.9                 | 80 – 99.9      |
| Arteriales                          | 80 – 99                   | 75 – 99        |
| <b>Colectoras</b>                   | 80 – 95                   | <b>75 – 95</b> |
| Locales                             | 50 – 80                   | 50 – 80        |

**Fuente:** Diseño de pavimentos AASHTO 93. Tercera edición. Página 137.

Una vez seleccionado el valor de confiabilidad (**R = de 85%**), se busca el valor de desviación normal estándar (ZR) en dependencia de la Confiabilidad, el valor escogido se muestra a continuación en la siguiente Tabla:

**Tabla 41: Valores de (Zr) en función de la confiabilidad (R)**

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

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

### **3.2.5. Desviación estándar ( $S_o$ )**

La desviación estándar ( $S_o$ ), es un factor que representa la cantidad de datos dispersos dentro de los cuales pasa la curva real del comportamiento de la estructura.

La desviación estándar considera la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros involucrados en el diseño, como la predicción del tránsito y el comportamiento del pavimento.

Es un valor representativo de las condiciones locales particulares, este parámetro está ligado directamente y depende del nivel de confiabilidad (R) seleccionado; en este paso deberá seleccionarse un valor  $S_o$ . “Desviación Estándar Global”, representativo de condiciones locales particulares, que considera posibles variaciones en el comportamiento del pavimento y en la predicción del tránsito.

**Tabla 42: Desviación estándar para pavimentos rígidos y flexibles**

| Condiciones de diseño                                                                   | Desviación estándar            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito. | 0.35 pavimento Rígido          |
|                                                                                         | <b>0.45 Pavimento Flexible</b> |
| Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito. | 0.40 Pavimento Rígido          |
|                                                                                         | 0.50 Pavimento Flexible        |

**Fuente:** Diseños para pavimentos. AASHTO 93. Tercera edición. Página 135.

### 3.2.6. Serviciabilidad

Se define como la manera en que un pavimento cumple su función de ser cómoda, fácil, rápida y segura para la circulación de los vehículos. El índice de serviciabilidad varía de 5 (Excelente) a 0 (Pésimo).

El método AASHTO 93 predice el porcentaje de pérdidas de serviciabilidad ( $\Delta$  PSI), para varios niveles de tránsito y cargas de ejes, entre mayor sea la pérdida de serviciabilidad ( $\Delta$  PSI), mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar. Los valores recomendados por la AASHTO y por experiencia son:

✓ **Serviciabilidad Inicial:**

**Po** = 4.5 para pavimentos rígidos.

**Po** = 4.2 para pavimentos flexibles.

✓ **Serviciabilidad Final:**

**Pt** = 2.5 ó más para caminos principales.

**Pt** = 2.0 para caminos de tránsito menor.

Para el presente diseño se utilizó: **Serviciabilidad Inicial**  $P_o = 4.2$  y  $P_t = 2.5$

Por tanto, el valor de la pérdida de la Serviciosabilidad sustituyendo es:

$$\Delta \text{ PSI} = 4.2 - 2.5$$

$$\Delta \text{ PSI} = 1.7$$

### 3.2.7. Característica de los materiales que conforman el pavimento

### 3.2.8. Módulo de Resiliencia (MR)

El CBR de diseño de este tramo es de **4.2%**. Este se obtuvo con un percentil de 87.5%. Se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR, la guía de diseño de la AASHTO establece las siguientes correlaciones para encontrar el Módulo Resiliente de la subrasante.

**Tabla 43: Correlación entre CBR y MR para subrasante.**

| Valor de CBR        | Consideración           |
|---------------------|-------------------------|
| <b>CBR &lt; 10%</b> | <b>Mr= 1500 * CBR</b>   |
| <b>CBR &gt; 10%</b> | Mr= 4326* Ln(CBR) + 241 |

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

Se utiliza la segunda ecuación sabiendo que nuestro CBR de la subrasante calculado fue de **4.2 %**

**Tabla 44: Calculo de Módulo Resiliente (MR) de la Subrasante**

| Aplicando Ecuación    |              |                 |
|-----------------------|--------------|-----------------|
| <b>Mr= 1500 * CBR</b> | Mr= 1500 * 4 | Mr = 6, 300 psi |

**Fuente:** Elaborado por Sustentantes.

### 3.2.9. Coeficiente de Drenaje (mi)

El Método AASHTO '93 para el diseño de pavimentos flexibles proporciona un sistema para ajustar los coeficientes estructurales en forma tal que tomen en consideración de los niveles de drenaje sobre el comportamiento del futuro pavimento. Los niveles de drenaje que han sido definidos en este método son:

**Tabla 45: Capacidad del Drenaje para remover la Humedad**

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

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

**Tabla 46: Niveles de humedad cercanos a la saturación**

| Calidad del drenaje | P= % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación. |             |             |             |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                     | < 1%                                                                                          | 1% - 5%     | 5% - 25%    | > 25%       |
| <b>Excelente</b>    | 1.40 - 1.35                                                                                   | 1.35 - 1.30 | 1.30 - 1.20 | 1.20        |
| <b>Bueno</b>        | 1.35 - 1.25                                                                                   | 1.25 - 1.15 | 1.15 - 1.00 | <b>1.00</b> |
| <b>Regular</b>      | 1.25 - 1.15                                                                                   | 1.15 - 1.05 | 1.00 - 0.80 | 0.80        |
| <b>Pobre</b>        | 1.15 - 1.05                                                                                   | 1.05 - 0.80 | 0.80 - 0.60 | 0.60        |
| <b>Muy Pobre</b>    | 1.05 - 0.95                                                                                   | 0.95 - 0.75 | 0.75 - 0.40 | 0.40        |

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

### 3.2.10. Coeficientes estructurales de capas (ai)

Los Coeficientes Estructurales de capa son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos, lo que permite convertir los espesores reales a números estructurales (SN), siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

Mediante el uso de las figuras de la guía AASHTO que se presentan en el Anexo C (Figuras), se determina el coeficiente estructural de cada capa del pavimento, según el método de diseño.

Se presentan 3 categorías de estos coeficientes de acuerdo con el tipo y función de la capa considerada; carpeta de rodamiento ( $a_1$ ), base( $a_2$ ) y subbase( $a_3$ ).

### 3.2.11. Carpeta de rodamiento ( $a_1$ )

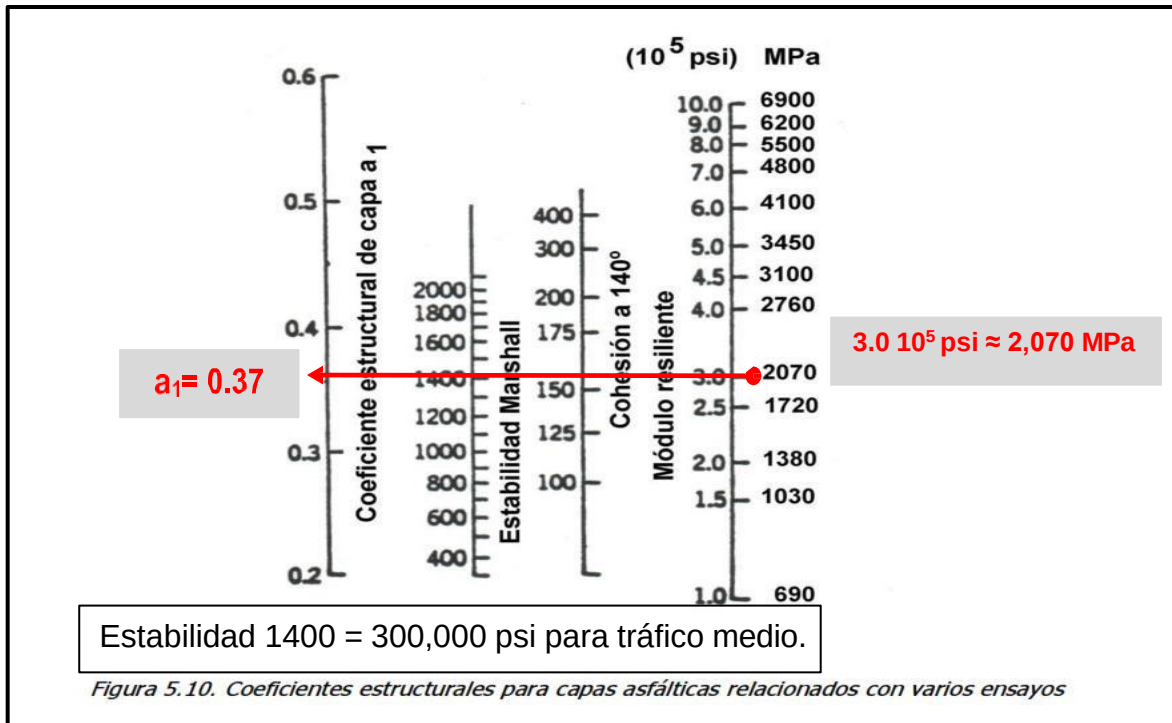
El valor del coeficiente estructural de la superficie de rodamiento se definió utilizando la estabilidad Marshall conociendo que el volumen de tráfico que transita en el tramo en estudio corresponde en mayor porcentaje a vehículos livianos seguido de vehículos pesados definiéndolo como un tráfico medio, se consideró una Estabilidad mezcla (N) de 1400 lb /cm<sup>2</sup>, se obtuvo un coeficiente estructural de capa ( $a_1$ )= **0.37**, con un módulo resiliente de 300,000 psi a 20°C/68°F.

**Tabla 47: Estabilidad del método Marshall**

| Método Marshall                                                                          | Tráfico ligero |       | Tráfico medio  |      | Tráfico pesado |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|----------------|------|----------------|-------|
|                                                                                          | Carpeta y base |       | carpeta y base |      | carpeta y base |       |
| Criterio de mezcla                                                                       | Mín            | Máx   | Mín            | Máx  | Mín            | Máx   |
| Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes                            | 35             |       | 50             |      | 75             |       |
| Estabilidad, (N)                                                                         | 3336           |       | 5338           |      | 8006           |       |
| (lb)  | 750            | ----- | 1200           | 1400 | 1800           | ----- |
| Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)                                                               | 8              | 18    | 8              | 16   | 8              | 14    |
| Porcentaje de vacíos                                                                     | 3              | 5     | 3              | 5    | 3              | 5     |
| Porcentaje de vacíos en los agregados minerales                                          | Ver Tabla 2.2  |       |                |      |                |       |
| Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto                                                 | 70             | 80    | 65             | 78   | 65             | 75    |

**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

**Figura 11: Abaco para coeficiente estructural de capa asfáltica**

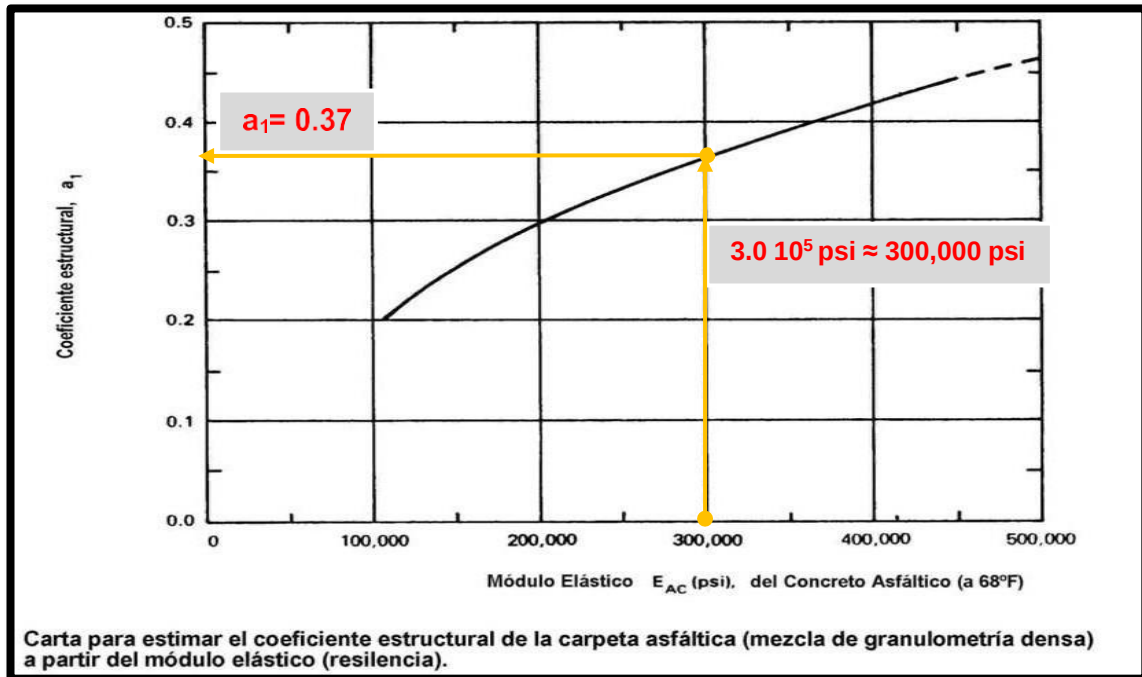


**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

En este estudio se consideró una estabilidad de **1400 lb/ cm<sup>2</sup>** equivalente a 2070 Mpa, obteniendo un coeficiente de capa de  **$a_1 = 0.37$**  y un módulo elástico del concreto asfáltico de 300,000 psi.

En el gráfico se dispuso a comprobar el valor de  **$a_1$**  conociendo el módulo elástico del concreto asfáltico 300,000 psi.

**Figura 12: Coeficiente estructural de la carpeta de Asfáltica (a<sub>1</sub>)**



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

### 3.2.12. Base Granular estabilizada con cemento Portland (a<sub>2</sub>)

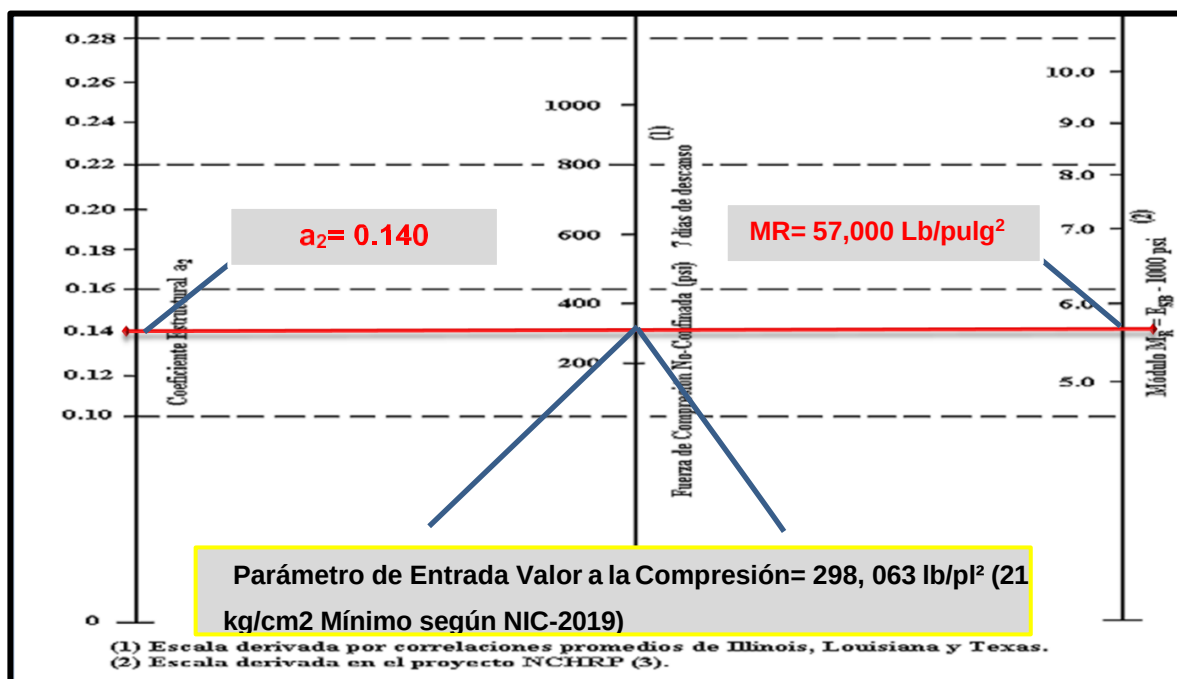
Es importante destacar que, tomando como parámetro de entrada el valor del CBR de la base del Banco No. 1 (Clavo González), de 82.12%, sin embargo, posee un IP de 5% incumpliendo con la requerido por la NIC-2019. Debido a ello, se recomienda un estudio de estabilización con cemento que cumpla con el mínimo de 21 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión, establecido por la Normativa.

Cabe destacar que, con dicha propuesta se busca la reducción del IP, ya que; una base con IP 0% asegura la estabilidad del pavimento, su durabilidad y resistencia al deterioro por agua y la sobrecarga de tránsito.

El valor del coeficiente estructural de capa de base estabilizada con cemento (a<sub>2</sub>) se determina con el uso del nomograma de la guía AASHTO, con un valor de resistencia a la compresión de 298.063 lb/pulg<sup>2</sup> (de base estabilización con cemento que cumpla con el mínimo de 21 kg/cm<sup>2</sup>).

En base a este valor, se estima el valor ( $a_2$ ), se traza una línea horizontal hasta interceptar en la línea vertical derecha e izquierda el valor de coeficiente estructural  $a_2 = 0.140$  y un Módulo de Resiliencia  $MR = 57,000$  psi.

**Figura 13: Coeficiente estructural  $a_2$  y Mr, para base estabilizada.**



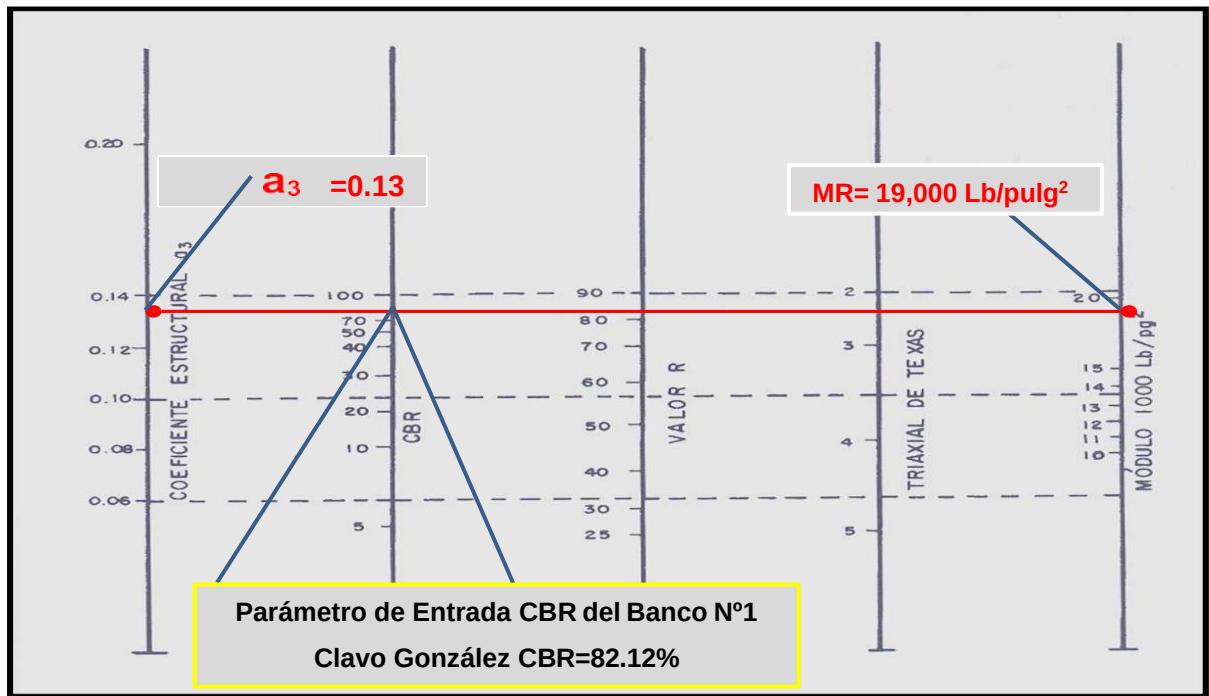
Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

### 3.2.13. Subbase granular no tratada ( $a_3$ )

El valor del coeficiente estructural de capa de subbase granular no tratada ( $a_3$ ) se determina con el nomograma de la guía AASHTO. Tomando como parámetro de entrada el valor CBR **82.12%** de subbase; del **Banco No. 1 (Clavo González)**, luego se traza una línea horizontal hasta interceptar en la línea vertical derecha e izquierda con el valor de  $a_3 = 0.13$  y un  $MR = 19,000$ .

Para Subbase también cumplía el **Banco N°2 (Chico González)**, pero este no fue tomado en cuenta, ya que, se encuentra fuera del tramo en estudio.

**Figura 14: Coeficiente estructural  $a_3$  y  $M_r$ , para Sub-Base Granular**



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993

### 3.2.14. Números estructurales

También conocido como valor de soporte de suelo, es un número asignado para poder representar la capacidad de soporte de un pavimento. Este número indica la cantidad de espesores o capas que requiere un pavimento para soportar las cargas a las que será sometido durante su vida útil.

Para cada capa se consideran coeficientes relativos que dependen del material que las conforman, por lo tanto, podemos decir que el pavimento tendrá mayor capacidad de soporte mientras mayor sea el número estructural y viceversa.

El número estructural (SN) se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 12: Números estructurales (SN)**

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \quad [EC.12]$$

**Dónde:**  $D_1, 2, 3$ = espesores de capas asfálticas, base y subbase respectivamente en (in).

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

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

#### **Cálculo de los números estructurales ( $SN_1, SN_2, SN_3$ )**

El valor del número estructural de capa de granular se determina con el uso del nomograma de la guía AASTHO. Tomando como parámetro de entrada los valores anteriormente escogidos como lo son la Confiabilidad ( **$R=85\%$** ), Desviación Entandar ( **$So=0.45$** ), el ESAL de Diseño de **21034,910**, Módulos de Resiliencia de Cada Capa ( **$M_{BEC}=57000$  PSI,  $M_{SBG}=19,000$  PSI,  $M_{SR}=6,300$  psi) y la Pérdida de Serviciabilidad ( **$\Delta PSI=1.7$** ).**

Para conocer los valores correspondientes a los números estructurales ( $SN_1, SN_2, SN_3$ ) se utiliza el módulo resiliente de la capa inmediatamente por debajo, es decir para conocer el número estructural  $SN_1$ , es necesario utilizar el módulo resiliente de la capa base en este caso tiene un valor de 57,0000 psi.

Al utilizar los módulos resilientes de las capas inmediatas se garantiza proteger las capas de la estructura de pavimento.

El cálculo del número estructural  $SN_1$ , utilizando el valor MR de la base resulta de  **$SN_1=1.71$**  para proteger la base:

**Figura 15: Resultado número estructural  $SN_1$**

Solución:  $SN = 5.0$

Fig. IV.2. Ábaco de diseño AASHTO para pavimentos flexibles.

Sin embargo, en Ingeniería Elemental te presentamos una forma mucho mas rápida (y moderna) de hacerlo.

|                                      |                                         |
|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| So                                   | $\Delta PSI$ :                          |
| <input type="text" value="0.45"/>    | <input type="text" value="1.7"/>        |
| Confiabilidad:                       | Mr (lb/pulg <sup>2</sup> ):             |
| <input type="text" value="85%"/>     | <input type="text" value="57000"/>      |
| Zr:                                  | Calcular                                |
| <input type="text" value="-1.037"/>  | <input type="button" value="Calcular"/> |
| W18:                                 | SN:                                     |
| <input type="text" value="2034910"/> | <input type="text" value="1.71"/>       |

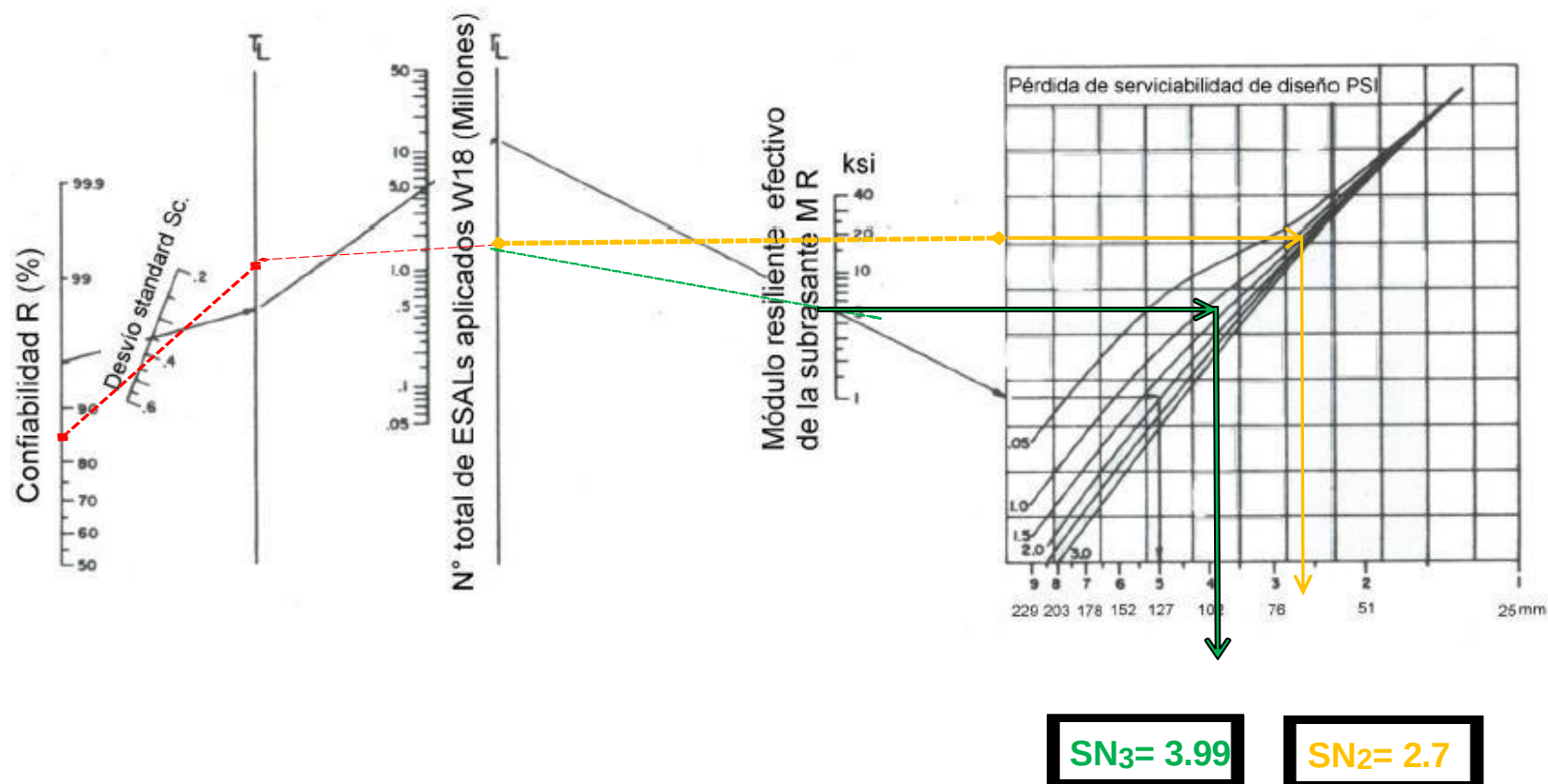
**Fuente:** <https://www.ingenieriaelemental.com/posts/es/numero-estructural-sn>

Para el cálculo de  $SN_2$  y  $SN_3$  ( $SN_{requerido}$ ), se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993), obteniendo un  $SN_2$  de **2.6 para proteger la subbase** y un  $SN_3$  de **3.9** para proteger la subrasante.

**Figura 16: Obtención del Número estructural SN2 y SN3**

**Valores de entrada:** Confiabilidad :85%, Desviación estándar: 0.45, ESAL's o  $W_{18}=2,034,910$ ,  $M_{r\text{Subrasante}}=6,300$  psi,

$M_{r\text{Subbase}}=19\ 000$  psi. **Valores obtenidos:**  $SN_3= 3.99$ ,  $SN_2= 2.7$ .



**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

### 3.2.15. Cálculo de espesores

Determinar el espesor del pavimento ( $D_1$ ), usando la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 13: Número estructural 1 (SN1)**

$$SN_1 = a_1 * D_1$$

Se conoce el coeficiente  $a_1=0.37$  y  $SN_1= 1.71$ , se despeja  $D_1$ .

$$D_1 = SN_1/a_1$$

$$D_1 = 1.71/0.37 = 4.62 \cong (5\text{in})$$

El espesor de **5.0** pulgadas cumple con el espesor mínimo teniendo en cuenta que es conocido el valor de  $SN_1$ , entonces el valor del espesor la base se obtiene de la siguiente manera:

Se corrige el número estructural  $SN_1$  utilizando el valor  $D_1$  calculado:

$$SN_1 = 0.37 * 5 = 1.85$$

#### **Determinar el espesor de la Base ( $D_2$ ):**

$$D_2 = (SN_2 - SN_1) / (a_2 * m_2)$$

$$D_2 = (2.7 - 1.85) / (0.14 * 1) = 6.07 \cong (6.5 \text{ IN})$$

El espesor de **6.50** pulgadas cumple con el espesor mínimo, teniendo en cuenta que es conocido el valor de  $SN_1$ , entonces el valor del espesor la base se obtiene de la siguiente manera:

Se corrige el número estructural  $SN_2$ :

#### **Ecuación 14: Número estructural 2 (SN2)**

$$SN_2: a_2 * D_2 * m_2 + SN_1$$

$$SN_2: 0.14 * 6.5 * 1 + 1.85 = 2.76$$

$$SN \text{ contb}_1 = 6.5 \text{ in} \times 0.14 = 0.91$$

**Determinar el espesor para la Sub-base (D3):**

$$D3 = SN_3 - (SN_1 + SN_{cont\ b1}) / (a_3 * m_3)$$

$$D3 = 3.99 - (1.85 + 0.91) / (0.13 * 1)$$

$$D3 = 9.46 \cong (10 \text{ IN})$$

Se corrige el número estructural  $SN_3$

**Ecuación 15: Número estructural 3 (SN3)**

$$SN_3 = a_3 * D_3 * m_3$$

$$SN_3 = a_3 * D_3 * m_3 = 1.3$$

**Ecuación 16 Calculo de Números estructurales (SN)**

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

$$SN = 0.37 * 5 + 0.14 * 6.5 * 1 + 0.13 * 10 * 1$$

$$SN = 4.06 \geq 3.99 (SN_{\text{Requerido}}) \quad \text{"O. k Cumple"}$$

**Tabla 48: Espesores sugeridos por capa**

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

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

**3.2.16. Espesores finales de Diseño**

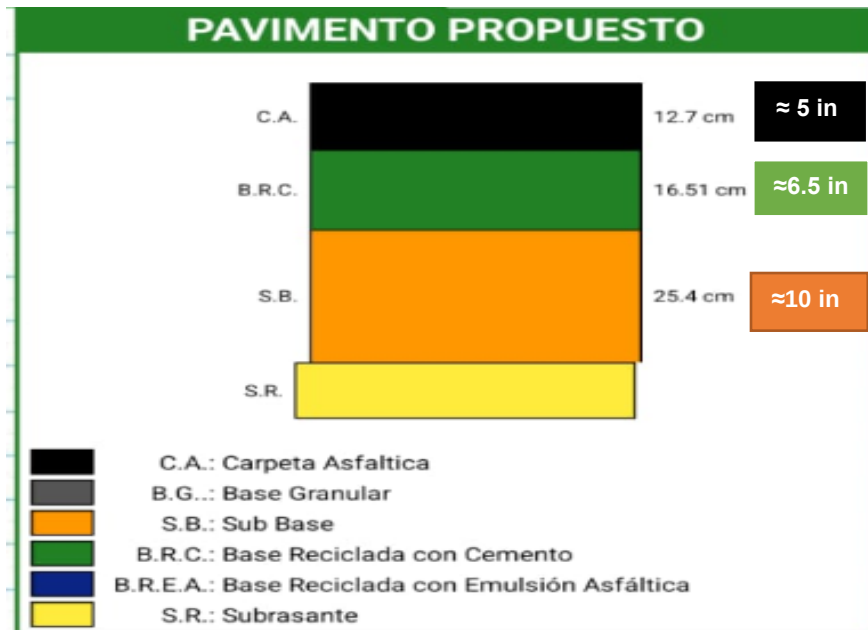
En base al análisis y resultados obtenidos, la carpeta de rodamiento será de **5 in** de Concreto Asfaltico, la Base será de **6.5 in**, y subbase **10 in**; por ende, la estructura

total, es de **21.5 in** equivalentes a **54.61 centímetros**.

**Tabla 49: Espesores de diseño.**

| Capa                                                       | Espesor     |              |
|------------------------------------------------------------|-------------|--------------|
|                                                            | Pulgadas    | Centímetros  |
| Capa de rodamiento <b>(Asfalto)</b>                        | 5           | 12.7         |
| Base estabilizada, material <b>Banco 1. Clavo González</b> | 6.5         | 16.51        |
| Subbase granular <b>Banco 1. Clavo González</b>            | 10          | 25.4         |
| <b>Espesor Total Requerido</b>                             | <b>21.5</b> | <b>54.61</b> |

**Figura 17: Estructura final de pavimento flexible**



**Fuente:** Elaborado por Sustentantes

### **3.3. Diseño Geométrico**

#### **3.3.1. Metodología**

Consiste en situar el trazado de una carretera o calle en el terreno. Los condicionantes para situar una carretera sobre la superficie son muchos: la topografía del terreno, la geología, el medio ambiente, la hidrología o factores sociales y urbanísticos.

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

#### **3.3.2. Parámetros Geométricos**

Los parámetros técnicos que definirán las especificaciones técnicas del proyecto en estudio, son en base a lo establecido en los Manuales para Diseño Geométrico Vial de la AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY TRANSPORTATIONS OFFICIALS (AASHTO Edición 1994 y 2004) y el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, 3ra” de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, (SIECA- Edición 2004 y 2011).

#### **3.3.3. Clasificación funcional**

Según el “Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales – SIECA - 2004”, admite cinco tipos de carreteras, las que a su vez se subdividen en rurales y suburbanas. Los límites de cada una de estas cinco tipologías, el Manual los fija de acuerdo, además de los volúmenes de tránsito que soporta, también en ciertos criterios basados en la función jerárquica que ocupa el tramo de la carretera dentro de la red vial. Se transcriben los conceptos más relevantes de las dos tipologías posibles de encuadrar el tramo:

**Colectora Rural:** La velocidad en esta vía es moderada, comparada con las arterias de tránsito mayor. El camino corresponde a la Red vial Básica, tiene Clasificación funcional de Colectora Menor Rural (CMR).

### 3.3.4. Estructura de carpeta de rodamiento

La superficie del camino actual del subtramo Empalme San Gabriel – Empalme Las Cruces, no posee estructura de pavimento está formada por material gravo arenoso. La Topografía existente es bastante variable de plano, ondulado y montañoso. Considerándose como ondulado en los 2 km en estudio. Presenta baches por la falta del drenaje longitudinal en varios tramos y cuenta con un ancho de rodamiento promedio que oscila entre 6 y 9 metros.

### 3.3.1. Vehículos 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.

Una vez realizado el Proyecto en que se contará con un trazado con la geometría adecuada para que dicho tipo de camión (BUS-14), realice las maniobras y operaciones vehiculares en el marco de la seguridad vial de la carretera. En este estudio los sobre anchos y radios de giros mínimos serán calculados utilizando como vehículo de diseño el BUS-14. Se muestra un esquema con las dimensiones típicas del vehículo de diseño. (Ver ANEXO 1, Capítulo V. Pág. XXXII)

**Tabla 50: Clasificación de Vehículos de Diseño**

| Vehículo – Tipo                                                                 | Radio Interior (m) | Radio de Diseño(m) |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Automóvil, P                                                                    | 4.2                | 7                  |
| Autobús Sencillo, BUS                                                           | 7.78               | 14.58              |
| Camión Sencillo, SU                                                             | 8.5                | 12.8               |
| Camión Articulado, WB-15                                                        | 5.8                | 13.7               |
| Camión Articulado, WB-19                                                        | 2.8                | 13.7               |
| Camión Articulado, WB-20                                                        | 0                  | 13.7               |
| Los radios mínimos de giro se deben recorrer a velocidades menores que 15 km/h. |                    |                    |

**Fuente:** Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales – SIECA - 2004 – pág.22.

**Tabla 51: Dimensiones de los Vehículos de Diseño (m)**

| Vehículo Tipo                      | P        | BUS  | SU       | WB-15      | WB-19 | WB-20 |
|------------------------------------|----------|------|----------|------------|-------|-------|
| Altura                             | 1.3(1.3) | 4.1  | 4.1(4.1) | 4.1(4.1)   | 4.1   | 4.1   |
| Ancho                              | 2.1(2.1) | 2.6  | 2.6(2.6) | 2.6(2.6)   | 2.6   | 2.6   |
| Longitud                           | 5.8(5.8) | 13.7 | 9.1(9.2) | 16.7(16.8) | 21    | 22.5  |
| Voladizo Delantero                 | 0.9(0.9) | 1.83 | 1.2(1.2) | 0.9(0.9)   | 1.2   | 1.2   |
| Voladizo Trasero                   | 1.5(1.5) | 2.59 | 1.8(1.8) | 0.6(0.6)   | 0.9   | 0.9   |
| Distancia entre Ejes Extremos, WB1 | 3.4(3.4) | 8.08 | 6.1(6.1) | 6.1(6.1)   | 6.1   | 6.1   |
| Distancia entre Ejes Extremos, WB2 |          |      |          | 9.1(9.2)   | 12.8  | 14.3  |

**Fuente:** Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales – SIECA - 2004 – pág.22

### 3.3.2. Parámetros de diseño y composición típica del tráfico

Son elementos básicos que interactúan y se relacionan entre sí para determinar las características del diseño

- ✚ Velocidad de Diseño.
- ✚ Número de Carriles.
- ✚ Ancho de Carriles y Hombros.
- ✚ Anchos de la Vía y zona de retiro.
- ✚ Ancho de rodamiento en puentes.
- ✚ Distancias de visibilidad.
- ✚ Sobreelevación máxima.
- ✚ Radios de curvatura mínimos.
- ✚ Distancias mínimas entre curvas horizontales.
- ✚ 1Longitudes de desarrollo de la sobreelevación.
- ✚ Pendientes máximas.
- ✚ Parámetros de curva vertical en cresta y columpio.

Tomando como base toda la información necesaria, se efectuó una selección de los parámetros para este tramo, y se incluye un cuadro resumen de los parámetros que se utilizaron en el diseño geométrico.

### 3.3.3. Justificación de criterios adoptados

Considerando que la carretera se encuentra ubicada en un terreno ondulado y que las restricciones topográficas y de uso de suelo (el derecho de vía actual oscila entre 10 y 20 metros).

### 3.3.4. Velocidad de diseño

Para el Proyecto Empalme San Gabriel – Empalme las Cruces; y a partir de los resultados del estudio de conteos de tránsito para los 2 km del Tramo en estudio, hemos considerado establecer una Velocidad de Proyecto que se ajuste en todo lo posible a las necesidades, características y condiciones existentes en el camino, y que permita mejorar tanto la velocidad de recorrido actual como la infraestructura existente; así como la transitabilidad y confortabilidad de los usuarios.

**Tabla 52: Velocidad de Ruedo**

| Velocidad de Diseño (VD) | Velocidad de Ruedo (VR) |
|--------------------------|-------------------------|
| 20                       | 20                      |
| 30                       | 30                      |
| 40                       | 40                      |
| 50                       | 47                      |
| <b>60</b>                | <b>55</b>               |
| 70                       | 63                      |
| 80                       | 70                      |
| 90                       | 77                      |
| 100                      | 85                      |
| 110                      | 91                      |
| 120                      | 98                      |

**Fuente:** Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2011, pág. 85).

Según la normativa SIECA, para las carreteras colectoras, el rango de velocidades debe ser de 30-80 kilómetros/hora, para el proyecto se ha seleccionado 60 kilómetros/hora (Vd), por el tráfico y por las condiciones del tipo de terreno que permiten desarrollar esta velocidad sin que el proyecto sea muy costoso, proyectando una velocidad de Ruedo 55 kilómetros/hora (VR).

### **3.3.5. Superficie de rodamiento**

La superficie de rodamiento está contemplando el uso de pavimento flexible, se ejecutará de acuerdo con lo establecido en la Sección 401.3 de las Especificaciones NIC-2019 y consistirá en la colocación de una capa o carpeta de agregados pétreo y material asfáltico caliente, mezclados en una planta central, extendidas y compactadas sobre una superficie preparada de acuerdo con esta especificaciones y en conformidad con los alineamientos, pendientes, espesores y secciones transversales, mostrados en los planos.

### **3.3.6. Número de carriles**

Según la clasificación funcional y el tráfico proyectado para el proyecto, el número de carriles es de 2. En la normativa SIECA 2011, para una Colectora Rural el número de carriles es 2 para un tráfico de diseño en el rango del Tramo en estudio.

### **3.3.7. Ancho de carriles**

El ancho de carril de 3.6 metros es deseable para las carreteras de la red regional, de manera que una calzada de dos carriles con 7.2 metros ofrecerá óptimas condiciones para la 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.

La propuesta de usar carriles de **3.30** metros, según la SIECA considerará recomendable su utilización cuando haya restricciones en el derecho de vía; es lo más acertado para implementar en el subtramo en estudio.

**Tabla 53: Efecto Combinado Sobre la Capacidad Ideal, del Ancho de Carril y la Ubicación de las Restricciones Laterales**

| Ancho Útil de Hombros u Obstrucción Lateral      | PORCENTAJE DE CAPACIDAD EN RELACION A LA DEL CARRIL DE 3.6 METROS |       |       |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|
|                                                  | 3.6 m                                                             | 3.3 m | 3.0 m |
| <b>CARRETERAS DE DOS CARRILES</b>                |                                                                   |       |       |
| 1.8                                              | 100                                                               | 93    | 84    |
| 1.2                                              | 92                                                                | 85    | 77    |
| 0.6                                              | 81                                                                | 75    | 68    |
| 0                                                | 70                                                                | 65    | 58    |
| <b>CARRETERAS DE CUATRO CARRILES SIN MEDIANA</b> |                                                                   |       |       |
| 1.8                                              | 100                                                               | 95    | 89    |
| 1.2                                              | 98                                                                | 94    | 88    |
| 0.6                                              | 95                                                                | 92    | 86    |
| 0                                                | 88                                                                | 85    | 80    |

**Fuente:** Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales – SIECA – 2004 – pág. 96.

### 3.3.8. Ancho de hombro y aceras

La SIECA recomienda anchos de hombros entre 1.20 – 1.50 metros para las Colectoras Rurales (CR). Para este proyecto se fijó el ancho mínimo de 1.20 metros.

**Tabla 54: Anchos Mínimos de Hombros y Aceras**

| Tipo de Carretera       |                       | Acceso     | Tipo de Superficie | Ancho de Hombros (m) |           | Ancho de Aceras (m) |
|-------------------------|-----------------------|------------|--------------------|----------------------|-----------|---------------------|
|                         |                       |            |                    | Internos             | Externos  |                     |
| TS                      | Troncales Suburbanas  | Controlado | Alto               | 1.0 - 1.5            | 1.8 - 2.5 | 1.2 - 2.0           |
| TR                      | Troncales Rurales     | -          | Alto               | 0.5 - 1.0*           | 1.2 - 1.8 | 1.2 - 1.5           |
| CS                      | Colectoras Suburbanas | -          | Intermedio         | 0.5*                 | 1.2 - 1.5 | 1.0 - 1.2           |
| CR                      | Colectoras Rurales    | -          | Intermedio         | -                    | 1.2 - 1.5 | 1.0 - 1.2           |
| * Solamente con mediana |                       |            |                    |                      |           |                     |

Para las carreteras de la red regional centroamericana, donde no se han reconocido suficientemente las ventajas de la provisión de hombros de anchos adecuados, por una economía en costos de inversión mal entendida, se propone la adopción de los anchos mínimos que señala en la Tabla N° 52.

### 3.3.9. Ancho de corona

En base a recomendación del Manual de la SIECA 2004, para las Zonas Urbanas y Rurales identificados a lo largo del tramo la distribución de los **7 metros** de corona será la siguiente **2.40 metros** de hombros (**1.20 metros** a cada lado), más 2 carriles de **3.30 metros**, para un total de **6.60 metros** de ancho de rodamiento.

### 3.3.10. Pendiente transversal

Se está proponiendo para la pendiente transversal de la vía en recta para su implementación en la sección transversal típica, un valor equivalente al 3.00%.

En materia de drenaje, el valor de la pendiente del 3.00% corresponde a un valor que permite que el flujo de las aguas alcance una velocidad razonable sin producir efectos de erosión en los suelos naturales; considerando que la superficie de rodado de la vía estará constituida a base de pavimento de Concreto Asfáltico.

### 3.3.11. Sección típica propuesta

Como parte del diseño y proyección de la planimetría fue necesario establecer una clasificación por sectores del tipo Rural y del tipo Urbano en el tramo en estudio, a partir de lo cual se realizaron trazos de la trayectoria del camino de manera diferenciada para cada modalidad de sector de carretera.

**Tabla 55: Secciones típicas por tramos**

| TRAMO | INICIO    | FINAL  | SECCIÓN TÍPICA                 |
|-------|-----------|--------|--------------------------------|
| 1     | 00+000.00 | 00+420 | Urbana (Comunidad San Gabriel) |
| 2     | 00+420    | 02+000 | Rural                          |

**Fuente:** Elaborado por Sustentantes.

Como se aprecia en la Tabla 45 existe un tramo Urbano, (Ver Plano Sección Típica Rural y Urbana). Esta contara con cunetas de mampostería (Tipo V) solamente donde se amerite dicho drenaje longitudinal y con aceras de 1.50 metros.

### 3.3.12. Distancia de visibilidad

La distancia de visibilidad es la longitud de la carretera que puede ver el conductor, la cual se puede distinguir entre visibilidad requerida para realizar con seguridad determinadas maniobras y visibilidad disponible. Para los fines de diseño del proyecto hemos considerado dos distancias: La distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase.

**Tabla 56: Tiempo de recepción y reacción**

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

**Fuente:** Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, pág.77

### 3.3.13. Distancia de visibilidad de parada

Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido la distancia de visibilidad de parada en su primer componente,  $d_1$ , se calcula involucrando la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, mediante la siguiente expresión matemática:

#### **Ecuación 17: Distancia de percepción ( $d_1$ )**

$$d_1 = 0.278 v \cdot t \text{ (metros)}$$

**Donde:**

$v$  = Velocidad inicial, kilómetros por hora.

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

La distancia de frenado,  $d_2$ , se calcula por medio de la expresión que se muestra a continuación:

**Ecuación 18: Distancia de frenado ( $d_2$ )**

$$D_2 = \frac{V^2}{254 \left[ \frac{a}{9.81} \right] \pm G}$$

**Tabla 57: Distancia de Visibilidad parada en función de la Velocidad**

| SISTEMA MÉTRICO            |                           |                          |                                 |            |
|----------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------|
| Velocidad de Diseño (Km/h) | Distancia de Reacción (m) | Distancia de Frenado (m) | Distancia de Visibilidad parada |            |
|                            |                           |                          | Calculada (m)                   | Diseño (m) |
| 20                         | 13.9                      | 4.6                      | 18.5                            | 20         |
| 30                         | 20.9                      | 10.3                     | 31.2                            | 35         |
| 40                         | 27.8                      | 18.4                     | 46.2                            | 50         |
| 50                         | 34.8                      | 28.7                     | 63.5                            | 65         |
| 60                         | 41.7                      | 41.3                     | 83                              | 85         |
| 70                         | 48.7                      | 56.2                     | 104.9                           | 105        |
| 80                         | 55.6                      | 73.4                     | 129                             | 130        |
| 90                         | 62.6                      | 92.9                     | 155.5                           | 160        |
| 100                        | 69.5                      | 114.7                    | 184.2                           | 185        |

**Fuente:** Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, pág.77.

**Distancia de Visibilidad de parada (DVP):** esta es la suma de la distancia de reacción más la distancia de frenado, por tanto, se calculó con la ecuación:

**Ecuación 19: Distancia de Visibilidad de Parada (DVP)**

$$DVP = 0.278 V t + \frac{V^2}{254 \left[ \frac{a}{9.81} \right] \pm G}$$

**Datos Utilizados:**

$V_D = 60$  KPH.

$a_1 = 3.2$  Seg.

$t_1 = 2.5$  Seg.

G= La Pendiente longitudinal por estación, resultado de la diferencia algebraicas de la pendiente de entrada y salida para cada una de las curvas en cresta identificadas a lo largo del subtramo.

**Resultados Obtenidos:**

d1 (distancia de percepción): es de 41.7 metros.

d2 (distancia de Frenado): es de 43.5 metros.

La Distancia de Visibilidad de Parada (DVP), calculada fue de 85.2 metros, se decidió adoptar 85.0 metros. Los resultados del Control del aspecto de visibilidad en base a la velocidad de diseño. **(Ver ANEXO 2, Capítulo V. Pág. XXXIII)**

**3.3.14. Distancia de visibilidad de rebase**

Se refiere a la distancia necesaria para que un vehículo pueda pasar a otro u otros que circulan por el mismo carril a menor velocidad, sin peligro de colisionar con los vehículos que puedan venir en dirección opuesta por la vía que generalmente se realizará la maniobra. Los aspectos por considerar requieren establecer los elementos siguientes, enmarcados en la operación de rebase:

d1: Distancia recorrida durante el tiempo de percepción y reacción en mt.

d2: Distancia recorrida por el vehículo que sobrepasa mientras realiza la operación de rebase en mt.

d3: Distancia de seguridad una vez terminada la maniobra entre el vehículo que adelanta y el vehículo que circula en sentido contrario, en mt.

d4: Distancia recorrida por el vehículo que circula en sentido opuesto durante la operación de sobrepaso en mt.

**Tabla 58: Distancia de Adelantamiento para carreteras de dos carriles**

| Velocidad de Diseño (Km/h) | Velocidades Asumidas (Km/h) |                     | Distancia mínima de Adelantamiento (m) |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------------------|
|                            | Vehículo Rebasado           | Vehículo que rebasa | De Diseño                              |
| 30                         | 29                          | 44                  | 200                                    |
| 40                         | 36                          | 51                  | 270                                    |
| 50                         | 44                          | 59                  | 345                                    |
| 60                         | 51                          | 66                  | 410                                    |
| 70                         | 59                          | 74                  | 485                                    |

**Fuente:** Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, pág.79.

**Tabla 59: Elementos para cálculo de Distancia de Visibilidad de Rebase**

| Component of passing maneuver                                                     | Metric                       |       |       |        | US Customary                |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|-------|--------|-----------------------------|-------|-------|-------|
|                                                                                   | Speed range (km/h)           |       |       |        | Speed range (mph)           |       |       |       |
|                                                                                   | 50-65                        | 66-80 | 81-95 | 96-110 | 30-40                       | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
|                                                                                   | Average passing speed (km/h) |       |       |        | Average passing speed (mph) |       |       |       |
|                                                                                   | 56.2                         | 70.0  | 84.5  | 99.8   | 34.9                        | 43.8  | 52.6  | 62.0  |
| Initial maneuver:                                                                 |                              |       |       |        |                             |       |       |       |
| a = average acceleration <sup>a</sup>                                             | 2.25                         | 2.30  | 2.37  | 2.41   | 1.40                        | 1.43  | 1.47  | 1.50  |
| t <sub>1</sub> = time (sec) <sup>a</sup>                                          | 3.6                          | 4.0   | 4.3   | 4.5    | 3.6                         | 4.0   | 4.3   | 4.5   |
| d <sub>1</sub> = distance traveled                                                | 45                           | 66    | 89    | 113    | 145                         | 216   | 289   | 366   |
| Occupation of left lane:                                                          |                              |       |       |        |                             |       |       |       |
| t <sub>2</sub> = time (sec) <sup>a</sup>                                          | 9.3                          | 10.0  | 10.7  | 11.3   | 9.3                         | 10.0  | 10.7  | 11.3  |
| d <sub>2</sub> = distance traveled                                                | 145                          | 195   | 251   | 314    | 477                         | 643   | 827   | 1030  |
| Clearance length:                                                                 |                              |       |       |        |                             |       |       |       |
| d <sub>3</sub> = distance traveled <sup>a</sup>                                   | 30                           | 55    | 75    | 90     | 100                         | 180   | 250   | 300   |
| Opposing vehicle:                                                                 |                              |       |       |        |                             |       |       |       |
| d <sub>4</sub> = distance traveled                                                | 97                           | 130   | 168   | 209    | 318                         | 429   | 552   | 687   |
| Total distance, d <sub>1</sub> + d <sub>2</sub> + d <sub>3</sub> + d <sub>4</sub> | 317                          | 446   | 583   | 726    | 1040                        | 1468  | 1918  | 2383  |

**Fuente:** AASHTO, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 131.

La distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase es la sumatoria de las cuatro distancias separadas. Cada una se determinó de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

#### Resultados Obtenidos:

- d1 (distancia preliminar de demora): es de 55.1 metros.
- d2 (distancia del vehículo adelantador): es de 170.6 metros.

- d3 (Distancia de Seguridad): es de 40.00 metros.
- d4 (Distancia recorrida por vehículo en el carril contrario), es de 2/3 de 170.6 metros, equivalente a 114 metros.

Por consiguiente, la Distancia de Visibilidad de Rebase (DVR), queda establecida de la siguiente forma:

#### **Ecuación 20: Distancia de Visibilidad de Rebase (DVR)**

$$DVR = d1 + d2 + d3 + d4$$

$$DVR = 55.1 + 170.6 + 40.0 + 114$$

$$DVR = 379.5 \text{ metros}$$

La Distancia de Visibilidad de Rebase calculada fue de 379.5 metros, se decidió adoptar 380 metros. Los resultados del Control del aspecto de visibilidad en base a la velocidad de diseño. **(Ver ANEXO 2, Capítulo V. Pág. XXXIII)**

#### **3.3.15. Alineamiento horizontal del tramo**

#### **3.3.16. Curva horizontal y sobreelevación**

En el diseño de curvas horizontales se deben considerar dos casos:

**Tangente seguida por curva horizontal:** En esta situación, las fuerzas centrífugas actúan en contra de la operación segura de los vehículos cuando entran y circulan por la curva.

**Alineamiento compuesto de tangente y curva horizontal y vertical:** Para dar seguridad y economía a la operación del tránsito, se han introducido factores limitantes en los métodos de diseño del alineamiento horizontal, como el radio mínimo de curva o grado máximo de curva, la tasa de sobreelevación o peralte máximos, los factores de fricción y las longitudes de transición mínima cuando se pasa de una tangente a una curva.

La expresión matemática desarrollada para tomar en cuenta estos factores y la velocidad de diseño, es la siguiente:

### Ecuación 21: Alineamiento compuesto

$$(e_{max} + f)_D = \frac{(e_{max} + f)R_{min}}{R}$$

**Donde:**

**e** = Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

**F** = Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

**R<sub>min</sub>** = Radio mínimo calculado, en metros.

**R** = Radio de curva, en metros.

#### 3.3.17. Pendiente transversal o bombeo

A partir de las especificaciones y recomendaciones del Manual Centroamericano de Normas que sugiere: La utilización de una pendiente transversal de entre 1.5 – 3.0% para las carreteras de la clasificación funcional aquí contenidas; y con el propósito de evacuar eficientemente las aguas superficiales de la calzada y propone la utilización del **3.00%** para el bombeo.

#### 3.3.18. Coeficiente de fricción lateral (f)

Para el proyecto en estudio, la velocidad establecida de 60 Kilómetros/hora, le corresponde un valor  $f = 0.17$ .

**Tabla 60: Coeficiente de fricción lateral en función de la velocidad**

**Fuente:** Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, p. 89.

| Velocidad de Diseño (Km/h) | Factor de Fricción Máxima (f) |
|----------------------------|-------------------------------|
| 30                         | 0.28                          |
| 40                         | 0.23                          |
| 50                         | 0.19                          |
| 60                         | 0.17                          |
| 70                         | 0.15                          |
| 80                         | 0.14                          |

### 3.3.19. Sobreelevación máxima

Se estableció una sobreelevación o peralte máximo del 8 %, se considera que no presenta ningún inconveniente relacionado con la construcción, operación y mantenimiento del tipo de camino además que es una pendiente conveniente que debe tener la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga de los vehículos que circularán en las curvas horizontales.

**Tabla 61: La sobreelevación o peralte según tipo de área**

| Tasa de Sobreelevación e (%)                                                | Consideración por Área.                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 12                                                                          | puede utilizarse en algunos casos (Nieve o Hielo)         |
| 10                                                                          | Áreas Rurales Montañosas                                  |
| 8                                                                           | valor máximo razonable (Áreas Rurales Onduladas y Planas) |
| 6                                                                           | En áreas suburbanas                                       |
| 4                                                                           | En áreas Urbanas                                          |
| <b>Nota:</b> El peralte puede omitirse en calles urbanas de baja velocidad. |                                                           |

**Fuente:** Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, p. 83.

### 3.3.20. Radios mínimos de curva

Una vez establecido el máximo factor de sobreelevación (e), los radios mínimos de curvatura horizontal se calcularon utilizando la fórmula siguiente, que es la siguiente:

#### Ecuación 22: Radios mínimos de curva

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127 (E+F)}$$

**Donde:**

R = Radio mínimo de curva, en metros

e= Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

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

V = Velocidad de diseño, en kilómetros por hora.

Los valores recomendados de Radio Mínimos, el factor de fricción ( $f=0.17$ ) y la tasa de superelevación ó peralte ( $e=8.0\%$ ) en base a la Velocidad de Diseño ( $V_d=60\text{km/h}$ ), se muestra en la Tabla-60:

**Tabla 62: Radios mínimos para Velocidades de Diseño (Peralte 8%)**

| Velocidad de Diseño<br>(Km/h) | Factor de<br>Fricción<br>Máxima<br>(f) | Peralte Máximo 8 % |             |                |
|-------------------------------|----------------------------------------|--------------------|-------------|----------------|
|                               |                                        | Radio (m)          |             | Grado de Curva |
|                               |                                        | Calculado          | Recomendado |                |
| 30                            | 0.28                                   | 19.7               | 20          | 57° 18'        |
| 40                            | 0.23                                   | 40.6               | 41          | 27° 57'        |
| 50                            | 0.19                                   | 72.9               | 73          | 15° 42'        |
| 60                            | 0.17                                   | 113.4              | 113         | 10° 08'        |
| 70                            | 0.15                                   | 167.8              | 168         | 06° 49'        |
| 80                            | 0.14                                   | 229.1              | 229         | 05° 00'        |

**Fuente:** Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, p. 89.

**Sustituyendo en la ecuación 22:**

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

**$R_{\min} = 113.38$  metros**

Se decidió adoptar el Radio mínimo recomendado 113 metros.

El grado de curva o de curvatura ( $G_c$ ), es el ángulo sustentado en el centro de un círculo de radio  $R$  por un arco de 100 pies ó de 20 metros, según el sistema de medidas utilizado.

Para países como los centroamericanos, que se rigen por el sistema métrico, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo:

**Ecuación 23: Grado de curva o de curvatura ( $G_c$ )**

**$G_c = \frac{1145.92}{R}$**  (Grados Decimales)

$R$

**Donde:**

R = Radio mínimo de curva, en metros.

Conociendo el Radio mínimo ( $R_{\min}=113.0$  metros), se obtiene de igual forma el valor del Grado de Curvatura ( $G_c$ ), debido a la relación mancomunada que existe entre ambos parámetros, lo cual se realiza a través de la ecuación anterior:

$$G_c = \frac{1145.92}{113}$$

$$113$$

$$G_c = 10.14 \approx 10^\circ 8' 27.19''$$

### **3.3.21. Peralte ( $e_d$ )**

Cuando los vehículos atraviesan las curvas horizontales, estos experimentan una fuerza centrífuga que tiende a sacarlo de la carretera; este problema se lo ha solucionado dándole una inclinación adecuada a la calzada de tal forma que la componente de su peso que es paralela a la calzada contrarreste el efecto de la fuerza centrífuga. Por lo que, en las curvas las secciones transversales sean muy distintas a la sección típica que comprende un bombeo normal.

El cálculo del peralte ( $e_d$ ), para cada uno de los Radios. **(Ver ANEXO 3, Capítulo V. Pág. XXXIV)**

#### **Ecuación 24: Peralte ( $e_d$ ) para cada Radio**

$$e_d = [ (e_{\max}/G_{c\max}) * G_c ]$$

Donde:

$e_{\max}$  = sobreelevación máxima.

$G_{c\max}$  = Grado de curvatura, m.

$G_c$  = Grado de curvatura de cada radio, m.

**Ecuación 25: Grado de desplazamiento de PI (Dpi)**

$$D_{pi} = \frac{145,506 (e \text{ máx})}{Vr^2} \quad [\text{Ec. 25}]$$

**Ecuación 26: Desplazamiento de PI (hpi)**

$$h_{pi} = e_{max} \left[ \frac{Vd^2}{Vr^2} \right] - e_{max}$$

$$R_{pi} = \frac{Vr^2}{1.27 \times e_{max} \times 100} \quad [\text{Ec. 26.1}]$$

La Pendiente de la Rama 1(S<sub>1</sub>) y Rama 2(S<sub>2</sub>):

$$L_1 = \frac{1}{R_{pi}} \quad [\text{Ec. 26.2}]$$

$$L_2 = \frac{1}{R_{min}} - \frac{1}{R_{pi}} \quad [\text{Ec. 26.3}]$$

$$S_1 = (h_{pi}) (R_{pi}) \quad [\text{Ec. 26.4}]$$

$$S_2 = \left[ \frac{(f_{máx} - H_{pi})}{L_2} \right] \quad [\text{Ec. 26.5}]$$

La media Ordenada (M<sub>o</sub>), de la curva vertical asimétrica se obtuvo:

$$M_o = \frac{(L_1 * L_2)(S_2 - S_1)}{2 (L_1 + L_2)} \quad [\text{Ec. 26.6}]$$

La expresión matemática desarrollada para tomar en cuenta estos factores y la velocidad de diseño, es la siguiente:

$$(e_{max} + f)_D = \frac{(e_{máx} + f_{máx}) R_{min}}{R_c} \quad [\text{Ec. 26.7}]$$

**Donde:**

V = Velocidad de Diseño, km/h.

R = Radio mínimo, m.

R<sub>c</sub> = Radio de la curva, m.

f: Coeficiente de fricción lateral, S/D.

e<sub>max</sub>= Sobreelevación máxima, m / m.

El cálculo del coeficiente de fricción (f), para cada uno de los Radios presentados, se realizó en base de las siguientes condicionantes:

Si de  $X > L1$ , entonces:

$$f_1 = Mo \left[ \frac{R_{pi}}{R_c} \right]^2 + \frac{S1}{R_c} \quad [\text{Ec. 26.8}]$$

Si de  $X < L1$ , entonces:

$$f_2 = Mo \left[ \frac{\left( \frac{1}{R_{min}} \right) - \left( \frac{1}{R_c} \right)}{\left( \frac{1}{R_{min}} \right) - \left( \frac{1}{L1} \right)} \right]^2 + H_{pi} + (S2 (X-L1)) \quad [\text{Ec. 26.9}]$$

Dónde el cálculo de x, se realiza para cada uno de los Radios presentados, con la siguiente ecuación:

$$X = \frac{1}{R_c}$$

**Tabla 63: Distribución de peralte para cada radio**

| <b>Rc</b> | <b><math>((e_{\max}+f) R_{\min}) / R_c</math></b> | <b><math>x = 1/R_c</math></b> | <b><math>L1 = 1/R_{pi}</math></b> | <b><math>f_1 \text{ ó } f_2</math></b> |
|-----------|---------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| 275       | 0.10273                                           | 0.00363636                    | 0.00335868                        | <b>0.04536629</b>                      |
| 160       | 0.17656                                           | 0.00625                       | 0.00335868                        | <b>0.07417987</b>                      |
| 120       | 0.23542                                           | 0.00833333                    | 0.00335868                        | <b>0.0989065</b>                       |
| 450       | 0.06278                                           | 0.00222222                    | 0.00335868                        | <b>0.01908832</b>                      |
| 450       | 0.06278                                           | 0.00222222                    | 0.00335868                        | <b>0.01908832</b>                      |
| 230       | 0.12283                                           | 0.00434783                    | 0.00335868                        | <b>0.05160339</b>                      |

**Fuente:** Elaborado por Sustentantes.

### 3.3.22. Longitud de Transición

Para determinar la longitud de transición y la transición del bombeo se utilizaron las siguientes ecuaciones:

#### Ecuación 27: Longitud de Transición (LT)

$$LT = (Mc * P_{\max}) / m$$

**Donde:**

Mc= mitad del ancho de rodamiento del camino Rural/Urbano (3.3 m)

Pmáx= Pendiente máxima de la curva

m= Pendiente relativa entre los bordes y el eje del camino (0.70%)

**Ecuación 28: Transición del bombeo (N)**

$$N = Mc \cdot B/m$$

**Donde:**

Mc= mitad del ancho de rodamiento del camino Rural/Urbano (3.3 m)

B= Bombeo del camino (3%)

m= Pendiente relativa entre los bordes y el eje del camino (0.70%)

**3.3.23. Pendiente relativa (mr)**

El valor de la Pendiente relativa se determinó haciendo uso de la tabla adjunta del manual de Especificaciones Técnicas de la AASHTO, que se muestra adjunto, determinándose un valor de pendiente relativa de 0.70 % (1:143) para la Velocidad de Diseño establecida.

**3.3.24. Sobre anchos de curvas**

Se adoptarán los sobre anchos en cada una de las curvas horizontales, de acuerdo con la SIECA, considerando que los conductores experimentan dificultades en mantener los vehículos en el centro del carril porque estos utilizan un espacio mayor cuando transitan en curvas que cuando transitan en rectas.

Una de las expresiones empíricas más utilizadas para calcular el sobreancho en las curvas horizontales es la siguiente:

**Ecuación 29: Sobre ancho de la curva (Sa)**

$$Sa = n [R - (R^2 - L^2)^{1/2}] + 3/(10 \sqrt{R})$$

**Donde:**

$n$ = Número de carriles (2)

$L$ = Distancia entre ejes del vehículo

$R$ = Radio

Para una velocidad de 60 kilómetros/hora y utilizando como vehículo de diseño el Bus-14, solamente se requerirá sobreanchos para curvas con Radios < 700 metros, por tal razón la aplicación de sobreanchos no será generalizada para todas las curvas. El sobreancho mínimo ( $S_{min}$ ), necesario fue de 0.6 metros para un radio de 450 metros (Curva N°4 y 5), y el sobreancho máximo ( $S_{máx}$ ) calculado fue de 1.6 metros para un radio de 120 metros (Curva N°3). No sobrepasaron el máximo.

**Ejemplo: Calculo de curva circular simple.**

Ejemplo del cálculo de curvas número C1 horizontales y elementos geométricos utilizando la curva número tres del tramo, en tabla de curvas horizontales anexos:

Estación PI = 0+249.96

$R=275$  mts

$V_{diseño} = 60$  km/hr

Nota: para velocidad de diseño de 60 km/h el radio máximo para el uso de espiral es de 213 mts, por tanto, es una curva circular simple.

**Tabla 64: Radios máximos de curvas con velocidad de diseño que requieran curvas espirales**

| Metric              |                    | US Customary       |                     |
|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| Design speed (km/h) | Maximum radius (m) | Design speed (mph) | Maximum radius (ft) |
| 20                  | 24                 | 15                 | 114                 |
| 30                  | 54                 | 20                 | 203                 |
| 40                  | 95                 | 25                 | 317                 |
| 50                  | 148                | 30                 | 456                 |
| 60                  | 213                | 35                 | 620                 |
| 70                  | 290                | 40                 | 810                 |
| 80                  | 379                | 45                 | 1025                |
| 90                  | 480                | 50                 | 1265                |
| 100                 | 592                | 55                 | 1531                |
| 110                 | 716                | 60                 | 1822                |
| 120                 | 852                | 65                 | 2138                |
| 130                 | 1000               | 70                 | 2479                |
|                     |                    | 75                 | 2846                |
|                     |                    | 80                 | 3238                |

Note: The safety benefits of spiral curve transitions are likely to be negligible for larger radii.

Fuente: AASHTO A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2001

- Grado máximo de curva

$$G_{\max} = \frac{145,692.26 (f + e_{\max})}{V_D^2} = \frac{145,692.26 (0.17 + 0.08)}{60^2} = 10^\circ 7' 3.07''$$

- Grado de curvatura

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

$$G_c = \frac{1145.92}{275} = 4.16698182 \approx 4^\circ 10' 1.13''$$

$$G_c \leq G_{\max} \text{ OK}$$

- Radio mínimo

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

$$R_{\min} = \frac{60^2}{127 (0.08 + 0.17)} = 113.385 < R_D \text{ OK}$$

- Tangente

$$T = R * \tan \Delta/2$$

$$T = 275 * \tan 16^\circ 55' 32.88'' / 2$$

$$T = 40.9169 \text{ m}$$

- Longitud de curva

$$L = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 275 * 16^\circ 55' 32.88''}{180} = 81.248 \text{ m} \approx 81.25 \text{ m}$$

- Externa

$$E = R \left( \sec \frac{\Delta}{2} - 1 \right) = 275 \left( \sec \frac{16^\circ 55' 32.88''}{2} - 1 \right) = 3.027$$

- Cuerda máxima

$$CM = 2R \sin \frac{\Delta}{2} = 2 * 275 * \sin \frac{16^\circ 55' 32.88''}{2} = 81.042 \text{ m}$$

- Calculo punto medio

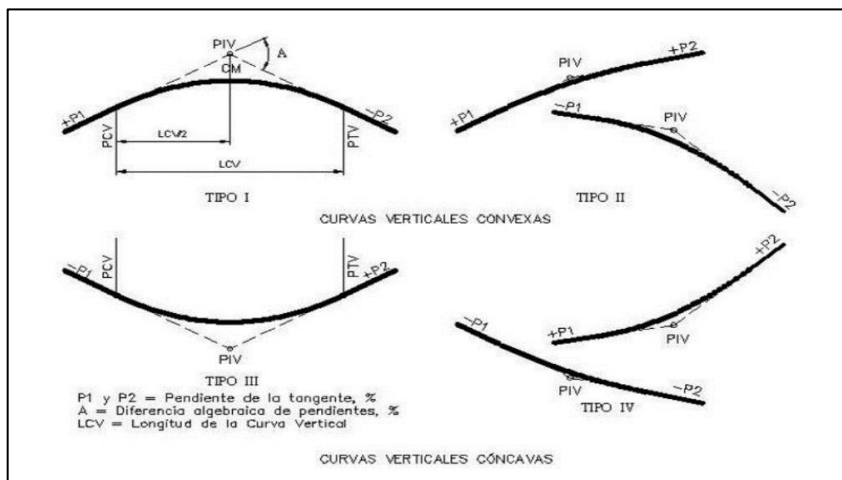
$$M = R \left( 1 - \cos \frac{\Delta}{2} \right) = 275 \left( 1 - \cos \frac{16^\circ 55' 32.88''}{2} \right) = 2.99$$

- Calculo de estacionamiento

$$a) \text{ PC} = \text{PI} - T = 0+249.96 - 40.9169 \text{ m} = 0+209.043$$

$$b) \text{ PT} = \text{PC} + L = 0+209.043 + 81.25 = 0+290.29$$

**Figura 18: Tipos de curvas verticales**



**Fuente:** Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales. SIECA 2011, Pág. 123.

### 3.3.25. Elementos geométricos de las curvas verticales

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

#### Ecuación 30: Longitud de curva vertical

$$L = K \cdot A \text{ [Ec. 30]}$$

#### Donde:

L= Longitud de curva

A= (P2 – P1), en %

P1= Pendiente de entrada en %

P2= Pendiente de salida en %

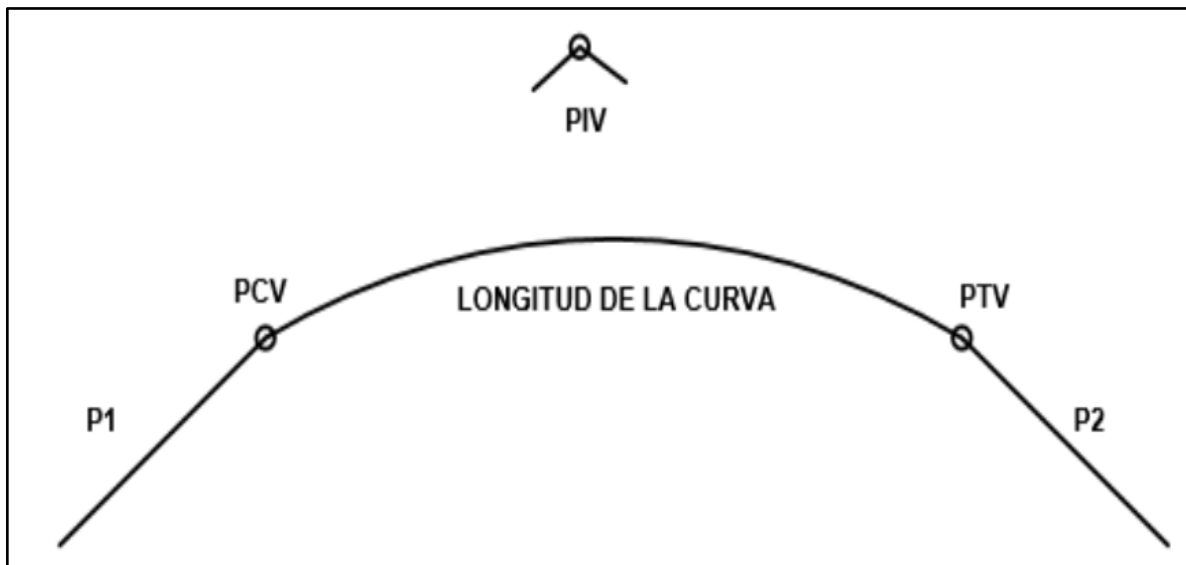
K= Factor que establece condiciones óptimas de visibilidad y drenaje en el sector de la curva

PCV= Principio de curva vertical

PIV= Punto de intersección vertical

PTV= Punto final de la curva vertical

**Figura 19: Elementos geométricos de una curva vertical**

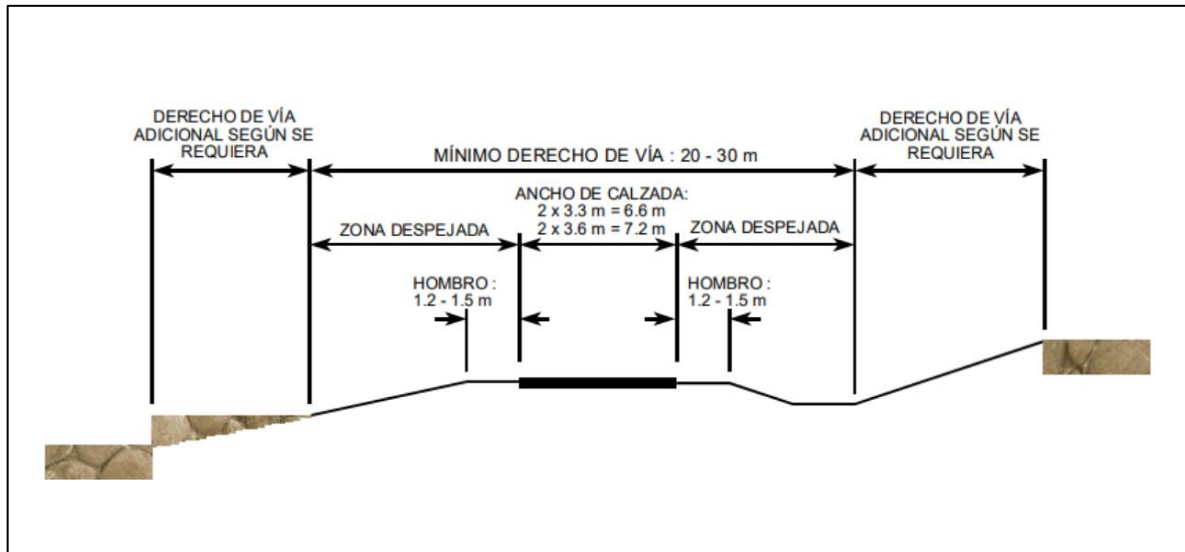


**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.26. Normas generales para el perfil longitudinal

- $(P2 - P1) > 0.5\%$  para que se pueda realizar el diseño, ya que pendientes menores a esta son tan pequeñas que se pierden en la construcción.
- Límites el diseño bien balanceado de la calzada con sus carriles proyectados, los hombros interiores y exteriores, las medianas y todos los demás elementos que conforman normalmente la sección transversal típica de ese tipo de instalaciones, conforme su clasificación funcional.
- Para las carreteras colectoras, ubicadas en el rango inferior de la clasificación funcional de la red de carreteras regionales, se considera suficiente disponer de un derecho de vía de 20 metros de ancho.

**Figura 20: Derecho de vía de una Colectora Rural**



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

### 3.3.27. Cálculo para curvas verticales

Se presentará un ejemplo de curvas verticales:

### **Curva N°1**

$$K=11.99$$

$$P1= -1.94$$

$$P2= -7.77\%$$

$$PIV=0+035$$

$$\text{Elevación PIV}= 1011.3 \text{ m}$$

### **Cálculo del número algebraico**

$$A= P2 - P1$$

$$A= -7.77\% - (-1.94\%)$$

$$A= -5.83\% > 0.5 \% \text{ requiere curva vertical}$$

A (-), curva vertical en cresta.

### **Longitud de Curva**

$$L=K * A$$

$$L= 11.99 * 5.83$$

$$L= 69.9 \approx 70 \text{ M}$$

### **Criterio de drenaje**

$$L \leq 45 * A$$

$$70 \leq 45 * 5.83$$

$$70 \leq 262.35$$

### **Criterio de comodidad**

$$L \geq \frac{V^2 A}{395}$$

$$L \geq \frac{60^2 \cdot 5.83}{395}$$

$$70 \geq 53.134$$

### **Estacionamientos**

$$\text{Esta PCV} = \text{Est PIV} - L/2 = 0+035 - 70/2 = 0+000$$

$$\text{Esta PTV} = \text{Est PIV} + L/2 = 0+035 + 70/2 = 0+070$$

### **Elevaciones**

$$\text{Elev PCV} = \text{Elev PIV} - P1 \cdot \Delta H = 1011.3 - (-0.0194 \cdot 35) = 1011.978 \text{ m}$$

$$\text{Elev PTV} = \text{Elev PIV} - P2 \Delta H = 1011.3 - (0.0777 \cdot 35) = 1008.58 \text{ m}$$

El primer caso de diseño es una curva vertical en Cresta (Convexa). Para el resto de curvas: **(Ver ANEXO 5, Capítulo V. Pág. XXXVI)**

#### **3.3.28. Elaboración del diseño en civil 3D**

Para la realización del diseño geométrico, se utilizó el software AutoCAD Civil 3D, en donde se aplicaron todos los parámetros de diseño definidos en este documento, en los anexos estarán reflejado lo que son planos de curvas de nivel, alineamiento horizontal, cuadro de curvas horizontales, perfil longitudinal y secciones transversales. **(Ver ANEXO 6, Capítulo VI. Pág.LI)**

**Tabla 65: Parámetros de diseño**

| EMP. SAN GABRIEL – EMP. LAS CRUCES (2.00 KM) |                                        |                      |                  |                |
|----------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------|------------------|----------------|
| ITEM                                         | DESCRIPCIÓN / PARAMETRO.               | ABREVIATURA          | UNIDAD DE MEDIDA | VALORES.       |
| 1                                            | Clasificación Funcional.               | COLECTORA RURAL (CR) |                  |                |
| 2                                            | Ancho del derecho de vía.              | ADV                  | MT.              | 10 - 20.00     |
| 3                                            | Velocidad de Diseño.                   | VD                   | KPH              | 60.00          |
| 4                                            | Velocidad de Ruedo.                    | VR                   | KPH              | 55.00          |
| 5                                            | Vehículo de proyecto.                  | VEH.                 | TIPO-AASHTO      | Bus -14        |
| 6                                            | Radio de curvatura Mínimo.             | RM                   | mt.              | 113.00         |
| 7                                            | Grado de Curvatura máximo.             | GC                   | G. MIN. SEG.     | 10° 8' 27. 19" |
| 8                                            | Número de Carriles.                    | NC                   | UNID.            | 2.00           |
| 9                                            | Ancho Carril.                          | AC                   | mt.              | 3.30           |
| 10                                           | Ancho total de Rodamiento.             | AR                   | mt.              | 6.60           |
| 11                                           | Ancho de Hombros.                      | HM                   | mt.              | 1.20           |
| 12                                           | Ancho de Corona.                       | AC                   | mt.              | 9              |
| 13                                           | Pendiente transversal. (Bombeo)        | B                    | %                | 3.00           |
| 14                                           | Pendiente de Hombros.                  | HM%                  | %                | 3.00           |
| 15                                           | Sobreelevación Máxima (peralte).       | EMAX.                | %                | 8.00           |
| 16                                           | pendiente relativa.                    | MR                   | 1/m              | 143 (0.70%)    |
| 17                                           | Factor (L) entre ejes vehículo Diseño. | LEE                  | MT.              | 13.72          |
| 18                                           | Sobreancho Mínimo en curvas horiz.     | SMIN                 | MT.              | 0.60           |
| 19                                           | Sobreancho Máximo en curvas horiz.     | SMAX                 | MT.              | 1.80           |
| 20                                           | Coeficiente de fricción lateral.       | f1                   | S/U              | 0.17           |
| 22                                           | Distancia de Visibilidad de Parada     | DVP                  | mt.              | 85.00          |
| 23                                           | Distancia de Visibilidad de Rebase     | DVR                  | mt.              | 380.00         |
| 24                                           | Tránsito promedio Diario Anual         | TPDA                 | Vpd.             | 1360           |

**Fuente:** Elaborado por Sustentantes.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados se ha concluido que:

- Al evaluar el levantamiento topográfico se analizaron los datos necesarios para la elaboración del diseño geométrico y se determinó por las pendientes encontrada que el tipo de terreno es ondulado. El levantamiento Topográfico cumple los criterios establecidos por el Manual de Revisión del MTI, dicho estudio posee el levantamiento de detalles, establecimiento de BM, lo cual ha permitido caracterizar planimétrica y altimétricamente el terreno del tramo.
- Respecto al estudio de suelos, se realizaron 9 sondeos manuales, se obtuvo que en la mayoría predominaron las Grava con arena y grava areno limosa clasificada por el método AASHTO de tipo A-2-4 y A-2-6, y en menor cantidad arcilla gravo arenosa y grava arcillosa tipo A-2-7, A-7-5 Y A-7-6. Los bancos de materiales, poseen suelo granular, El banco No 1 se encontró grava areno limosa tipo A-1-a. El CBR para A-1-a es de 82.12 al 95% de compactación. En cambio, el banco No 2, Se encontró grava arenosa con poco limo tipo A-2-6 en las calicatas hasta una profundidad de 3.00 m. El CBR para A-2-6 es de 25.68 al 95% de compactación.
- En el estudio de tránsito se realizó un aforo vehicular durante una semana, de 6 am a 6 pm. Ubicados en la estación 0+00, tomando como referencia el porcentaje de composición vehicular obtenido en el aforo, se seleccionó la Estación de Corta Duración 4101 Empalme San Gabriel - Sisle, la cual pertenece a la Estación de Mayor Cobertura (San Marcos – Masatepe), permitiendo seleccionar los factores de ajustes para obtener un TPDA de 1056 vehículos/día, y haciendo uso de recursos tales como registros históricos de producto interno bruto, tránsito promedio diario anual y el censo poblacional (TPDA, PIB), se obtuvo una tasa de crecimiento de 3.35 % con la cual se proyectó el tránsito de diseño, generando un ESAL de 2,034,810 psi con un periodo de diseño de 20 años.

- La estructura de pavimento flexible diseñada, se realizó tomando cada uno de los requisitos y procesos establecidos en el Manual Centroamericano de diseño de pavimentos SIECA 2002, tomando como referencia el Método AASHTO 93. El cálculo de espesores de capa de la estructura, dio como resultado para la carpeta asfáltica un valor de 5 pulgadas, lo cual se encuentra en el rango requerido para las solicitaciones de carga vial. El espesor de la base, según cálculos resultó de 6.5 pulgadas. En el caso de la sub base, el cálculo da un valor de 10 pulgadas.
- El diseño geométrico del tramo, se efectuó tomando en cuenta la norma SIECA 2011, llegándose a obtener que la sección transversal, posee un ancho total de 9 m, constituidos de dos carriles de 3.3 m cada uno y hombros exteriores de 1.2 m cada uno. Además, posee un valor de bombeo normal del 3 %. El alineamiento horizontal, está conformado de curvas horizontales simples, con un valor de peralte del 8 %, radio de curvatura mínimo de 113 m cuando la velocidad de diseño es 60 km/h. El alineamiento vertical, está constituido de curvas verticales en cresta y columpio.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar verificaciones de campo adicionales en etapas previas a la construcción, con el fin de asegurar la exactitud de los datos topográficos y evitar posibles desviaciones en la ejecución del proyecto.
- Se recomienda implementar técnicas de mejoramiento de suelos en los tramos donde se identifiquen bajas capacidades portantes, así como llevar a cabo un control de calidad riguroso durante la construcción para garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas.
- Se recomienda considerar programas de monitoreo periódico del tránsito vehicular, con el fin de evaluar el comportamiento real de la vía y ajustar, en caso necesario, las estrategias de mantenimiento en función del crecimiento del flujo vehicular.
- Se recomienda asegurar una adecuada ejecución de la estructura del pavimento, cumpliendo estrictamente con los espesores y materiales especificados, así como establecer un plan de mantenimiento preventivo para prolongar la vida útil de la vía.
- Se recomienda respetar estrictamente el diseño geométrico durante la construcción, especialmente en curvas y pendientes, e incorporar señalización vial adecuada para mejorar la seguridad y operación del tramo

## BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO, et al. (93). *Diseño de Pavimentos AASHTO 93 (3ra edicion)*. San Juan: instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.
- Anuario de Tráfico. (2020). *Anuario de Tráfico*. Managua: División de Administración Vial.
- Casanova, L. (2002). *Topografía plana*. pag 77.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México, D.F: Cengage Learning.
- Fonseca, Alfonso Montejo. (2002). *Ingenieria De Pavimentos*. Bogota, D.C.: StellaValbuena De Fierro.
- Ghilani, W. y. (2016).
- Gonzales, Julian Rodrigo Quintero. (2017). *Ingeniería De Tránsito*. Colombia.
- Iturbide, Jorge Coronado. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2005). *Fundamentos de la mecanica de suelos*. D.F., Mexico: Limusa,S.A.
- Marquez, G. (1994).
- McCormack. (1998).
- MTI. (2008). *Manual para revision de Estudios Geotécnicos*.
- MTI. (2020). *Anuarios de aforo de tráfico*. Managua.
- Muelas Rodríguez, Á. (2007). *Manual de mecánica del suelo y cimentaciones*.

SIECA. (2002). *Manual Centroamericano de normas para el diseño geometrico de carreteras*. Guatemala.

SIECA. (2002). *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala: USAID/SIECA No. 0596-0184.20.

SIECA. (2004). *Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras Regionales*. Guatemala.

SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras* . Guatemala.

Villalaz, Carlos Crespo. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Mexico, D.F.: Limusa, S.A. de C.V.

# ANEXOS

# **ANEXOS CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

**ANEXO I-1: Foto N°1, situación actual del tramo, estación 0+000**



**Fuente:** Propia.

**ANEXO I-2: Foto N°2, situación actual del tramo, estación 2+000**



**Fuente:** Propia.

**ANEXO I-3: Foto N°3, superficie de rodamiento de macadam**



**Fuente:** Propia.

**ANEXO I-4: Foto N°4, desgaste en la carpeta de rodamiento**



**Fuente:** Propia.

## **ANEXOS CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO.**

## ANEXO II-1: Nomenclatura de las marcas



Fuente: Sustentante GEOSSET.

## ANEXO II-2: Puntos del levantamiento topográfico 0+000 a 0+780

| EST   | Coordenadas |             |          | Coordenadas |            |          | Coordenadas |            |          |
|-------|-------------|-------------|----------|-------------|------------|----------|-------------|------------|----------|
|       | X           | Y           | z        | X           | Y          | z        | X           | Y          | z        |
|       | BI          |             |          | BC          |            |          | BD          |            |          |
| 0+000 | 601218.426  | 1455890.57  | 1011.324 | 1455915.53  | 601210.384 | 1011.414 | 1456027.24  | 601214.702 | 1011.339 |
| 0+020 | 601221.831  | 1455892.49  | 1010.703 | 1455915.06  | 601208.633 | 1010.793 | 1456027.19  | 601213.879 | 1010.718 |
| 0+040 | 601220.799  | 1455889.66  | 1009.759 | 1455914.65  | 601207.001 | 1009.849 | 1456027.29  | 601212.45  | 1009.774 |
| 0+060 | 601220.65   | 1455889.68  | 1010.22  | 1455914.58  | 601206.602 | 1010.31  | 1456027.48  | 601211.845 | 1010.235 |
| 0+080 | 601219.832  | 1455887.21  | 1010.054 | 1455913.37  | 601202.157 | 1010.144 | 1456027.56  | 601210.192 | 1010.069 |
| 0+100 | 601221.557  | 1455889.53  | 1009.74  | 1455912.41  | 601198.15  | 1009.83  | 1456027.61  | 601209.624 | 1009.755 |
| 0+120 | 601217.532  | 1455889.52  | 1011.375 | 1455912.33  | 601197.794 | 1011.465 | 1456018.25  | 601210.484 | 1011.39  |
| 0+140 | 601215.757  | 1455889.24  | 1011.327 | 1455910.94  | 601195.857 | 1011.417 | 1456018.05  | 601211.242 | 1011.342 |
| 0+160 | 601214.966  | 1455888.99  | 1011.413 | 1455910.86  | 601195.441 | 1011.503 | 1456017.94  | 601212.51  | 1011.428 |
| 0+180 | 601206.546  | 1455887.61  | 1012.303 | 1455910.52  | 601194.909 | 1012.393 | 1455963.06  | 601203.78  | 1012.318 |
| 0+200 | 601202.788  | 1455886.36  | 1012.625 | 1455910.13  | 601194.029 | 1012.715 | 1455963.44  | 601201.903 | 1012.64  |
| 0+220 | 601200.7    | 1455885.74  | 1012.743 | 1455910.01  | 601192.534 | 1012.833 | 1455963.52  | 601201.533 | 1012.758 |
| 0+240 | 601199.083  | 1455885.45  | 1012.467 | 1455910.73  | 601193.901 | 1012.557 | 1455873.43  | 601202.493 | 1012.482 |
| 0+260 | 601198.6    | 1455885.44  | 1012.865 | 1455930.46  | 601198.514 | 1012.955 | 1455873.97  | 601202.193 | 1012.88  |
| 0+280 | 601198.241  | 1455885.32  | 1012.977 | 1455930.7   | 601196.787 | 1013.067 | 1455857.16  | 601231.305 | 1012.992 |
| 0+300 | 601198.771  | 1455882.3   | 1012.454 | 1455930.82  | 601196.469 | 1012.544 | 1455857.86  | 601232.137 | 1012.469 |
| 0+320 | 601199.041  | 1455882.2   | 1012.441 | 1455930.35  | 601193.179 | 1012.531 | 1455851.6   | 601238.935 | 1012.456 |
| 0+340 | 601199.573  | 1455882.26  | 1012.127 | 1455931.01  | 601198.912 | 1012.217 | 1455852.41  | 601239.471 | 1012.142 |
| 0+360 | 601201.413  | 1455882.43  | 1012.618 | 1455930.57  | 601203.051 | 1012.708 | 1455850.43  | 601236.551 | 1012.633 |
| 0+380 | 601204.024  | 1455883.03  | 1012.403 | 1455930.24  | 601207.878 | 1012.493 | 1455849.76  | 601235.77  | 1012.418 |
| 0+400 | 601201.917  | 1455879.04  | 1011.972 | 1455930.27  | 601208.69  | 1012.062 | 1455847.03  | 601232.984 | 1011.987 |
| 0+420 | 601202.226  | 1455879.1   | 1011.967 | 1455930.12  | 601210.545 | 1012.057 | 1455844.55  | 601230.546 | 1011.982 |
| 0+440 | 601201.634  | 1455881.09  | 1011.989 | 1455930.13  | 601211.384 | 1012.079 | 1455844.41  | 601230.397 | 1012.004 |
| 0+460 | 601201.227  | 1455880.97  | 1011.971 | 1455930.34  | 601212.486 | 1012.061 | 1455843.2   | 601228.992 | 1011.986 |
| 0+480 | 601201.272  | 1455880.63  | 1011.784 | 1455946.92  | 601214.192 | 1011.874 | 1455842.99  | 601228.674 | 1011.799 |
| 0+500 | 601201.099  | 1455880.7   | 1011.782 | 1455947.18  | 601211.869 | 1011.872 | 1455842.86  | 601228.494 | 1011.797 |
| 0+520 | 601201.152  | 1455881.05  | 1011.755 | 1455947.48  | 601210.322 | 1011.845 | 1455841.6   | 601227.204 | 1011.77  |
| 0+540 | 601200.009  | 1455881.15  | 1011.216 | 1455947.92  | 601205.622 | 1011.306 | 1455830.7   | 601240.843 | 1011.231 |
| 0+560 | 601200.165  | 1455881.03  | 1011.377 | 1455948.53  | 601201.377 | 1011.467 | 1455827.13  | 601242.918 | 1011.392 |
| 0+580 | 601201.461  | 1455880.08  | 1011.139 | 1455948.75  | 601199.312 | 1011.229 | 1455828.29  | 601242.344 | 1011.154 |
| 0+600 | 601201.57   | 1455879.32  | 1011.087 | 1455948.52  | 601201.028 | 1011.177 | 1455825.36  | 601238.291 | 1011.102 |
| 0+620 | 601201.446  | 1455880.108 | 1010.218 | 1455948.737 | 601198.996 | 1010.308 | 1455828.914 | 601242.946 | 1010.233 |
| 0+640 | 601201.732  | 1455879.396 | 1011.772 | 1455948.828 | 601198.731 | 1011.862 | 1455828.926 | 601242.935 | 1011.787 |
| 0+660 | 601201.648  | 1455879.333 | 1011.771 | 1455948.409 | 601195.831 | 1011.861 | 1455829.336 | 601243.285 | 1011.786 |
| 0+680 | 601201.843  | 1455879.018 | 1011.756 | 1455964.374 | 601203.237 | 1011.846 | 1455830.559 | 601244.407 | 1011.771 |
| 0+700 | 601200.37   | 1455878.486 | 1010.789 | 1455947.412 | 601210.748 | 1010.879 | 1455830.813 | 601244.599 | 1010.804 |
| 0+720 | 601200.732  | 1455877.043 | 1011.804 | 1455947.292 | 601211.68  | 1011.894 | 1455833.519 | 601247.174 | 1011.819 |
| 0+740 | 601201.114  | 1455877.36  | 1011.837 | 1455953.128 | 601212.591 | 1011.927 | 1455836.266 | 601250.029 | 1011.852 |
| 0+760 | 601201.691  | 1455877.602 | 1011.727 | 1455953.428 | 601211.667 | 1011.817 | 1455836.91  | 601250.662 | 1011.742 |
| 0+780 | 601203.001  | 1455878.313 | 1011.981 | 1455968.226 | 601218.476 | 1012.071 | 1455837.913 | 601251.553 | 1011.996 |

Fuente: Alcaldía Municipal de Jinotega en colaboración con Sustentantes.

### ANEXO II-3: Puntos del levantamiento topográfico 0+800 a 1+640

| EST   | Coordenadas |             |          | Coordenadas |            |          | Coordenadas |            |          |
|-------|-------------|-------------|----------|-------------|------------|----------|-------------|------------|----------|
|       | X           | Y           | z        | X           | Y          | z        | X           | Y          | z        |
|       | BI          |             |          | BC          |            |          | BD          |            |          |
| 0+800 | 601205.287  | 1455879.362 | 1012.185 | 1455970.292 | 601219.767 | 1012.275 | 1455838.973 | 601252.669 | 1012.2   |
| 0+820 | 601202.233  | 1455872.739 | 1011.935 | 1455970.531 | 601218.387 | 1012.025 | 1455844.318 | 601255.898 | 1011.95  |
| 0+840 | 601205.692  | 1455866.601 | 1011.602 | 1455976.973 | 601219.345 | 1011.692 | 1455840.999 | 601248.389 | 1011.617 |
| 0+860 | 601206.862  | 1455862.534 | 1011.569 | 1455976.695 | 601220.775 | 1011.659 | 1455841.767 | 601249.316 | 1011.584 |
| 0+880 | 601209.953  | 1455857.286 | 1011.709 | 1455976.51  | 601222.08  | 1011.799 | 1455842.631 | 601244.822 | 1011.724 |
| 0+900 | 601213.251  | 1455858.469 | 1011.647 | 1455981.3   | 601222.793 | 1011.737 | 1455824.431 | 601268.901 | 1011.662 |
| 0+920 | 601214.185  | 1455858.895 | 1011.031 | 1455981.56  | 601221.532 | 1011.121 | 1455828.034 | 601265.173 | 1011.046 |
| 0+940 | 601214.326  | 1455859.004 | 1010.995 | 1455981.692 | 601220.091 | 1011.085 | 1455825.945 | 601267.672 | 1011.01  |
| 0+960 | 601214.672  | 1455859.214 | 1010.532 | 1455988.269 | 601221.092 | 1010.622 | 1455829.754 | 601270.134 | 1010.547 |
| 0+980 | 601216.096  | 1455860.238 | 1010.862 | 1455987.998 | 601222.478 | 1010.952 | 1455824.643 | 601266.201 | 1010.877 |
| 1+000 | 601216.224  | 1455860.334 | 1010.844 | 1455990.103 | 601221.784 | 1010.934 | 1455823.272 | 601264.941 | 1010.859 |
| 1+020 | 601219.334  | 1455862.724 | 1010.492 | 1456000.683 | 601219.906 | 1010.582 | 1455822.641 | 601264.311 | 1010.507 |
| 1+040 | 601222.843  | 1455865.126 | 1010.007 | 1456000.673 | 601218.99  | 1010.097 | 1455820.024 | 601261.741 | 1010.022 |
| 1+060 | 601223.26   | 1455865.396 | 1009.956 | 1456006.66  | 601219.906 | 1010.046 | 1455817.029 | 601259.198 | 1009.971 |
| 1+080 | 601224.388  | 1455866.103 | 1010.345 | 1456006.529 | 601220.763 | 1010.435 | 1455816.802 | 601258.755 | 1010.36  |
| 1+100 | 601225.143  | 1455866.523 | 1010.298 | 1456006.532 | 601220.828 | 1010.388 | 1455815.316 | 601257.269 | 1010.313 |
| 1+120 | 601226.959  | 1455867.626 | 1009.201 | 1456006.308 | 601222.467 | 1009.291 | 1455815.908 | 601257.657 | 1009.216 |
| 1+140 | 601227.413  | 1455868.301 | 1008.422 | 1456003.102 | 601228.292 | 1008.512 | 1455815.186 | 601257.161 | 1008.437 |
| 1+160 | 601230.891  | 1455873.98  | 1003.022 | 1456006.66  | 601219.834 | 1003.112 | 1455813.7   | 601255.607 | 1003.037 |
| 1+180 | 601220.479  | 1455876.68  | 1010.024 | 1456007.54  | 601215.329 | 1010.114 | 1455821.48  | 601267.424 | 1010.039 |
| 1+200 | 601218.888  | 1455879.74  | 1009.664 | 1456007.88  | 601211.827 | 1009.754 | 1455821.27  | 601268.23  | 1009.679 |
| 1+220 | 601220.425  | 1455884.52  | 1006.146 | 1456007.95  | 601210.662 | 1006.236 | 1455822.59  | 601269.593 | 1006.161 |
| 1+240 | 601218.345  | 1455881.01  | 1009.764 | 1456008.42  | 601207.731 | 1009.854 | 1455812.02  | 601281.944 | 1009.779 |
| 1+260 | 601218.1    | 1455880.93  | 1009.814 | 1455999.2   | 601208.778 | 1009.904 | 1455810.38  | 601279.968 | 1009.829 |
| 1+280 | 601217.771  | 1455882.82  | 1009.743 | 1455999.52  | 601207.312 | 1009.833 | 1455809.68  | 601279.457 | 1009.758 |
| 1+300 | 601218.228  | 1455881.84  | 1009.11  | 1455990.35  | 601204.509 | 1009.2   | 1455809.27  | 601278.99  | 1009.125 |
| 1+320 | 601218.148  | 1455882.53  | 1009.116 | 1455989.91  | 601199.269 | 1009.206 | 1455806.68  | 601276.075 | 1009.131 |
| 1+340 | 601218.341  | 1455881.32  | 1009.087 | 1455990.3   | 601206.049 | 1009.177 | 1455806.69  | 601276.069 | 1009.102 |
| 1+360 | 601218.231  | 1455881.94  | 1008.207 | 1455990.11  | 601207.922 | 1008.297 | 1455803.93  | 601273.267 | 1008.222 |
| 1+380 | 601218.018  | 1455881.96  | 1009.757 | 1455990.07  | 601209.127 | 1009.847 | 1455803.5   | 601272.911 | 1009.772 |
| 1+400 | 601217.112  | 1455881.72  | 1010.363 | 1455989.65  | 601212.758 | 1010.453 | 1455802.4   | 601271.815 | 1010.378 |
| 1+420 | 601216.207  | 1455881.64  | 1011.022 | 1455988.87  | 601216.114 | 1011.112 | 1455801.97  | 601271.534 | 1011.037 |
| 1+440 | 601215.548  | 1455881.36  | 1011.059 | 1455988.24  | 601220.989 | 1011.149 | 1455801.81  | 601271.373 | 1011.074 |
| 1+460 | 601215.261  | 1455881.25  | 1011.094 | 1455988.33  | 601223.584 | 1011.184 | 1455792.22  | 601285.307 | 1011.109 |
| 1+480 | 601208.974  | 1455881.17  | 1011.871 | 1455988.39  | 601223.512 | 1011.961 | 1455792.22  | 601285.309 | 1011.886 |
| 1+500 | 601204.718  | 1455881.14  | 1012.283 | 1455990.72  | 601223.011 | 1012.373 | 1455795.17  | 601298.068 | 1012.298 |
| 1+520 | 601201.543  | 1455880.07  | 1011.972 | 1455968.36  | 601220.671 | 1012.062 | 1455794.19  | 601296.917 | 1011.987 |
| 1+540 | 601192.976  | 1455896.2   | 1013.387 | 1455971.32  | 601222.353 | 1013.477 | 1455785.97  | 601307.878 | 1013.402 |
| 1+560 | 601193.628  | 1455881.19  | 1013.087 | 1455970.25  | 601220.002 | 1013.177 | 1455785.08  | 601306.879 | 1013.102 |
| 1+580 | 601197.029  | 1455890.57  | 1013.129 | 1455970.5   | 601218.348 | 1013.219 | 1455784.27  | 601306.29  | 1013.144 |
| 1+600 | 601195.081  | 1455897.18  | 1013.801 | 1455971.45  | 601213.216 | 1013.891 | 1455782.93  | 601308.34  | 1013.816 |
| 1+620 | 601194.794  | 1455897.16  | 1013.793 | 1455971.65  | 601209.807 | 1013.883 | 1455784.35  | 601305.369 | 1013.808 |
| 1+520 | 601201.543  | 1455880.07  | 1011.972 | 1455968.36  | 601220.671 | 1012.062 | 1455794.19  | 601296.917 | 1011.987 |
| 1+540 | 601192.976  | 1455896.2   | 1013.387 | 1455971.32  | 601222.353 | 1013.477 | 1455785.97  | 601307.878 | 1013.402 |
| 1+560 | 601193.628  | 1455881.19  | 1013.087 | 1455970.25  | 601220.002 | 1013.177 | 1455785.08  | 601306.879 | 1013.102 |
| 1+580 | 601197.029  | 1455890.57  | 1013.129 | 1455970.5   | 601218.348 | 1013.219 | 1455784.27  | 601306.29  | 1013.144 |
| 1+600 | 601195.081  | 1455897.18  | 1013.801 | 1455971.45  | 601213.216 | 1013.891 | 1455782.93  | 601308.34  | 1013.816 |
| 1+620 | 601194.794  | 1455897.16  | 1013.793 | 1455971.65  | 601209.807 | 1013.883 | 1455784.35  | 601305.369 | 1013.808 |
| 1+640 | 601190.602  | 1455898.8   | 1014.372 | 1455972.09  | 601205.898 | 1014.462 | 1455784.22  | 601305.247 | 1014.387 |

Fuente: Alcaldía Municipal de Jinotega en colaboración con Sustentantes.

#### ANEXO II-4: Puntos del levantamiento topográfico 1+660 a 2+000

| EST   | Coordenadas |            |          | Coordenadas |            |          | Coordenadas |            |          |
|-------|-------------|------------|----------|-------------|------------|----------|-------------|------------|----------|
|       | X           | Y          | Z        | X           | Y          | z        | X           | Y          | z        |
|       | BI          |            |          | BC          |            |          | BD          |            |          |
| 1+660 | 601196.399  | 1455897.93 | 1013.685 | 1455972.26  | 601205.199 | 1013.775 | 1455781.67  | 601302.668 | 1013.7   |
| 1+680 | 601196.829  | 1455898.09 | 1013.521 | 1455972.58  | 601203.84  | 1013.611 | 1455779.29  | 601300.429 | 1013.536 |
| 1+700 | 601197.39   | 1455898.18 | 1013.217 | 1455972.78  | 601202.522 | 1013.307 | 1455775.47  | 601297.04  | 1013.232 |
| 1+720 | 601199.369  | 1455898.51 | 1013.383 | 1455972.07  | 601199.994 | 1013.473 | 1455774.02  | 601295.696 | 1013.398 |
| 1+740 | 601199.784  | 1455898.59 | 1013.393 | 1455966.08  | 601218.013 | 1013.483 | 1455773.19  | 601294.411 | 1013.408 |
| 1+760 | 601203.612  | 1455899.23 | 1013.072 | 1455957.74  | 601218.103 | 1013.162 | 1455772.77  | 601294.127 | 1013.087 |
| 1+780 | 601207.572  | 1455900.1  | 1012.648 | 1455958.82  | 601216.121 | 1012.738 | 1455772.72  | 601294.042 | 1012.663 |
| 1+800 | 601212.092  | 1455901.18 | 1011.99  | 1455977.04  | 601220.27  | 1012.08  | 1455772.26  | 601291.964 | 1012.005 |
| 1+820 | 601214.734  | 1455901.77 | 1011.759 | 1455976.89  | 601221.658 | 1011.849 | 1455759.78  | 601305.806 | 1011.774 |
| 1+840 | 601216.056  | 1455902.68 | 1011.639 | 1455981.19  | 601222.396 | 1011.729 | 1455762.01  | 601308.602 | 1011.654 |
| 1+860 | 601220.146  | 1455898.92 | 1011.189 | 1455981.45  | 601220.963 | 1011.279 | 1455759.9   | 601306.188 | 1011.204 |
| 1+880 | 601222.087  | 1455897.96 | 1011.083 | 1456012.69  | 601220.41  | 1011.173 | 1455760.37  | 601306.643 | 1011.098 |
| 1+900 | 601224.743  | 1455898.2  | 1010.684 | 1456025.83  | 601224.662 | 1010.774 | 1455761.15  | 601307.492 | 1010.699 |
| 1+920 | 601211.374  | 1455911.37 | 1012.127 | 1456022.82  | 601232.033 | 1012.217 | 1455763.1   | 601310.179 | 1012.142 |
| 1+940 | 601214.708  | 1455912.6  | 1011.469 | 1456025.99  | 601223.208 | 1011.559 | 1455767.03  | 601313.759 | 1011.484 |
| 1+960 | 601218.174  | 1455916.25 | 1010.801 | 1456026.27  | 601222.211 | 1010.891 | 1455769.27  | 601316.022 | 1010.816 |
| 1+980 | 601213.093  | 1455914.96 | 1011.821 | 1456026.18  | 601221.33  | 1011.911 | 1455769.28  | 601316.041 | 1011.836 |
| 2+000 | 601211.535  | 1455915.53 | 1012.313 | 1456026.73  | 601217.751 | 1012.403 | 1455771.77  | 601318.741 | 1012.328 |

**Fuente:** Alcaldía Municipal de Jinotega en colaboración con Sustentantes.

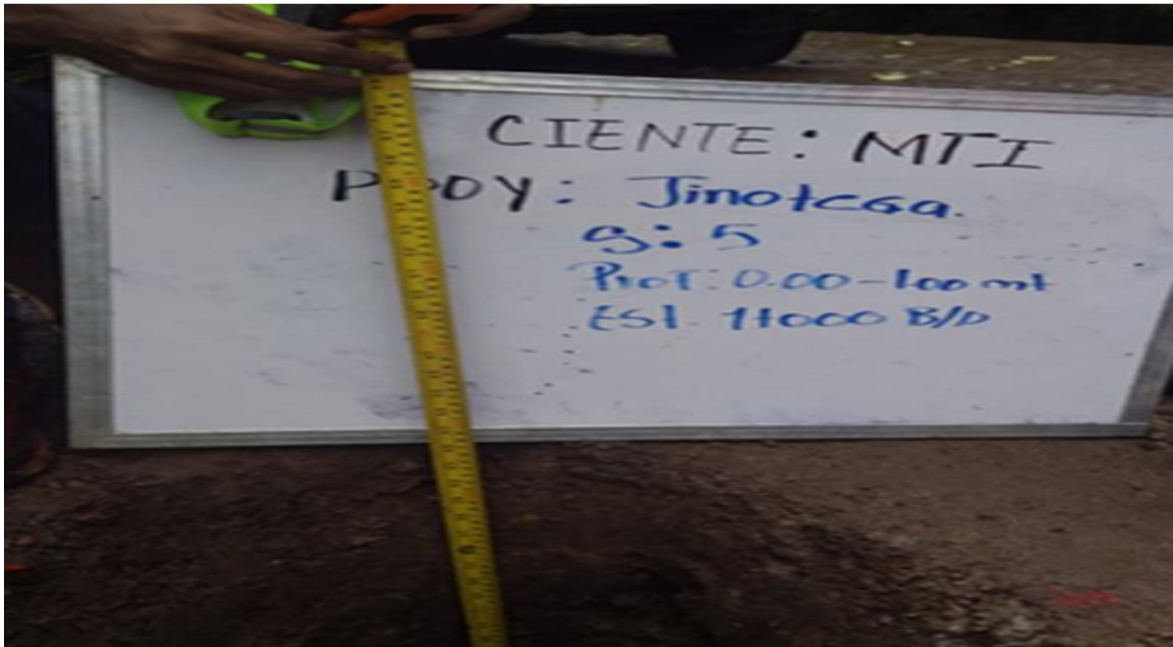
### ANEXO II-5: Rectas identificadas a lo largo del tramo

| N° | RECTAS HORIZONTALES |            | LONG.<br>METROS |
|----|---------------------|------------|-----------------|
|    | EST. INICIAL        | EST. FINAL |                 |
| 1  | 0+000               | 0+209.043  | 209.043         |
| 2  | 0+290.291           | 0+355.497  | 65.206          |
| 3  | 0+406.086           | 0+483.489  | 77.403          |
| 4  | 0+557.48            | 0+698.875  | 141.395         |
| 5  | 0+882.753           | 1+445.06   | 562.307         |
| 6  | 1+628.963           | 1+798.01   | 169.047         |
| 7  | 1+939.499           | 2+000.00   | 60.501          |

**Fuente:** Elaborado propia con datos de sustentantes.

# **ANEXOS CAPÍTULO III: ESTUDIO GEOTÉCNICO.**

**ANEXO III-1: Foto sondeo N°5, EST 1+000 B/D**



Fuente: Propia.

**ANEXO III-2: Foto sondeo N°8, EST 1+750 B/D**



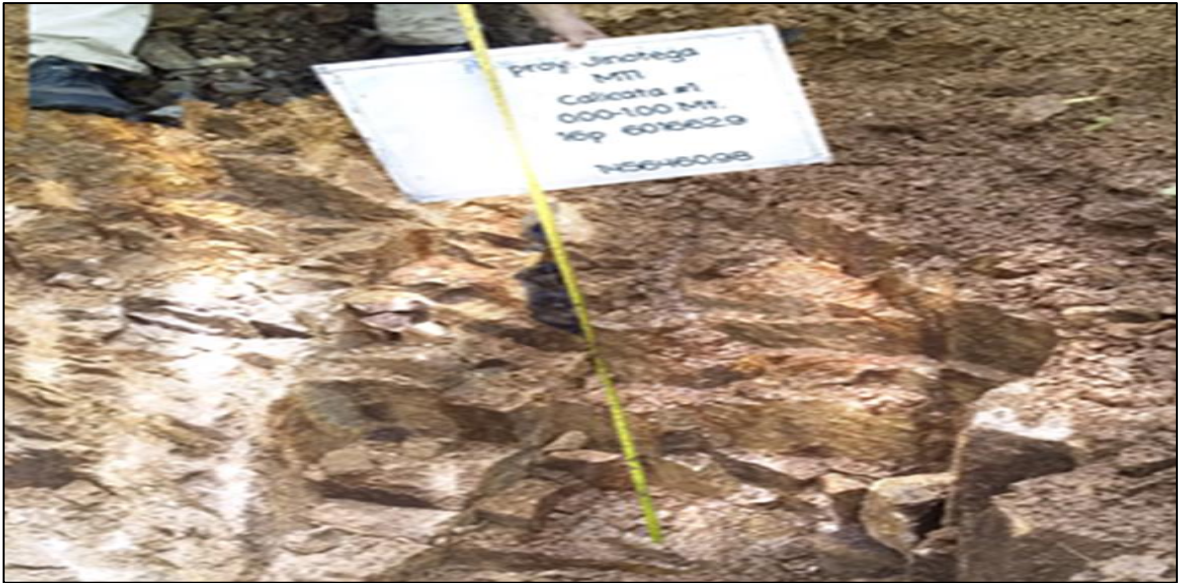
Fuente: Propia.

### **ANEXO III-3: Ensayes en la línea, laboratorio LAMSA**

| <b>Nº</b> | <b>Prueba</b>                           | <b>Ensayo o Norma ASTM o AASHTO</b> |
|-----------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| 1         | Análisis Granulométrico                 | ASTM D-422 ó AASHTO T-88            |
| 2         | Límite Líquido                          | ASTM D-423 ó AASHTO T-89            |
| 3         | Límite Plástico e Índice de Plasticidad | ASTM D-424 ó AASHTO T-90            |
| 4         | Clasificación HRB                       | ASTM D-3282 ó AASHTO T-145          |
| 5         | Proctor Estándar                        | ASTM D-698 ó AASHTO T-99            |
| 6         | CBR                                     | ASTM D-1883 ó AASHTO T-193          |

**Fuente:** Elaboración propia.

**ANEXO III-4: Foto Calicata N°1, Banco Clavo González**



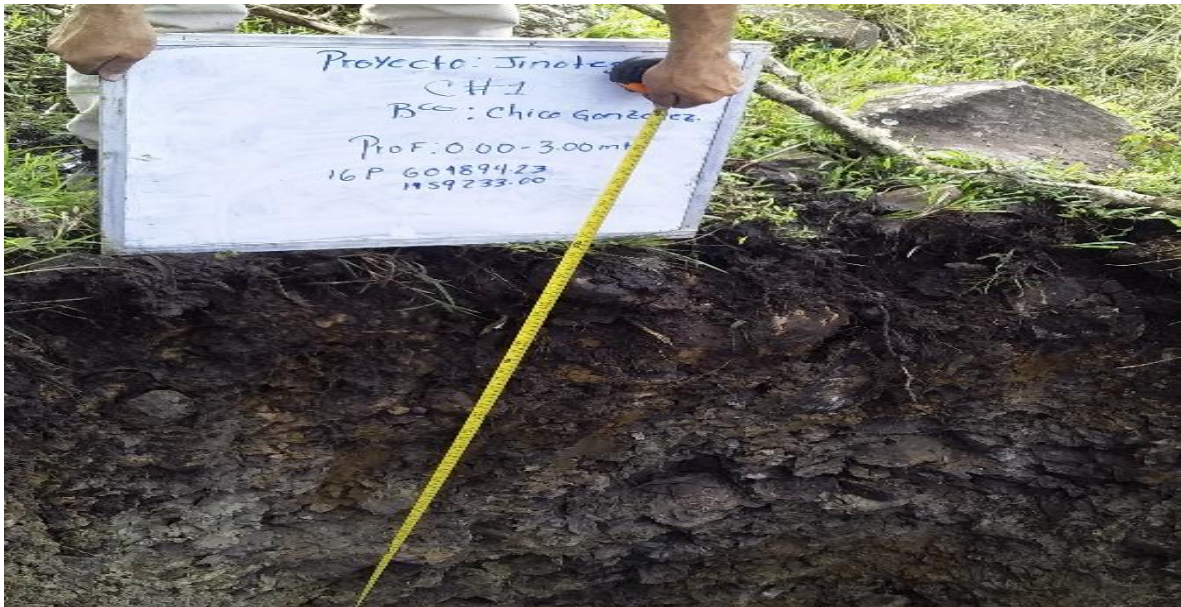
**Fuente:** Propia.

**ANEXO III-5: Foto Corte central en roca, Banco Clavo González**



**Fuente:** Propia.

### ANEXO III-6: Foto Calicata N°1, Banco Chico González



Fuente: Propia.

### ANEXO III-7: Foto Calicata N°2 y N°3, Banco Chico González



Fuente: Propia.

### ANEXO III-8: Esquema Banco Clavo González



Fuente: Elaboración propia, obtenido de Google Earth.

### ANEXO III-9: Esquema Banco Chico González



Fuente: Elaboración propia, obtenido de Google Earth.

## ANEXO III-10: Ensayes a Bancos, laboratorio LAMSA

| Nº | Prueba                                  | Ensayo o Norma ASTM o AASHTO |
|----|-----------------------------------------|------------------------------|
| 1  | Análisis Granulométrico                 | ASTM D-422 ó AASHTO T-88     |
| 2  | Límite Líquido                          | ASTM D-423 ó AASHTO T-89     |
| 3  | Límite Plástico e Índice de Plasticidad | ASTM D-424 ó AASHTO T-90     |
| 4  | Clasificación HRB                       | ASTM D-3282 ó AASHTO M-145   |
| 5  | Proctor Estándar                        | ASTM D-698 ó AASHTO T-99     |
| 6  | Proctor Modificado                      | ASTM D-1557 ó AASHTO T-180   |
| 7  | Pesos Volumétricos y Varillado          | ASTM C-29 ó AASHTO T-19      |
| 8  | Humedad Natural                         | ASTM D-2216                  |
| 9  | CBR                                     | ASTM D-1883 ó AASHTO T-193   |
| 10 | Intemperismo acelerado                  | ASTM C-88 ó AASHTO T-104     |
| 11 | Desgaste de los ángeles                 | ASTM C-131 ó AASHTO T-96     |
| 12 | Absorción                               | ASTM C-45 ó AASHTO T-25      |

Fuente: Propia.

## ANEXO III-11: Resultados Banco Clavo González

| Calicata 1                                           |                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo                                                 | Características                                                                                                                                         |
| Grava arenosa con limo color café claro (A-1-a (0)). | De 0.00 a 1.00 m los suelos tienen 17% de límite líquido y 5% de índice de plasticidad. Sus granos pasan 33% el tamiz No 4, y 9% pasan el tamiz No 200. |

| Corte a 3.00 m de altura                    |                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo                                        | Características                                                                                                                          |
| Grava areno limosa, color café (A-2-7 (2)). | Los suelos tienen 29% de límite líquido y 13% de índice de plasticidad. Sus granos pasan 37% el tamiz No 4, y 13% pasan el tamiz No 200. |

| Corte a 1.90 m de altura                          |                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipo                                              | Características                                                                                                                        |
| Grava areno limosa, color café claro (A-1-a (0)). | Los suelos tienen 17% de límite líquido y 5% de índice de plasticidad. Sus granos pasan 46% el tamiz No 4, y 4% pasan el tamiz No 200. |

Fuente: Laboratorio LAMSA.

## ANEXO III-12: Resultados Banco Chico González

| <b>Calicata 1</b>                                           |                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo</b>                                                 | <b>Características</b>                                                                                                                                   |
| <b>Grava arenosa con limo color café claro (A-2-6 (0)).</b> | De 0.00 a 3.00 m los suelos tienen 38% de límite líquido y 18% de índice de plasticidad. Sus granos pasan 13% el tamiz No 4, y 4% pasan el tamiz No 200. |

| <b>Calicata 2</b>                                              |                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo</b>                                                    | <b>Características</b>                                                                                                                                    |
| <b>Grava arcillosa con arena color negro (A-2-7 (2)).</b>      | De 0.00 a 0.40 m los suelos tienen 73% de límite líquido y 32% de índice de plasticidad. Sus granos pasan 47% el tamiz No 4, y 31% pasan el tamiz No 200. |
| <b>Grava con arena y arcilla color café claro (A-2-6 (0)).</b> | De 0.40 a 3.00 m los suelos tienen 33% de límite líquido y 15% de índice de plasticidad. Sus granos pasan 8% el tamiz No 4, y 2% pasan el tamiz No 200.   |

| <b>Calicata 3</b>                                                   |                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo</b>                                                         | <b>Características</b>                                                                                                                                    |
| <b>Grava arcillosa con arena color negro (A-7-5 (8)).</b>           | De 0.00 a 0.47 m los suelos tienen 73% de límite líquido y 32% de índice de plasticidad. Sus granos pasan 52% el tamiz No 4, y 42% pasan el tamiz No 200. |
| <b>Grava con poca arena y arcilla color café claro (A-2-6 (0)).</b> | De 0.47 a 3.00 m los suelos tienen 34% de límite líquido y 15% de índice de plasticidad. Sus granos pasan 9% el tamiz No 4, y 3% pasan el tamiz No 200.   |

| <b>M1, Corte de Roca (Material Triturado)</b>              |                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo</b>                                                | <b>Características</b>                                                                                                                                  |
| <b>Grava arenosa con limo color café claro (A-2-4 (0))</b> | Del corte central de la roca tiene 21% de límite líquido y 7% de índice de plasticidad. Sus granos pasan 34% el tamiz No 4, y 3% pasan el tamiz No 200. |

**Fuente:** Laboratorio LAMSA.

### ANEXO III-13: Soporte de resultados de ensayos sobre la línea

| Localización de Sondeo |       | Identificación de Muestras |         | Estratigrafía |            |              |     |     |        |     |      |      |      |       |        |        | NORMA: AASHTO T 90   |     |     | Clasificación | Fracciones de la muestra |    |    | NORMA: AASHTO T 99 |                 | NORMA: AASHTO T 193 |                       |       | Observación |                                                           |
|------------------------|-------|----------------------------|---------|---------------|------------|--------------|-----|-----|--------|-----|------|------|------|-------|--------|--------|----------------------|-----|-----|---------------|--------------------------|----|----|--------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|-------|-------------|-----------------------------------------------------------|
| Estación               | Banda | Sondeo                     | Muestra | Desde (cm)    | Hasta (cm) | Espesor (cm) |     |     |        |     |      |      |      |       |        |        | Limites de Atterberg |     |     |               | NORMA:                   | G  | S  | F                  | Densidad máxima | Humedad óptima      | Grado de Compactación |       |             |                                                           |
|                        |       |                            |         |               |            |              | 3"  | 2"  | 1 1/2" | 1"  | 3/4" | 1/2" | 3/8" | No. 4 | No. 10 | No. 40 | No. 200              | L.L | L.P |               |                          |    |    |                    |                 |                     | I.P                   | 90.00 |             | 95.00                                                     |
|                        |       | No.                        | No.     |               |            |              | 75  | 50  | 37.5   | 25  | 19   | 12.5 | 9.5  | 4.75  | 2      | 0.425  | 0.075                | %   | %   | %             | AASHTO M 145             |    |    |                    | (kg/m3)         | (%)                 | (%)                   | (%)   | (%)         |                                                           |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | 1       | 0             | 30         | 30           |     | 100 | 93     | 74  | 65   | 47   | 38   | 21    | 11     | 8      | 6                    | 24  | 16  | 9             | A-2-4 (0)                | 79 | 15 | 6                  | 1,677.00        | 15.50               | 6.94                  | 12.49 | 17.58       | Grava arenosa con limo color marrón                       |
| 0+000                  | L/C   | 1                          | 2       | 30            | 150        | 120          |     |     |        |     |      | 100  | 97   | 79    | 64     | 53     | 46                   | 42  | 30  | 12            | A-7-6 (3)                | 21 | 32 | 46                 |                 |                     |                       |       |             | Arcilla gravo arenosa color café claro                    |
| 0+250                  | B/D   | 2                          | 3       | 0             | 45         | 45           |     |     | 100    | 99  | 90   | 78   | 71   | 52    | 31     | 21     | 17                   | 33  | 21  | 11            | A-2-6 (0)                | 48 | 35 | 17                 |                 |                     |                       |       |             | Grava arenosa con limo color café oscuro                  |
| 0+250                  | B/D   | 2                          | 4       | 45            | 150        | 105          |     |     | 100    | 94  | 87   | 80   | 74   | 55    | 35     | 27     | 23                   | 20  | 13  | 7             | A-2-4 (0)                | 45 | 33 | 23                 |                 |                     |                       |       |             | Grava areno limosa color café claro                       |
| 0+500                  | B/I   | 3                          | 5       | 0             | 80         | 80           |     | 100 | 87     | 76  | 70   | 56   | 49   | 26    | 17     | 14     | 11                   | 40  | 26  | 13            | A-2-6 (0)                | 74 | 15 | 11                 |                 |                     |                       |       |             | Grava con arena y arcilla color café claro                |
| 0+500                  | B/I   | 3                          | 6       | 80            | 110        | 30           |     | 100 | 81     | 66  | 57   | 45   | 39   | 27    | 17     | 13     | 11                   | 26  | 15  | 11            | A-2-6 (0)                | 73 | 16 | 11                 |                 |                     |                       |       |             | Grava con arena y limo color café oscuro                  |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | 7       | 0             | 25         | 25           |     | 100 | 91     | 100 | 68   | 53   | 47   | 34    | 21     | 13     | 11                   | 27  | 18  | 8             | A-2-4 (0)                | 66 | 23 | 11                 |                 |                     |                       |       |             | Grava arenosa con limo color café claro                   |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | 8       | 25            | 55         | 30           |     | 100 | 91     | 75  | 70   | 62   | 57   | 46    | 30     | 23     | 17                   | 20  | 12  | 9             | A-2-4 (0)                | 54 | 29 | 17                 |                 |                     |                       |       |             | Grava areno limosa color café claro                       |
| 0+750                  | L/C   | 4                          | 9       | 55            | 100        | 45           |     | 100 | 77     | 69  | 63   | 53   | 46   | 29    | 23     | 17     | 12                   | 22  | 14  | 8             | A-2-4 (0)                | 71 | 16 | 12                 |                 |                     |                       |       |             | Grava con arena y limo color café claro                   |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | 10      | 0             | 40         | 40           |     | 100 | 90     | 81  | 75   | 64   | 58   | 42    | 30     | 20     | 15                   | 25  | 17  | 8             | A-2-4 (0)                | 58 | 26 | 15                 | 2,046.00        | 10.01               | 9.02                  | 16.89 | 24.75       | Grava arenosa con limo color café claro                   |
| 1+000                  | B/D   | 5                          | 11      | 40            | 100        | 60           |     | 100 | 91     | 80  | 72   | 62   | 57   | 42    | 36     | 29     | 23                   | 31  | 17  | 14            | A-2-6 (0)                | 58 | 19 | 23                 |                 |                     |                       |       |             | Grava areno arcillosa color café claro                    |
| 1+250                  | B/I   | 6                          | 12      | 0             | 50         | 50           |     | 100 | 95     | 72  | 63   | 52   | 46   | 30    | 23     | 16     | 12                   | 30  | 21  | 10            | A-2-4 (0)                | 70 | 18 | 12                 |                 |                     |                       |       |             | Grava arenosa con limo color café oscuro                  |
| 1+250                  | B/I   | 6                          | 13      | 50            | 130        | 80           |     | 100 | 80     | 72  | 65   | 57   | 52   | 27    | 24     | 20     | 17                   | 49  | 32  | 17            | A-2-7 (0)                | 73 | 11 | 17                 |                 |                     |                       |       |             | Grava con arena y arcilla color café oscuro               |
| 1+500                  | L/C   | 7                          | 14      | 0             | 20         | 20           |     | 100 | 86     | 64  | 55   | 46   | 41   | 27    | 18     | 14     | 12                   | 35  | 21  | 13            | A-2-6 (0)                | 73 | 16 | 12                 |                 |                     |                       |       |             | Grava con arena y arcilla color marrón                    |
| 1+500                  | L/C   | 7                          | 15      | 20            | 150        | 130          |     |     |        | 100 | 96   | 90   | 75   | 35    | 34     | 30     | 28                   | 82  | 32  | 51            | A-2-7 (5)                | 65 | 7  | 28                 | 1,279.00        | 24.90               | 4.16                  | 9.02  | 11.34       | Grava arcillosa con poca arena color café claro           |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | 16      | 0             | 15         | 15           | 100 | 91  | 77     | 64  | 59   | 50   | 42   | 30    | 20     | 17     | 14                   | 22  | 13  | 9             | A-2-4 (0)                | 70 | 16 | 14                 |                 |                     |                       |       |             | Grava con arena y limo color café claro                   |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | 17      | 15            | 40         | 25           |     |     | 100    | 97  | 96   | 94   | 63   | 60    | 51     | 48     | 53                   | 33  | 20  |               | A-7-5 (7)                | 37 | 16 | 48                 | 1,144.00        | 48.20               | 1.11                  | 1.87  | 2.83        | Arcilla gravosa con arena color café oscuro               |
| 1+750                  | B/D   | 8                          | 18      | 40            | 150        | 110          |     |     |        |     |      | 100  | 66   | 64    | 56     | 46     | 66                   | 28  | 38  |               | A-7-6 (12)               | 34 | 20 | 46                 | 1,084.00        | 48.70               | 0.80                  | 1.93  | 2.13        | Arcilla gravo arenosa color café claro con pintas blancas |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | 19      | 0             | 30         | 30           |     |     | 100    | 85  | 68   | 52   | 45   | 29    | 21     | 17     | 13                   | 23  | 14  | 9             | A-2-4 (0)                | 71 | 16 | 13                 |                 |                     |                       |       |             | Grava con arena y limo color café oscuro                  |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | 20      | 30            | 75         | 45           |     | 100 | 92     | 82  | 74   | 67   | 52   | 38    | 31     | 25     | 21                   | 14  | 7   |               | A-2-4 (0)                | 48 | 27 | 25                 |                 |                     |                       |       |             | Grava areno limosa color café claro                       |
| 2+000                  | B/I   | 9                          | 21      | 75            | 110        | 35           |     |     | 100    | 97  | 86   | 67   | 26   | 23    | 22     | 20     | 40                   | 21  | 18  |               | A-2-6 (0)                | 74 | 6  | 20                 |                 |                     |                       |       |             | Grava arcillosa con poca arena color café oscuro          |

**Fuente:** Laboratorio LAMSA.

## ANEXO III-14: Soporte de resultado de ensayos de los Bancos

| CBR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |                        |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------|------------------|----------------------|---------------------|--|------------|-------------|-------------|---------|--|----------|----------|----------|--------|--|-------------|-------------|-------------|---------------|--|-----------|-----------|-----------|-----|--|--|--|--|-------------------|-----|------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------------------------|--|--|--|--|-----|--|--------|--------|--------|-----|--|--------|--------|--------|------|--|--------|--------|--------|----------------------------------|--|--|--|--|--|--|------|------|------|------------------|--|--|--|--|--|--|------|------|------|-------------|--|------------------|------------------|----------------------|
| AASHTO T-193                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      |                        |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| Cliente: MTI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      | Fecha: 26/11/2020      |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| Proyecto: Empalme San Gabriel- Empalme Las Cruces                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |      | Orden de Trabajo N°: - |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Datos de la Muestra</th> <th>S# 1, M# 1</th> <th>S# 5, M# 10</th> <th>S# 7, M# 15</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Proctor</td> <td>ESTANDAR</td> <td>ESTANDAR</td> <td>ESTANDAR</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Método</td> <td>AASHTO T-99</td> <td>AASHTO T-99</td> <td>AASHTO T-99</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Clasificación</td> <td>A-2-6 (0)</td> <td>A-2-4 (0)</td> <td>A-2-7 (0)</td> </tr> <tr> <td colspan="5">CBR</td> </tr> <tr> <td rowspan="6">A penetración de:</td> <td rowspan="2">90%</td> <td>0.1"</td> <td>5.90</td> <td>10.41</td> <td>3.47</td> </tr> <tr> <td>0.2"</td> <td>6.94</td> <td>9.02</td> <td>4.16</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">95%</td> <td>0.1"</td> <td>11.45</td> <td>17.70</td> <td>7.98</td> </tr> <tr> <td>0.2"</td> <td>12.49</td> <td>16.89</td> <td>9.02</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">100%</td> <td>0.1"</td> <td>17.35</td> <td>25.33</td> <td>11.10</td> </tr> <tr> <td>0.2"</td> <td>17.58</td> <td>24.75</td> <td>11.34</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Índice de Hinchamiento</td> </tr> <tr> <td colspan="2">90%</td> <td>1.1634</td> <td>0.7505</td> <td>1.9690</td> </tr> <tr> <td colspan="2">95%</td> <td>0.8725</td> <td>0.5556</td> <td>1.4849</td> </tr> <tr> <td colspan="2">100%</td> <td>0.5817</td> <td>0.3938</td> <td>1.1814</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Peso Vol. Máx. kg/m<sup>3</sup></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>1677</td> <td>2046</td> <td>1279</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Humedad Óptima %</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>15.5</td> <td>10.1</td> <td>24.9</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Procedencia</td> <td>Est. 0+000 B/Der</td> <td>Est. 1+000 B/Der</td> <td>Est. 1+500 L/Central</td> </tr> </tbody> </table> |      |                        |                  |                      | Datos de la Muestra |  | S# 1, M# 1 | S# 5, M# 10 | S# 7, M# 15 | Proctor |  | ESTANDAR | ESTANDAR | ESTANDAR | Método |  | AASHTO T-99 | AASHTO T-99 | AASHTO T-99 | Clasificación |  | A-2-6 (0) | A-2-4 (0) | A-2-7 (0) | CBR |  |  |  |  | A penetración de: | 90% | 0.1" | 5.90 | 10.41 | 3.47 | 0.2" | 6.94 | 9.02 | 4.16 | 95% | 0.1" | 11.45 | 17.70 | 7.98 | 0.2" | 12.49 | 16.89 | 9.02 | 100% | 0.1" | 17.35 | 25.33 | 11.10 | 0.2" | 17.58 | 24.75 | 11.34 | Índice de Hinchamiento |  |  |  |  | 90% |  | 1.1634 | 0.7505 | 1.9690 | 95% |  | 0.8725 | 0.5556 | 1.4849 | 100% |  | 0.5817 | 0.3938 | 1.1814 | Peso Vol. Máx. kg/m <sup>3</sup> |  |  |  |  |  |  | 1677 | 2046 | 1279 | Humedad Óptima % |  |  |  |  |  |  | 15.5 | 10.1 | 24.9 | Procedencia |  | Est. 0+000 B/Der | Est. 1+000 B/Der | Est. 1+500 L/Central |
| Datos de la Muestra                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      | S# 1, M# 1             | S# 5, M# 10      | S# 7, M# 15          |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| Proctor                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |      | ESTANDAR               | ESTANDAR         | ESTANDAR             |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| Método                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      | AASHTO T-99            | AASHTO T-99      | AASHTO T-99          |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| Clasificación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      | A-2-6 (0)              | A-2-4 (0)        | A-2-7 (0)            |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| CBR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |                        |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| A penetración de:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 90%  | 0.1"                   | 5.90             | 10.41                | 3.47                |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      | 0.2"                   | 6.94             | 9.02                 | 4.16                |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 95%  | 0.1"                   | 11.45            | 17.70                | 7.98                |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      | 0.2"                   | 12.49            | 16.89                | 9.02                |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 100% | 0.1"                   | 17.35            | 25.33                | 11.10               |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      | 0.2"                   | 17.58            | 24.75                | 11.34               |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| Índice de Hinchamiento                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |      |                        |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| 90%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      | 1.1634                 | 0.7505           | 1.9690               |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| 95%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      | 0.8725                 | 0.5556           | 1.4849               |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| 100%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |      | 0.5817                 | 0.3938           | 1.1814               |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| Peso Vol. Máx. kg/m <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |                        |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      | 1677                   | 2046             | 1279                 |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| Humedad Óptima %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |                        |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      | 15.5                   | 10.1             | 24.9                 |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| Procedencia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |      | Est. 0+000 B/Der       | Est. 1+000 B/Der | Est. 1+500 L/Central |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
| OBSERVACIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                        |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |                        |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |                        |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |                        |                  |                      |                     |  |            |             |             |         |  |          |          |          |        |  |             |             |             |               |  |           |           |           |     |  |  |  |  |                   |     |      |      |       |      |      |      |      |      |     |      |       |       |      |      |       |       |      |      |      |       |       |       |      |       |       |       |                        |  |  |  |  |     |  |        |        |        |     |  |        |        |        |      |  |        |        |        |                                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |                  |  |  |  |  |  |  |      |      |      |             |  |                  |                  |                      |



Reporte de Ensayo

Método AASHTO T-99

### Proctor Estandar

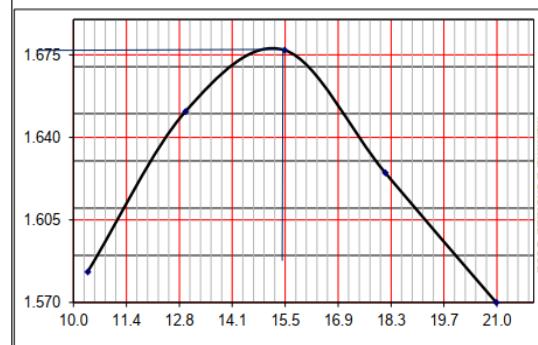
#### ENSAYO DENSIDAD HUMEDAD

CLIENTE: MTI

PROYECTO: Empalme San Gabriel- Empalme Las Cruces

FECHA: 21/11/2020

| Punto N°          | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | Metodo                     | D        | AASHTO T-99 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|----------|-------------|
| Agua añadida      |       |       |       |       |       | Ps. Martillo               | 5.5      | Libras      |
| Molde+suelo+agua  | 6,785 | 7,040 | 7,200 | 7,160 | 7,119 | Diametro                   | 4        | Pulgada     |
| Peso Molde        | 2,978 | 2,978 | 2,978 | 2,978 | 2,978 | Altura caída               | 12"      | Pulgada     |
| Suelo+agua        | 3,807 | 4,062 | 4,222 | 4,182 | 4,141 | Vol. Molde                 | 2,179.27 | Cm3         |
| Suelo             | 1,747 | 1,864 | 1,937 | 1,919 | 1,900 | Ps. Molde                  | 2,978.00 | Grs         |
| Densidad seca     | 1.583 | 1.651 | 1.677 | 1.625 | 1.570 | Ps. Muestra                | 3,000    | Grs         |
|                   |       |       |       |       |       | N° Capas                   | 3        |             |
|                   |       |       |       |       |       | N° golpes                  | 56       | P/capas     |
|                   |       |       |       |       |       | % H um.Opt. Sin corregir   | 15.5     |             |
|                   |       |       |       |       |       | Densidad Max. Sin corregir | 1.677    |             |
| Humedad N°        | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |                            |          |             |
| Tara+suelo hum.   | 187.4 | 186.9 | 187.2 | 188.0 | 187.5 |                            |          |             |
| Tara+suelo seco.  | 174.5 | 171.2 | 168.8 | 166.9 | 163.6 |                            |          |             |
| Peso tara         | 50.1  | 49.7  | 50.1  | 50.5  | 49.9  |                            |          |             |
| Peso suelo seco   | 124.4 | 121.5 | 118.7 | 116.4 | 113.7 |                            |          |             |
| Contenido de agua | 12.9  | 15.7  | 18.4  | 21.1  | 23.9  |                            |          |             |
| % Humedad         | 10.4  | 12.9  | 15.5  | 18.1  | 21.0  |                            |          |             |



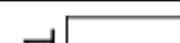
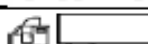
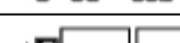
|                         |       |
|-------------------------|-------|
| % Humedad Óptima:       | 15.5  |
| Densidad Máxima         | 1.677 |
| Densidad Humedad        | 1.937 |
| Densidad max. Corregida | 1722  |
| % Humedad Corregida     | 15.5  |

OBSERVACIONES:

Fuente: Laboratorio LAMSA.

## **ANEXOS CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE TRÁNSITO.**

### ANEXO IV-1: Diagrama de cargas permisibles (Vehículos Pesados)

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

Fuente: Departamento de Vialidad MTI /Doc. Clasificación Vehicular.

### ANEXO IV-2: Diagrama de cargas permisibles (Vehículos Livianos)

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

Fuente: Departamento de Vialidad MTI /Doc. Clasificación Vehicular.



ANEXO IV-3: Supuestos económicos oficiales del país

10

Capítulo I: Sector real

Banco Central de Nicaragua - "Anuario de estadísticas macroeconómicas 2024"

Cuadro - Table I-1

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

(millones de córdobas constantes - millions of 2006 cordobas)

| Conceptos - Concepts                                                     | 2010      | 2011      | 2012      | 2013      | 2014      | 2015      | 2016      | 2017      | 2018      | 2019      | 2020      | 2021 <sup>p/</sup> | 2022 <sup>e/</sup> | 2023 <sup>p/</sup> | 2024 <sup>m/</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Producto interno bruto - Gross domestic product                          | 130,416.3 | 138,654.2 | 147,661.4 | 154,936.8 | 162,351.3 | 170,131.6 | 177,894.9 | 186,133.6 | 179,873.3 | 174,662.6 | 170,756.2 | 188,607.7          | 195,303.8          | 203,951.4          | 211,268.8          |
| Más - Plus: Impuestos netos a los productos - Net taxes on products      | 12,186.8  | 13,385.7  | 14,561.4  | 14,973.4  | 15,643.0  | 16,986.3  | 17,884.3  | 18,455.6  | 16,882.5  | 16,393.5  | 15,695.5  | 17,896.9           | 19,050.6           | 20,708.0           | 22,001.9           |
| Total industrias - All industries                                        |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                    |                    |                    |                    |
| Agricultura - Agriculture                                                | 10,754.8  | 11,580.4  | 11,852.9  | 11,534.4  | 11,495.9  | 11,518.9  | 12,486.6  | 13,366.4  | 13,874.9  | 14,572.1  | 14,372.8  | 15,373.4           | 15,513.2           | 14,569.4           | 14,520.1           |
| Pecuario - Livestock                                                     | 8,610.0   | 8,897.6   | 8,207.6   | 8,022.7   | 8,322.8   | 8,241.9   | 8,412.9   | 9,571.3   | 9,233.5   | 9,655.8   | 9,790.5   | 10,512.4           | 10,437.6           | 10,585.9           | 10,724.2           |
| Silvicultura y extracción de madera - Forestry                           | 1,513.9   | 1,602.6   | 1,632.8   | 1,643.5   | 1,658.8   | 1,659.6   | 1,619.4   | 1,624.9   | 1,566.5   | 1,550.2   | 1,536.0   | 1,560.0            | 1,589.9            | 1,612.3            | 1,628.0            |
| Pesca y acuicultura - Fishing                                            | 1,415.8   | 1,358.6   | 1,523.5   | 1,601.7   | 1,883.6   | 1,752.3   | 1,711.8   | 1,874.7   | 2,068.1   | 1,980.0   | 1,839.3   | 2,080.0            | 2,228.7            | 1,902.6            | 1,737.2            |
| Explotación de minas y canteras - Mining and quarrying                   | 1,483.5   | 1,864.6   | 2,068.4   | 2,531.6   | 2,541.1   | 2,533.8   | 2,740.8   | 2,535.8   | 2,731.2   | 3,163.7   | 3,408.7   | 4,531.4            | 4,570.3            | 5,187.1            | 5,159.8            |
| Industrias manufactureras - Manufacturing                                | 17,486.2  | 19,207.7  | 21,170.6  | 22,554.0  | 24,260.9  | 24,863.2  | 25,774.9  | 26,511.4  | 26,915.1  | 26,325.5  | 26,789.0  | 30,721.8           | 32,305.6           | 33,118.9           | 33,268.7           |
| Construcción - Construction                                              | 2,632.6   | 2,917.0   | 3,706.2   | 4,113.2   | 4,186.6   | 5,251.2   | 5,179.0   | 5,623.4   | 4,850.3   | 3,277.2   | 3,578.7   | 4,806.1            | 4,230.3            | 4,588.7            | 5,418.5            |
| Electricidad - Electricity                                               | 1,765.9   | 1,715.7   | 2,076.1   | 2,566.7   | 2,890.3   | 2,943.9   | 2,971.7   | 2,838.6   | 2,933.8   | 2,858.3   | 2,033.3   | 2,255.8            | 2,298.7            | 2,591.1            | 2,644.1            |
| Agua - Water supply                                                      | 683.0     | 936.6     | 984.5     | 973.6     | 983.6     | 1,011.1   | 1,067.2   | 1,095.7   | 1,147.8   | 1,150.8   | 1,232.7   | 1,275.1            | 1,309.5            | 1,360.0            | 1,417.3            |
| Comercio - Trade                                                         | 14,597.8  | 16,073.6  | 17,218.0  | 17,724.0  | 18,402.8  | 19,548.4  | 20,485.9  | 21,438.7  | 19,849.3  | 19,696.5  | 19,787.5  | 22,864.3           | 24,519.6           | 26,277.4           | 27,918.5           |
| Hoteles y restaurantes - Hotels and restaurants                          | 3,801.8   | 3,986.8   | 4,283.1   | 4,537.1   | 4,656.0   | 4,835.8   | 5,139.8   | 5,898.0   | 4,597.1   | 4,705.5   | 3,599.9   | 3,977.8            | 5,116.2            | 6,361.8            | 7,044.7            |
| Transporte y comunicaciones - Transport and communication                | 10,299.5  | 11,601.0  | 12,294.2  | 12,962.8  | 13,517.6  | 14,560.0  | 15,586.6  | 16,488.3  | 15,392.8  | 14,606.5  | 13,009.1  | 14,114.3           | 15,294.3           | 15,989.6           | 16,687.6           |
| Intermediación financiera y servicios conexos - Financial intermediation | 4,613.3   | 4,425.1   | 4,612.9   | 5,011.4   | 5,592.8   | 5,981.0   | 6,490.3   | 6,771.2   | 6,311.7   | 5,107.6   | 4,334.7   | 4,247.9            | 4,391.7            | 4,590.7            | 4,852.6            |
| Propiedad de vivienda - Housing                                          | 10,234.2  | 10,379.0  | 10,527.1  | 10,853.7  | 11,129.6  | 11,479.8  | 11,850.6  | 12,268.1  | 12,263.6  | 12,244.7  | 12,277.3  | 12,351.0           | 12,491.3           | 12,693.8           | 12,947.1           |
| Administración pública y defensa - Public administration and defense     | 7,671.6   | 8,052.7   | 8,392.4   | 8,867.5   | 9,250.9   | 9,560.3   | 10,189.3  | 10,759.8  | 10,757.6  | 10,809.2  | 10,985.2  | 11,125.4           | 11,279.8           | 11,401.3           | 11,459.8           |
| Enseñanza - Education                                                    | 5,744.8   | 5,916.0   | 6,105.0   | 6,197.6   | 6,327.7   | 6,557.3   | 6,792.5   | 6,983.4   | 7,062.0   | 7,138.8   | 7,161.0   | 7,284.1            | 7,325.0            | 7,390.1            | 7,476.0            |
| Salud - Health                                                           | 2,981.4   | 2,999.7   | 3,154.2   | 3,571.7   | 3,642.2   | 3,859.3   | 4,045.1   | 4,316.6   | 4,399.4   | 4,463.9   | 4,650.3   | 4,780.5            | 4,909.1            | 4,996.8            | 5,042.5            |
| Otros servicios - Other services                                         | 13,787.0  | 13,497.9  | 14,353.1  | 15,105.5  | 16,610.8  | 17,349.2  | 18,209.6  | 18,496.2  | 18,103.3  | 17,364.4  | 17,345.6  | 17,831.8           | 18,533.4           | 19,176.4           | 19,541.4           |

p/

: Preliminar - Preliminary.

e/

: Estimado - Estimated.

Nota - Note

: De 2010-2024, la discrepancia estadística entre la sumatoria de los componentes está explicada por la aplicación de la metodología de encadenamiento para obtener los valores constantes - From 2010 - 2024, the statistical discrepancy between the sum of the components is explained by the application of the chaining methodology to obtain the constant values.

Fuente - Source

: BCN - Central Bank of Nicaragua.

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2024, Banco Central de Nicaragua. Pág. 10.

ANEXO III-18: Supuestos económicos oficiales del país PIB%

Cuadro - Table I-2

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

(tasas de crecimiento - Growth rate)

| Conceptos - Concepts                                                     | 2010   | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018   | 2019   | 2020   | 2021 <sup>p/</sup> | 2022 <sup>e/</sup> | 2023 <sup>p/</sup> | 2024 <sup>m/</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Producto interno bruto - Gross domestic product                          | 4.4    | 6.3   | 6.5   | 4.9   | 4.8   | 4.8   | 4.6   | 4.6   | (3.4)  | (2.9)  | (2.2)  | 10.5               | 3.6                | 4.4                | 3.6                |
| Más - Plus: Impuestos netos a los productos - Net taxes on products      | 1.1    | 9.8   | 8.8   | 2.8   | 4.5   | 8.6   | 5.3   | 3.2   | (8.5)  | (2.9)  | (4.3)  | 14.0               | 6.4                | 8.7                | 6.2                |
| Total industrias - All industries                                        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        |                    |                    |                    |                    |
| Agricultura - Agriculture                                                | 2.6    | 7.7   | 2.4   | (2.7) | (0.3) | 0.2   | 8.4   | 7.0   | 3.8    | 5.0    | (1.4)  | 7.0                | 0.9                | (6.1)              | (0.3)              |
| Pecuario - Livestock                                                     | 2.5    | 3.3   | (7.8) | (2.3) | 3.7   | (1.0) | 2.1   | 13.8  | (3.5)  | 4.6    | 1.4    | 7.4                | (0.7)              | 1.4                | 1.3                |
| Silvicultura y extracción de madera - Forestry                           | 0.7    | 5.9   | 1.9   | 0.7   | 0.9   | 0.0   | (2.4) | 0.3   | (3.6)  | (1.0)  | (0.9)  | 1.6                | 1.9                | 1.4                | 1.0                |
| Pesca y acuicultura - Fishing                                            | 5.3    | (4.0) | 12.1  | 5.1   | 17.6  | (7.0) | (2.3) | 9.5   | 10.3   | (4.3)  | (7.1)  | 13.1               | 7.2                | (14.6)             | (8.7)              |
| Explotación de minas y canteras - Mining and quarrying                   | 51.6   | 25.7  | 10.9  | 22.4  | 0.4   | (0.3) | 8.2   | (7.5) | 7.7    | 15.8   | 7.7    | 32.9               | 0.9                | 13.5               | (0.5)              |
| Industrias manufactureras - Manufacturing                                | 8.9    | 9.8   | 10.2  | 6.5   | 7.6   | 2.5   | 3.7   | 2.9   | 1.5    | (2.2)  | 1.8    | 14.7               | 5.2                | 2.5                | 0.5                |
| Construcción - Construction                                              | (17.2) | 10.8  | 27.1  | 11.0  | 1.8   | 25.4  | (1.4) | 8.6   | (13.7) | (32.4) | 9.2    | 34.3               | (12.0)             | 8.5                | 18.1               |
| Electricidad - Electricity                                               | 3.9    | (2.8) | 21.0  | 23.6  | 12.6  | 1.9   | 0.9   | (4.5) | 3.4    | (2.6)  | (28.9) | 10.9               | 1.9                | 12.7               | 2.0                |
| Agua - Water supply                                                      | 2.3    | 37.1  | 5.1   | (1.1) | 1.0   | 2.8   | 5.5   | 2.7   | 4.8    | 0.3    | 7.1    | 3.4                | 2.7                | 3.9                | 4.2                |
| Comercio - Trade                                                         | 7.8    | 10.1  | 7.1   | 2.9   | 3.8   | 6.2   | 4.8   | 4.7   | (7.4)  | (0.8)  | 0.5    | 15.5               | 7.2                | 7.2                | 6.2                |
| Hoteles y restaurantes - Hotels and restaurants                          | 5.6    | 4.9   | 7.4   | 5.9   | 2.6   | 3.9   | 6.3   | 14.8  | (22.1) | 2.4    | (23.5) | 10.5               | 28.6               | 24.3               | 10.7               |
| Transporte y comunicaciones - Transport and communication                | 17.5   | 12.6  | 6.0   | 5.4   | 4.3   | 7.7   | 7.1   | 5.8   | (6.6)  | (5.1)  | (10.9) | 8.5                | 8.4                | 4.5                | 4.4                |
| Intermediación financiera y servicios conexos - Financial intermediation | (7.5)  | (4.1) | 4.2   | 8.6   | 11.6  | 6.9   | 8.5   | 4.3   | (6.8)  | (19.1) | (15.1) | (2.0)              | 3.4                | 4.5                | 5.7                |
| Propiedad de vivienda - Housing                                          | (0.9)  | 1.4   | 1.4   | 3.1   | 2.5   | 3.1   | 3.2   | 3.5   | (0.0)  | (0.2)  | 0.3    | 0.6                | 1.1                | 1.6                | 2.0                |
| Administración pública y defensa - Public administration and defense     | 4.7    | 5.0   | 4.2   | 5.7   | 4.3   | 3.3   | 6.6   | 5.6   | (0.0)  | 0.5    | 1.4    | 1.5                | 1.4                | 1.1                | 0.5                |
| Enseñanza - Education                                                    | 0.3    | 3.0   | 3.2   | 1.5   | 2.1   | 3.6   | 3.6   | 2.8   | 1.1    | 1.1    | 0.3    | 1.7                | 0.6                | 0.9                | 1.2                |
| Salud - Health                                                           | 0.3    | 0.6   | 5.2   | 13.2  | 2.0   | 6.0   | 4.8   | 6.7   | 1.9    | 1.5    | 4.2    | 2.8                | 2.7                | 1.8                | 0.9                |
| Otros servicios - Other services                                         | 9.2    | (2.1) | 6.3   | 5.2   | 10.0  | 4.4   | 5.0   | 1.6   | (2.1)  | (4.1)  | (0.1)  | 2.8                | 3.9                | 3.5                | 1.9                |

p/

: Preliminar - Preliminary.

e/

: Estimado - Estimated.

Nota - Note

: Tasas de variación año de referencia 2006 - Figures based reference years 2006.

Fuente - Source

: BCN - Central Bank of Nicaragua.

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2024, Banco Central de Nicaragua. Pág.11.



#### ANEXO IV-4: Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Simples. Pt=2.5

| Carga p/eje<br>(kips) | Número estructural SN |        |        |        |        |        |
|-----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                       | 1                     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| 2                     | 0.0004                | 0.0004 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| 4                     | 0.003                 | 0.004  | 0.004  | 0.003  | 0.002  | 0.002  |
| 6                     | 0.011                 | 0.017  | 0.017  | 0.013  | 0.010  | 0.009  |
| 8                     | 0.032                 | 0.047  | 0.051  | 0.041  | 0.034  | 0.031  |
| 10                    | 0.078                 | 0.102  | 0.118  | 0.102  | 0.088  | 0.080  |
| 12                    | 0.168                 | 0.198  | 0.229  | 0.213  | 0.189  | 0.176  |
| 14                    | 0.328                 | 0.358  | 0.399  | 0.388  | 0.360  | 0.342  |
| 16                    | 0.591                 | 0.613  | 0.646  | 0.645  | 0.623  | 0.606  |
| 18                    | 1.00                  | 1.00   | 1.00   | 1.00   | 1.00   | 1.00   |
| 20                    | 1.61                  | 1.57   | 1.49   | 1.47   | 1.51   | 1.55   |
| 22                    | 2.48                  | 2.38   | 2.17   | 2.09   | 2.18   | 2.30   |
| 24                    | 3.69                  | 3.49   | 3.09   | 2.89   | 3.03   | 3.27   |
| 26                    | 5.33                  | 4.99   | 4.31   | 3.91   | 4.09   | 4.48   |
| 28                    | 7.49                  | 6.98   | 5.90   | 5.21   | 5.39   | 5.98   |
| 30                    | 10.3                  | 9.5    | 7.9    | 6.8    | 7.0    | 7.8    |
| 32                    | 13.9                  | 12.8   | 10.5   | 8.8    | 8.9    | 10.0   |
| 34                    | 18.4                  | 16.9   | 13.7   | 11.3   | 11.2   | 12.5   |
| 36                    | 24.0                  | 22.0   | 17.7   | 14.4   | 13.9   | 15.5   |
| 38                    | 30.9                  | 28.3   | 22.6   | 18.1   | 17.2   | 19.0   |
| 40                    | 39.3                  | 35.9   | 28.5   | 22.5   | 21.1   | 23.0   |
| 42                    | 49.3                  | 45.0   | 35.6   | 27.8   | 25.6   | 27.7   |
| 44                    | 61.3                  | 55.9   | 44.0   | 34.0   | 31.0   | 33.1   |
| 46                    | 75.5                  | 68.8   | 54.0   | 41.4   | 37.2   | 39.3   |
| 48                    | 92.2                  | 83.9   | 65.7   | 50.1   | 44.5   | 46.5   |
| 50                    | 112.                  | 102    | 79.    | 60.    | 53.    | 55.    |

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

# ANEXO IV-5: Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem. Pt=2.5

| Carga p/eje<br>(kips) | Número estructural SN |        |        |        |        |        |
|-----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                       | 1                     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| 2                     | 0.0001                | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4                     | 0.0005                | 0.0005 | 0.0004 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0002 |
| 6                     | 0.002                 | 0.002  | 0.002  | 0.001  | 0.001  | 0.001  |
| 8                     | 0.004                 | 0.006  | 0.005  | 0.004  | 0.003  | 0.003  |
| 10                    | 0.008                 | 0.013  | 0.011  | 0.009  | 0.007  | 0.006  |
| 12                    | 0.015                 | 0.024  | 0.023  | 0.018  | 0.014  | 0.013  |
| 14                    | 0.026                 | 0.041  | 0.042  | 0.033  | 0.027  | 0.024  |
| 16                    | 0.044                 | 0.065  | 0.070  | 0.057  | 0.047  | 0.043  |
| 18                    | 0.070                 | 0.097  | 0.109  | 0.092  | 0.077  | 0.070  |
| 20                    | 0.107                 | 0.141  | 0.162  | 0.141  | 0.121  | 0.110  |
| 22                    | 0.160                 | 0.198  | 0.229  | 0.207  | 0.180  | 0.166  |
| 24                    | 0.231                 | 0.273  | 0.315  | 0.292  | 0.260  | 0.242  |
| 26                    | 0.327                 | 0.370  | 0.420  | 0.401  | 0.364  | 0.342  |
| 28                    | 0.451                 | 0.493  | 0.548  | 0.534  | 0.495  | 0.470  |
| 30                    | 0.611                 | 0.648  | 0.703  | 0.695  | 0.658  | 0.633  |
| 32                    | 0.813                 | 0.843  | 0.889  | 0.887  | 0.857  | 0.834  |
| 34                    | 1.06                  | 1.08   | 1.11   | 1.11   | 1.09   | 1.08   |
| 36                    | 1.38                  | 1.38   | 1.38   | 1.38   | 1.38   | 1.38   |
| 38                    | 1.75                  | 1.73   | 1.69   | 1.68   | 1.70   | 1.73   |
| 40                    | 2.21                  | 2.16   | 2.06   | 2.03   | 2.08   | 2.14   |
| 42                    | 2.76                  | 2.67   | 2.49   | 2.43   | 2.51   | 2.61   |
| 44                    | 3.41                  | 3.27   | 2.99   | 2.88   | 3.00   | 3.16   |
| 46                    | 4.18                  | 3.98   | 3.58   | 3.40   | 3.55   | 3.79   |
| 48                    | 5.08                  | 4.80   | 4.25   | 3.98   | 4.17   | 4.49   |
| 50                    | 6.12                  | 5.76   | 5.03   | 4.64   | 4.86   | 5.28   |
| 52                    | 7.33                  | 6.87   | 5.93   | 5.38   | 5.63   | 6.17   |
| 54                    | 8.72                  | 8.14   | 6.95   | 6.22   | 6.47   | 7.15   |
| 56                    | 10.3                  | 9.6    | 8.1    | 7.2    | 7.4    | 8.2    |
| 58                    | 12.1                  | 11.3   | 9.4    | 8.2    | 8.4    | 9.4    |
| 60                    | 14.2                  | 13.1   | 10.9   | 9.4    | 9.6    | 10.7   |
| 62                    | 16.5                  | 15.3   | 12.6   | 10.7   | 10.8   | 12.1   |
| 64                    | 19.1                  | 17.6   | 14.5   | 12.2   | 12.2   | 13.7   |
| 66                    | 22.1                  | 20.3   | 16.6   | 13.8   | 13.7   | 15.4   |
| 68                    | 26.3                  | 23.3   | 18.9   | 15.6   | 15.4   | 17.2   |
| 70                    | 29.0                  | 26.6   | 21.5   | 17.6   | 17.2   | 19.2   |
| 72                    | 33.0                  | 30.3   | 24.4   | 19.8   | 19.2   | 21.3   |
| 74                    | 37.5                  | 34.4   | 27.6   | 22.2   | 21.3   | 23.6   |
| 76                    | 42.5                  | 38.9   | 31.1   | 24.8   | 23.7   | 26.1   |
| 78                    | 48.0                  | 43.9   | 35.0   | 27.8   | 26.2   | 28.8   |
| 80                    | 54.0                  | 49.4   | 39.2   | 30.9   | 29.0   | 31.7   |
| 82                    | 60.6                  | 55.4   | 43.9   | 34.4   | 32.0   | 34.8   |
| 84                    | 67.8                  | 61.9   | 49.0   | 38.2   | 35.3   | 38.1   |
| 86                    | 75.7                  | 69.1   | 54.5   | 42.3   | 38.8   | 41.7   |
| 88                    | 84.3                  | 76.9   | 60.6   | 46.8   | 42.6   | 45.6   |
| 90                    | 93.7                  | 85.4   | 67.1   | 51.7   | 46.8   | 49.7   |

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

## ANEXO IV-6: Interpolación de factores de Equivalencia (FESAL)

| Tipo de vehículos | Peso X eje(Ton.met) | Peso X eje (Kips) | Tipo de eje | Xm | Ym                                         | XM | YM    | Fact. Esal= |
|-------------------|---------------------|-------------------|-------------|----|--------------------------------------------|----|-------|-------------|
| Autos             | 1                   | 2.2               | Simple      | 2  | 0.0002                                     | 4  | 0.002 | 0.00038     |
|                   | 1                   | 2.2               | Simple      | 2  | 0.0002                                     | 4  | 0.002 | 0.00038     |
| Jeep              | 1                   | 2.2               | Simple      | 2  | 0.0002                                     | 4  | 0.002 | 0.00038     |
|                   | 1                   | 2.2               | Simple      | 2  | 0.0002                                     | 4  | 0.002 | 0.00038     |
| Camionetas        | 1                   | 2.2               | Simple      | 2  | 0.0002                                     | 4  | 0.002 | 0.00038     |
|                   | 2                   | 4.4               | Simple      | 4  | 0.002                                      | 6  | 0.01  | 0.0036      |
| McBus<15 pas      | 2                   | 4.4               | Simple      | 4  | 0.002                                      | 6  | 0.01  | 0.0036      |
|                   | 4                   | 8.8               | Simple      | 8  | 0.034                                      | 10 | 0.088 | 0.0556      |
| MnBus > 15 pas    | 4                   | 8.8               | Simple      | 8  | 0.034                                      | 10 | 0.088 | 0.0556      |
|                   | 8                   | 17.6              | Simple      | 16 | 0.623                                      | 18 | 1     | 0.9246      |
| Bus               | 5                   | 11                | Simple      | 10 | 0.088                                      | 12 | 0.189 | 0.1385      |
|                   | 10                  | 22                | Simple      | 22 |                                            |    |       | 2.18        |
| C2 Liv            | 4                   | 8.8               | Simple      | 8  | 0.034                                      | 10 | 0.088 | 0.0556      |
|                   | 8                   | 17.6              | Simple      | 16 | 0.623                                      | 18 | 1     | 0.9246      |
| C2 5 +ton         | 5                   | 11                | Simple      | 10 | 0.088                                      | 12 | 0.189 | 0.1385      |
|                   | 10                  | 22                | Simple      | 22 |                                            |    |       | 2.18        |
| C3                | 5                   | 11                | Simple      | 10 | 0.088                                      | 12 | 0.189 | 0.1385      |
|                   | 16.5                | 36.3              | Doble       | 36 | 1.38                                       | 38 | 1.7   | 1.428       |
| T3-S2             | 5                   | 11                | Simple      | 10 | 0.088                                      | 12 | 0.189 | 0.1385      |
|                   | 16                  | 35.2              | Doble       | 34 | 1.09                                       | 36 | 1.38  | 1.264       |
|                   | 16                  | 35.2              | Doble       | 34 | 1.09                                       | 36 | 1.38  | 1.264       |
| V.C.              | 4.5                 | 9.9               | simple      | 8  | 0.034                                      | 10 | 0.088 | 0.0853      |
|                   | 6.5                 | 14.3              | simple      | 14 | 0.36                                       | 16 | 0.623 | 0.39945     |
|                   |                     |                   |             |    | Fact. Esal=[((YM-Ym)/(XM-Xm))* (X-Xm)]]+Ym |    |       |             |

Fuente: Elaboración propia.

## **ANEXOS CAPÍTULO V: DISEÑO GEOMÉTRICO.**

## ANEXO V-1: Vehículo de Diseño

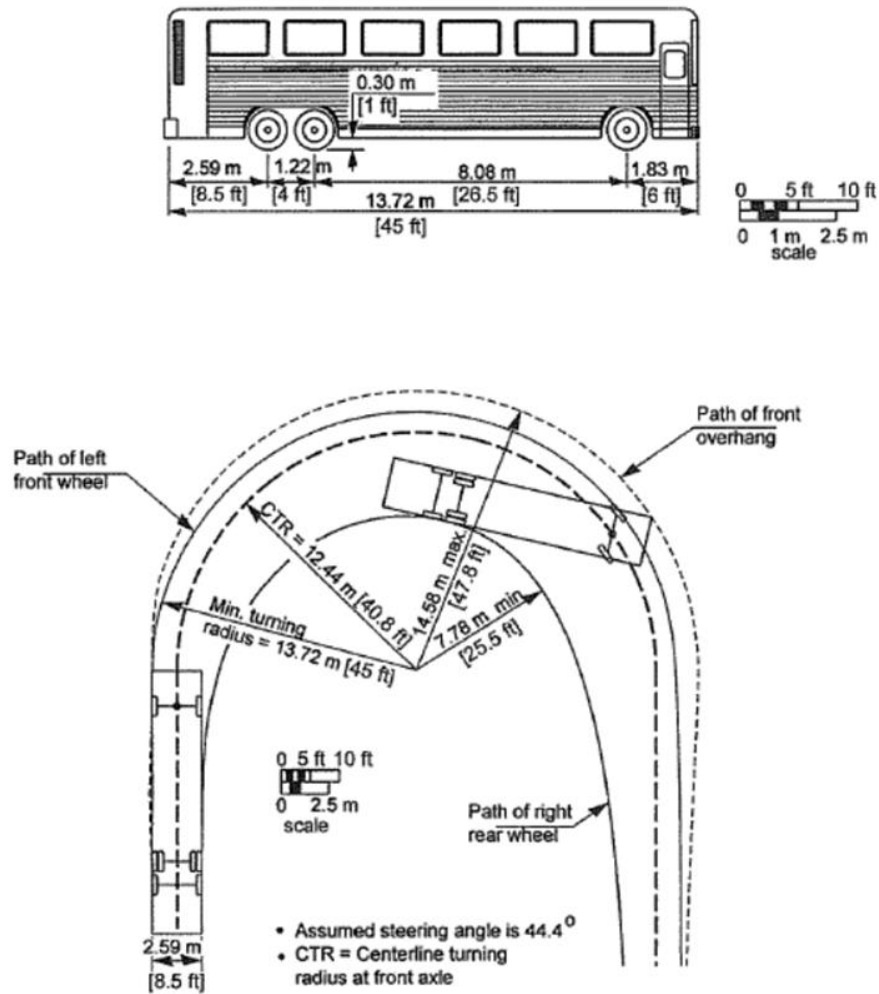


Figura A1.6. Mínima Trayectoria de Giro para Vehículo de Diseño Bus Interurbano (BUS-14)

**Fuente:** Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales – SIECA - 2004

## ANEXO V-2: Distancia de visión para Rebasar/Adelantar (DVP/DVR)

| DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO Y PROYECCIÓN DE LA GEOMETRÍA ALTIMETRICA DEL PROYECTO. |          |      |           |                      |                     |                              | DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA |         |      | DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE |       |    |     |       | TIPO DE CURVA VERTICAL. |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|-----------|----------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------------|---------|------|------------------------------------|-------|----|-----|-------|-------------------------|
|                                                                                      | PVI      |      | PVI       | Pendiente de Entrada | Pendiente de Salida | Diferencia Algebraica de las |                                    |         |      |                                    |       |    |     |       |                         |
| No.                                                                                  | Estación |      | Elevación |                      |                     | Pendientes                   | Reacción                           | Frenado | DVP  | d1                                 | d2    | d3 | d4  | DVR   |                         |
| 1                                                                                    | 0+035    | 0035 | 1011.3    | -1.94%               | -7.77%              | -5.83%                       | 41.7                               | 43.5    | 85.2 | 55.1                               | 170.6 | 40 | 114 | 379.5 | Cresta                  |
| 2                                                                                    | 0+100    | 0100 | 1006.25   | -7.77%               | -9.31%              | -1.54%                       | 41.7                               | 43.5    | 85.2 | 55.1                               | 170.6 | 40 | 114 | 379.5 | Cresta                  |
| 3                                                                                    | 0+165    | 0165 | 1000.2    | -9.31%               | -6.53%              | 2.78%                        |                                    |         |      |                                    |       |    |     |       | Columpio                |
| 4                                                                                    | 0+250    | 0250 | 994.65    | -6.53%               | 0.85%               | 7.38%                        |                                    |         |      |                                    |       |    |     |       | Columpio                |
| 5                                                                                    | 0+380    | 0380 | 995.75    | 0.85%                | 0.00%               | -0.85%                       | 41.7                               | 43.5    | 85.2 | 55.1                               | 170.6 | 40 | 114 | 379.5 | Cresta                  |
| 6                                                                                    | 0+520    | 0520 | 995.75    | 0.00%                | 2.65%               | 2.65%                        |                                    |         |      |                                    |       |    |     |       | Columpio                |
| 7                                                                                    | 0+790    | 0790 | 1002.9    | 2.65%                | -0.93%              | -3.58%                       | 41.7                               | 43.5    | 85.2 | 55.1                               | 170.6 | 40 | 114 | 379.5 | Cresta                  |
| 8                                                                                    | 1+010    | 1010 | 1000.85   | -0.93%               | 0.87%               | 1.80%                        |                                    |         |      |                                    |       |    |     |       | Columpio                |
| 9                                                                                    | 1+200    | 1200 | 1002.5    | 0.87%                | 4.14%               | 3.27%                        |                                    |         |      |                                    |       |    |     |       | Columpio                |
| 10                                                                                   | 1+385    | 1385 | 1010.15   | 4.14%                | 7.13%               | 2.99%                        |                                    |         |      |                                    |       |    |     |       | Columpio                |
| 11                                                                                   | 1+540    | 1540 | 1021.2    | 7.13%                | 0.50%               | -6.63%                       | 41.7                               | 43.5    | 85.2 | 55.1                               | 170.6 | 40 | 114 | 379.5 | Cresta                  |
| 12                                                                                   | 1+670    | 1670 | 1021.85   | 0.50%                | 6.68%               | 6.18%                        |                                    |         |      |                                    |       |    |     |       | Columpio                |
| 13                                                                                   | 1+870    | 1870 | 1035.2    | 6.68%                | -1.52%              | -8.20%                       | 41.7                               | 43.6    | 85.3 | 55.1                               | 170.6 | 40 | 114 | 379.5 | Cresta                  |

Fuente: Elaboración propia.

### ANEXO V-3: Distribución de Peralte para Radios

| Nº CURVA                                                 | ESTACIÓN DEL PI | ESTACIÓN DEL PC | ESTACIÓN DEL PT | RADIO DE LA CURVA(m) | PERALTE CALCULADO EN %. | PERALTE ASUMIDO EN %. | Gc         |
|----------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|------------|
| 1                                                        | 0+249.96        | 0+209.043       | 0+290.291       | 275                  | 3.29%                   | 3.5                   | 4.16698182 |
|                                                          |                 |                 |                 |                      |                         |                       |            |
| 2                                                        | 0+381.00        | 0+355.497       | 0+406.086       | 160                  | 5.05%                   | 5                     | 7.162      |
|                                                          |                 |                 |                 |                      |                         |                       |            |
| 3                                                        | 0+521.70        | 0+483.489       | 0+557.48        | 120                  | 5.45%                   | 5.5                   | 9.54933333 |
|                                                          |                 |                 |                 |                      |                         |                       |            |
| 4                                                        | 0+792.110       | 0+698.875       | 0+882.753       | 450                  | 2.01%                   | *3                    | 2.54648889 |
|                                                          |                 |                 |                 |                      |                         |                       |            |
| 5                                                        | 1+538.31        | 1+445.06        | 1+628.963       | 450                  | 2.01%                   | *3                    | 2.54648889 |
|                                                          |                 |                 |                 |                      |                         |                       |            |
| 6                                                        | 1+871.07        | 1+798.01        | 1+939.499       | 230                  | 3.93%                   | 4                     | 4.98226087 |
|                                                          |                 |                 |                 |                      |                         |                       |            |
| * Corona Normal (sección con bombeo del 3.0%).           |                 |                 |                 |                      |                         |                       |            |
| ** Corona Inversa (sección con peralte mínimo del 3.0%). |                 |                 |                 |                      |                         |                       |            |

**Fuente:** Elaboración propia.

## ANEXO V-4: Sobre anchos en curvas

| CURVA No.                                                                                                                                                                 | ESTACIÓN DEL PI | ESTACIÓN DEL PC | ESTACIÓN DEL PT | PERALTE CALCULADO | PERALTE POR USAR                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | SOBRE ANCHO CALCULADO (m) | SOBRE ANCHO A USAR (m) | LONGITUD DE TRANSICIÓN (LT) (m) | LONGITUD/REVERTIR CORONA (N) (m) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                         | 0+249.96        | 0+209.043       | 0+290.291       | 3.29%             | 3.5%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0.70                      | 0.8                    | 30.64                           | 14.14                            |
| 2                                                                                                                                                                         | 0+381.00        | 0+355.497       | 0+406.086       | 5.05%             | 5%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1.20                      | 1.25                   | 37.71                           | 14.14                            |
| 3                                                                                                                                                                         | 0+521.70        | 0+483.489       | 0+557.48        | 5.45%             | 5.5%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 1.60                      | 1.6                    | 40.07                           | 14.14                            |
| 4                                                                                                                                                                         | 0+792.110       | 0+698.875       | 0+882.753       | 2.01%             | *3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.43                      | 0.6                    | 28.29                           | 14.14                            |
| 5                                                                                                                                                                         | 1+538.31        | 1+445.06        | 1+628.963       | 2.01%             | *3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.43                      | 0.6                    | 28.29                           | 14.14                            |
| 6                                                                                                                                                                         | 1+871.07        | 1+798.01        | 1+939.499       | 3.93%             | 4%                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0.84                      | 0.9                    | 33                              | 14.14                            |
| <b>Datos utilizados para el cálculo de S, LT y N:</b>                                                                                                                     |                 |                 |                 |                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                           |                        |                                 |                                  |
| <b>Rmin:</b> 113.00 mt.<br><b>Vd:</b> 60.00 KPH<br><b>Vr:</b> 55.00 KPH<br><b>emáx:</b> 8.00%<br><b>emín:</b> 3.00%<br><b>Sa min:</b> 0.60 mt.<br><b>Sa máx:</b> 1.80 mt. |                 |                 |                 |                   | <b>f:</b> 0.17S/U<br><b>L:</b> 13.72 mt.<br><b>m:</b> 1/143 (0.70 %)<br><b>a:</b> 3.30 mt.<br><b>n:</b> 2.00 Unit.<br><b>emín:</b> 3.00%                                                                                                                                                                                      |                           |                        |                                 |                                  |
|                                                                                                                                                                           |                 |                 |                 |                   | <b>Se tomó en consideración lo siguiente:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Los Sa calculados son para una vía de 2 carriles.</li> <li>Sa &lt; 0.60 metros, no son necesarios en las curvas.</li> <li>Sa &gt; 1.80 metros, se tomó este valor como máximo recomendado.</li> <li>Vehículo de Diseño Bus-14</li> </ul> |                           |                        |                                 |                                  |

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO V-5: Resultado de curvas verticales

| DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO Y PROYECCIÓN DE LA GEOMETRÍA ALTIMETRICA DEL PROYECTO. |       |       |       |           |           |           |                      |                     |                                     |       |       |                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|----------------------|---------------------|-------------------------------------|-------|-------|------------------------|
|                                                                                      | PCV   | PVI   | PTV   | PCV       | PVI       | PTV       | Pendiente de Entrada | Pendiente de Salida | Diferencia Algebraica de Pendientes | K     | L     | TIPO DE CURVA VERTICAL |
| No.                                                                                  | Est   | Est   | Est   | Elevación | Elevación | Elevación |                      |                     | A %                                 | %     | Metro | L.                     |
| 1                                                                                    | 0+000 | 0+035 | 0+070 | 1011.98   | 1011.3    | 1008.58   | -1.94%               | -7.77%              | -5.83%                              | 11.99 | 70    | Cresta                 |
| 2                                                                                    | 0+075 | 0+100 | 0+125 | 1003.19   | 1006.25   | 1003.92   | -7.77%               | -9.31%              | -1.54%                              | 32.50 | 50    | Cresta                 |
| 3                                                                                    | 0+135 | 0+165 | 0+195 | 1002.99   | 1000.2    | 998.24    | -9.31%               | -6.53%              | 2.78%                               | 21.60 | 60    | Columpio               |
| 4                                                                                    | 0+210 | 0+250 | 0+290 | 997.26    | 994.65    | 994.99    | -6.53%               | 0.85%               | 7.38%                               | 10.85 | 80    | Columpio               |
| 5                                                                                    | 0+340 | 0+380 | 0+420 | 995.41    | 995.75    | 995.75    | 0.85%                | 0.00%               | -0.85%                              | 94.55 | 80    | Cresta                 |
| 6                                                                                    | 0+80  | 0+520 | 0+560 | 995.75    | 995.75    | 996.81    | 0.00%                | 2.65%               | 2.65%                               | 30.21 | 80    | Columpio               |
| 7                                                                                    | 0+745 | 0+790 | 0+835 | 1001.71   | 1002.9    | 1002.48   | 2.65%                | -0.93%              | -3.58%                              | 25.14 | 90    | Cresta                 |
| 8                                                                                    | 0+960 | 1+010 | 1+060 | 1001.32   | 1000.85   | 1001.28   | -0.93%               | 0.87%               | 1.80%                               | 55.55 | 100   | Columpio               |
| 9                                                                                    | 1+160 | 1+200 | 1+240 | 1002.15   | 1002.5    | 1004.15   | 0.87%                | 4.14%               | 3.27%                               | 24.49 | 80    | Columpio               |
| 10                                                                                   | 1+345 | 1+385 | 1+425 | 1008.5    | 1010.15   | 1013      | 4.14%                | 7.13%               | 2.99%                               | 26.72 | 80    | Columpio               |
| 11                                                                                   | 1+460 | 1+540 | 1+620 | 1015.5    | 1021.2    | 1021.6    | 7.13%                | 0.50%               | -6.63%                              | 24.14 | 160   | Cresta                 |
| 12                                                                                   | 1+630 | 1+670 | 1+710 | 1021.65   | 1021.85   | 1024.52   | 0.50%                | 6.68%               | 6.18%                               | 12.96 | 80    | Columpio               |
| 13                                                                                   | 1+775 | 1+870 | 1+965 | 1028.86   | 1035.2    | 1033.75   | 6.68%                | -1.52%              | -8.20%                              | 23.17 | 190   | Cresta                 |

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO V-6: Resultado de curvas horizontales

| Curvas Horizontales |          |          |           |           |                    |                |          |             |         |           |        |
|---------------------|----------|----------|-----------|-----------|--------------------|----------------|----------|-------------|---------|-----------|--------|
| Curva               | PC       | PI       | PT        | Radio (m) | Grado de curvatura | Angulo Central | Longitud | Subtangente | Externa | Deflexion | Cuerda |
| C1                  | 0+209.04 | 0+249.96 | 0+290.29  | 275       | 20.84              | 16.93          | 81.25    | 40.9        | 3.03    | 8.47      | 80.96  |
| C2                  | 0+355.50 | 0+381.00 | 0+406.09  | 160       | 35.81              | 18.12          | 50.59    | 25.5        | 2.02    | 9.06      | 50.43  |
| C3                  | 0+483.49 | 0+521.70 | 0+0557.48 | 120       | 47.75              | 35.32          | 73.99    | 38.2        | 5.96    | 17.66     | 72.7   |
| C4                  | 0+698.88 | 0+792.11 | 0+882.75  | 450       | 12.73              | 23.43          | 183.88   | 93.2        | 9.54    | 11.72     | 182.7  |
| C5                  | 1+445.06 | 0+538.31 | 0+628.96  | 450       | 12.73              | 23.43          | 183.9    | 93.2        | 9.54    | 11.72     | 182.7  |
| C6                  | 1+798.01 | 1+871.07 | 1+939.50  | 230       | 24.91              | 35.26          | 141.49   | 72.9        | 11.36   | 17.63     | 139.4  |

## **ANEXOS CAPÍTULO VI: PLANOS.**