



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

**Monografía**

**“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 2.2  
KILOMETROS LINEALES DE CALLE, UNAN FAREM CHONTALES –  
PUENTE LAS LIMAS, DEPARTAMENTO DE CHONTALES”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

**Elaborado por**

Br. Andrea Amanda Gutiérrez Ramírez

Br. Marconi Josué Ramos

**Tutor**

Msc. Ing. Gioconda Isabel Juárez Romero

Managua, Febrero 2022

Managua, Nicaragua

Febrero 2022

Dr. Ing. Oscar Isaac Gutiérrez Somarriba

Decano FTC

A su despacho:

Por medio de la presente hago su conocimiento que he dado seguimiento y revisado el trabajo monográfico titulado **“DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 2.2 KILOMETROS LINEALES DE CALLE, UNAN FAREM CHONTALES – PUENTE LAS LIMAS, DEPARTAMENTO DE CHONTALES”** elaborado por los bachilleres Andrea Amanda Gutiérrez Ramírez y Marconi Josué Ramos, con el fin de optar al título de ingeniero civil.

Considerando que el trabajo ha sido concluido y que cumple con todos los objetivos y aspectos técnicos planteados en el protocolo, este puede ser presentado y defendido ante el jurado examinador. Sin más que referir y deseándole éxitos en sus funciones, le saludo.

Atentamente.

Msc. Ing. Gioconda Isabel Juárez Romero

## DEDICATORIA

A **Dios todopoderoso**, por proporcionarme vida, la sabiduría, la fuerza y la voluntad necesaria para culminar con éxitos mi carrera profesional, superando cada obstáculo, cada adversidad y prueba que se cruzaba en el camino.

A mis padres **María Teresa Ramírez Pérez** y **Cleto José Gutiérrez Sevilla**, por darme su amor y comprensión; de igual manera por educarme y formarme en valores, ser mis pilares fundamentales que siempre estuvieron incondicionalmente en cada paso y etapa de mi vida dándome su apoyo, consejos y motivación a ser mejor cada día.

A **mis hermanos**, porque de alguna u otra forma ellos han influido en mi vida con el tiempo, experiencias y confianza que tiene hacia mí, han sido parte de mi crecimiento y desarrollo, viéndome crecer y corrigiendo mis acciones, permitiéndome continuar con mis metas personales y académicas.

Br. Andrea Amanda Gutiérrez Ramírez

## DEDICATORIA

A **Dios, Padre Celestial**, por proveerme de salud y entendimiento, así mismo darme fortaleza en todo el proceso monográfico, permitiéndome llevar a cabo este logro académico.

A **mi madre**, quien, con su apoyo incondicional, sacrificio y ejemplo, supo sacar lo mejor de mí, características sobre las cuales construyo mi futuro a nivel profesional y personal. No fueron solo mis fuerzas, es el resultado de su fe puesta en mí y de sus palabras de ánimo y consuelo.

A **mis hermanas**, que de cierta manera han estado conmigo, esperando y confiando plenamente en mí, esa certeza ciega de que vencería y superaría cada obstáculo, sin importar qué.

## **AGRADECIMIENTO**

A **Dios**, fuente de sabiduría, por permitirnos llegar hasta este momento, protegernos durante este camino y darnos fortaleza para superar obstáculos y dificultades en el transcurso de esta etapa.

A **nuestros padres**, por acompañarnos durante todo este arduo camino y compartir alegrías y fracasos, por la fe que depositaron en nosotros, enseñándonos a siempre perseverar para alcanzar las metas.

A nuestra tutora, **Msc. Ing. Gioconda Juárez Romero**, por dedicarnos tiempo y compartir sus conocimientos para orientarnos en la realización de este trabajo.

En especial al **Ing. Rubel Yamir Mendoza** por formar parte fundamental de este trabajo, apoyarnos y guiarnos. A **Ing. Mario José Castro Moreno** por brindarnos importantes aportes en este proyecto.

Agradecemos también a todos aquellos que, a lo largo de todos estos años, nos acogieron como parte de su familia y nos brindaron su ayuda incondicional.

Br. Andrea Amanda Gutiérrez Ramírez

Br. Marconi Josué Ramos

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente trabajo monográfico, comprende todos los criterios y estudios técnicos necesarios para la realización del proyecto monográfico titulado: "**Diseño de estructura de pavimento articulado de 2.2 kilómetros Lineales de calle, UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas, Departamento de Chontales**".

Este estudio consta de cinco capítulos, donde cada uno aborda un tema específico y se organizan de la siguiente manera:

### **CAPITULO I: GENERALIDADES**

Este capítulo abordará aspectos generales tales como: Introducción, Antecedentes, Justificación y Objetivos.

### **CAPITULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO**

Contempla un aforo manual en el tramo carretera en estudio conociendo así el volumen y composición vehicular, el aforo vehicular se realizó en Julio del 2021 durante de 7 días, con una duración de 12 horas consecutivas cada día (6.00 am – 6.00 pm).

Se obtuvo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), posteriormente se analizaron las estadísticas nacionales del Producto Interno Bruto (PIB), Crecimiento Poblacional, Consumo de Combustible y Parque Vehicular, esto para determinar la tasa de crecimiento a utilizar. Se proyectó el tránsito actual, considerando un periodo de diseño de 15 años, para obtener número de repeticiones de eje equivalente o cantidad de ESAL's.

### **CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELO**

Se determinaron las principales características físico – mecánicas del suelo a lo largo de todo el tramo en estudio, por medio de ensayos de laboratorio aplicados a cada una de las muestras extraídas. Así como Contenido de Humedad, Gravedad Especifica, Limites de consistencia, Grado de compactación del suelo (PROCTOR ESTÁNDAR) y la capacidad de Soporte (CBR).

La información necesaria del banco de material disponible cerca de la zona, fue facilitada por la Alcaldía municipal de Juigalpa.

## **CAPITULO V: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO**

El diseño de estructura de pavimento se realizó utilizando el método Murillo López de Souza, aplicando los criterios de diseño para determinar los espesores con que estará conformada la estructura de pavimento.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### I. CAPITULO GENERALIDADES

|          |                              |   |
|----------|------------------------------|---|
| 1.1.     | INTRODUCCIÓN .....           | 1 |
| 1.1.1.   | Localización del tramo ..... | 2 |
| 1.1.1.1. | Macro localización.....      | 2 |
| 1.1.1.2. | Micro localización .....     | 3 |
| 1.2.     | ANTECEDENTES .....           | 4 |
| 1.3.     | JUSTIFICACION .....          | 5 |
| 1.4.     | OBJETIVOS.....               | 6 |
| 1.4.1.   | Objetivo General.....        | 6 |
| 1.4.2.   | Objetivos Específicos.....   | 6 |

### II. CAPITULO ESTUDIO DE TRÁNSITO

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 2.1.     | Introducción.....   | 7  |
| 2.2.     | Información Base .....  | 7  |
| 2.2.1.   | Tipos de Vehículos .....  | 8  |
| 2.2.2.   | Clasificación Vehicular por sus ejes .....                                | 9  |
| 2.2.3.   | Estación de Conteo Vehicular.....   | 9  |
| 2.3.     | Aforo Vehicular.....  | 7  |
| 2.3.1.   | Determinación del Tránsito Promedio Diurno (TPD <sub>diurno</sub> ) ..... | 11 |
| 2.3.1.1. | Composición Vehicular del TPDi.....                                       | 12 |
| 2.3.2.   | Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) .....                               | 13 |
| 2.3.2.1. | Composición Vehicular del TPDA .....                                      | 17 |
| 2.4.     | Tasas de Crecimiento .....  | 17 |
| 2.4.1.   | Determinación de la Tasa de Crecimiento .....                             | 17 |
| 2.5.     | Tránsito de Diseño .....  | 21 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.5.1. | Clasificación del tipo de Carretera .....                | 21 |
| 2.5.2. | Periodo de Diseño .....                                  | 22 |
| 2.5.3. | Factor de Crecimiento (FC) .....                         | 22 |
| 2.5.4. | Factor direccional (Fd).....                             | 23 |
| 2.5.5. | Factor de distribución por carril (fc) .....             | 24 |
| 2.5.6. | Cálculo de Tránsito de Diseño.....                       | 25 |
| 2.6.   | Determinación de los Factores de ejes equivalentes ..... | 26 |
| 2.6.1. | Número Estructural Asumido (SN).....                     | 27 |
| 2.6.2. | Índice de Serviciabilidad. ....                          | 28 |
| 2.6.3. | Factor de ejes equivalentes (F ESAL's).....              | 28 |
| 2.7.   | Cálculo de Ejes Equivalentes (ESAL's o W18) .....        | 29 |

### **III. CAPITULO ESTUDIOS DE SUELOS**

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 3.1.   | Introducción.....  | 32 |
| 3.2.   | Trabajo de Campo y laboratorio.....                            | 32 |
| 3.2.1. | Muestreo en el sitio.....                                      | 32 |
| 3.3.   | Estudios de laboratorios.....                                  | 33 |
| 3.3.1. | Análisis Granulométrico ASTM D-422 .....                       | 33 |
| 3.3.2. | Determinación del Limite Liquido (L.L.).....                   | 34 |
| 3.3.3. | Determinación del Limite Plástico (L.P.) .....                 | 35 |
| 3.3.4. | Determinación del Índice de Plasticidad (I.P.) .....           | 36 |
| 3.3.5. | Clasificación de los suelos.....                               | 36 |
| 3.3.6. | Ensayo de Compactación de suelos ASTM D 698 - 00 .....         | 41 |
| 3.3.7. | Ensayo de valor relativo de soporte (CBR) ASTM D 1883-99 ..... | 42 |
| 3.4.   | Selección Banco de Material.....                               | 49 |
| 3.4.1. | Liceo Agrícola .....   | 50 |

|   |    |
|---|----|
| 3.4.2. El Basurero .....                  | 50 |
| 3.4.3. Análisis de Banco de Material..... | 51 |

#### **IV. CAPITULO DISEÑO ESTRUCTURAL**

|  |    |
|--|----|
| 4.1. Introducción.....   | 54 |
| 4.2. Método Murillo López de Souza.....                              | 54 |
| 4.3. Variables a considerar en el método Murillo López de Souza..... | 55 |
| 4.3.1. Tránsito Medio .....  | 55 |
| 4.3.2. Carga por rueda de 5 toneladas .....                          | 55 |
| 4.3.3. Índice de Soporte.....  | 55 |
| 4.3.4. CBR de la subrasante.....                                     | 55 |
| 4.3.5. Precipitación Pluvial.....                                    | 56 |
| 4.3.6. Caracterización del tráfico .....                             | 56 |
| 4.3.7. Bombeo de la Calzada.....                                     | 57 |
| 4.4. Estructura del Pavimiento Articulado .....                      | 57 |
| 4.4.1. Cálculos .....  | 57 |
| CONCLUSIONES. ....   | 60 |
| RECOMENDACIONES. ....  | 61 |
| BIBLIOGRAFÍA .....   | 62 |

#### **V. ANEXOS**

## INDICE DE TABLAS

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Tabla 1. Resumen Semanal de Aforo Vehicular Est. 0+000.....</i>   | <i>8</i>  |
| <i>Tabla 2. Resumen Semanal de Aforo Vehicular Est 0+000.....</i>  | <i>9</i>  |
| <i>Tabla 3. Resumen Semanal de Aforo Vehicular en ambos sentidos.....</i>  | <i>10</i> |
| <i>Tabla 4. Resultados de Tránsito Promedio Diurno.....</i>  | <i>12</i> |
| <i>Tabla 5. Dependencia de Estaciones 2019.....</i>  | <i>14</i> |
| <i>Tabla 6. Factores Implementados para realizar la expansión del TPDi a TPDA</i>  | <i>15</i> |
| <i>Tabla 7. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....</i>   | <i>16</i> |
| <i>Tabla 8. Tasas de crecimiento Interanual con registros históricos de la ECD 3701<br/>Juigalpa – Puerto Díaz .....</i> | <i>19</i> |
| <i>Tabla 9. Registros históricos del Producto Interno Bruto y Crecimiento<br/>Poblacional.....</i>                       | <i>20</i> |
| <i>Tabla 10. Selección del Tipo de Carretera .....</i>   | <i>21</i> |
| <i>Tabla 11. Periodo de diseño para distintos tipos de carretera.....</i>  | <i>22</i> |
| <i>Tabla 12. Factor de distribución por dirección .....</i>  | <i>24</i> |
| <i>Tabla 13. Factor de distribución por carril .....</i>   | <i>24</i> |
| <i>Tabla 14. Tránsito de Diseño (Tramo UNAN FAREM Chontales – Puente Las<br/>Limas).....</i>                             | <i>25</i> |
| <i>Tabla 15. Carga de Vehículo por tipo de eje .....</i>   | <i>27</i> |
| <i>Tabla 16. Interpolación lineal de 35.2 kips (Ejes Tándem).....</i>  | <i>29</i> |
| <i>Tabla 17. Cálculo de ESAL´s para T2-S2.....</i>   | <i>30</i> |
| <i>Tabla 18. Cálculo de ESAL´s por carril de diseño.....</i>   | <i>31</i> |
| <i>Tabla 19. Ensayos realizados a las muestras .....</i>   | <i>33</i> |
| <i>Tabla 20. Resultados de ensayos de Laboratorio de Sondeos Manuales.....</i>   | <i>38</i> |
| <i>Tabla 21. Resultados de Muestras de CBR .....</i>   | <i>45</i> |
| <i>Tabla 22. Criterio del Instituto del Asfalto para determinar el CBR de Diseño. ..</i>                                 | <i>46</i> |
| <i>Tabla 23. Especificaciones de materiales para base y Sub-base.....</i>  | <i>47</i> |
| <i>Tabla 24. Especificaciones de materiales de terraplenes y capa de Sub-Rasante<br/>.....</i>                           | <i>48</i> |
| <i>Tabla 25. Cálculos para determinar CBR.....</i>   | <i>48</i> |
| <i>Tabla 26. Evaluación del Banco de Material Liceo Agrícola.....</i>  | <i>51</i> |

|  |               |
|--|---------------|
| <i>Tabla 27. Evaluación del Banco de materiales El Basurero .....</i>  | <i>52</i>     |
| <i>Tabla 28. Resumen de Datos de los bancos de materiales. ....</i>  | <i>53</i>     |
| <i>Tabla 29. Precipitación Pluvial de Juigalpa. ....</i>   | <i>56</i>     |
| <i>Tabla 30. Bombeos típicos en carreteras .....</i>   | <i>57</i>     |
| <i>Tabla 31. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico de la oficina de Diagnostico, Evaluación de pavimentos y puentes.....</i>   | <i>I</i>      |
| <i>Tabla 32. Formato para control de Aforo Vehicular .....</i>   | <i>II</i>     |
| <i>Tabla 33. Vector Geográfico.....</i>  | <i>III</i>    |
| <i>Tabla 34.Registro histórico ECD Juigalpa – Puerto Diaz .....</i>  | <i>IV</i>     |
| <i>Tabla 35. Diagrama de cargas permisibles para Vehículos Livianos y Pasajeros V</i>  |               |
| <i>Tabla 36. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes simples .....</i>  | <i>VII</i>    |
| <i>Tabla 37. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes Tándem .....</i>   | <i>VIII</i>   |
| <i>Tabla 38. Interpolación lineal de 4.4 kips .....</i>  | <i>IX</i>     |
| <i>Tabla 39. Interpolación lineal de 8.8 kips .....</i>  | <i>IX</i>     |
| <i>Tabla 40. Interpolación lineal de 11 kips .....</i>   | <i>IX</i>     |
| <i>Tabla 41. Interpolación lineal de 17.6 kips .....</i>   | <i>X</i>      |
| <i>Tabla 42. Interpolación lineal de 19.8 kips .....</i>   | <i>X</i>      |
| <i>Tabla 43. Interpolación lineal de 36.3 kips .....</i>   | <i>X</i>      |
| <i>Tabla 44. Clasificación de Suelos (AASHTO).....</i>   | <i>XII</i>    |
| <i>Tabla 45. Índice de soporte para diseño .....</i>   | <i>XXVII</i>  |
| <i>Tabla 46. Tabla de diseño de espesores de pavimentos flexibles para carga máxima por rueda de 5 toneladas (espesores en centímetros).....</i> | <i>XXVIII</i> |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|  |              |
|--|--------------|
| <i>Ilustración 1. Macro localización del tramo de calle UNAN FAREM Chontales –<br/>Puente Las Limas.....</i> | <i>2</i>     |
| <i>Ilustración 2. Micro localización del tramo de calle UNAN FAREM Chontales –<br/>Puente Las Limas.....</i> | <i>3</i>     |
| <i>Ilustración 3. Ubicación para la realización del Aforo Vehicular .....</i>                                | <i>7</i>     |
| <i>Ilustración 4. Vehículo Pesado T2 - S2 .....</i>  | <i>30</i>    |
| <i>Ilustración 5. Realización de ensaye de Granulometría .....</i>   | <i>34</i>    |
| <i>Ilustración 6. Realización ensaye de Limite Liquido, haciendo uso de equipo<br/>Casa Grande .....</i>     | <i>35</i>    |
| <i>Ilustración 7. Proceso del ensayo para determinación de límite plástico.....</i>                          | <i>36</i>    |
| <i>Ilustración 8. Columna estratigráfica del suelo Est 0+000 a Est 1+000.....</i>                            | <i>39</i>    |
| <i>Ilustración 9. Columna estratigráfica del suelo Est 1+200 a Est 2+200.....</i>                            | <i>40</i>    |
| <i>Ilustración 10. Ensaye de Proctor Estándar .....</i>  | <i>42</i>    |
| <i>Ilustración 11 Muestras saturadas para ensaye de CBR.....</i>   | <i>43</i>    |
| <i>Ilustración 12. Máquina para ensaye de CBR .....</i>  | <i>43</i>    |
| <i>Ilustración 13. Diseño de espesores de pavimento articulado.....</i>                                      | <i>58</i>    |
| <i>Ilustración 14. Sección Transversal.....</i>  | <i>59</i>    |
| <i>Ilustración 15. Peso por eje para vehículos de carga .....</i>  | <i>VI</i>    |
| <i>Ilustración 16. Sondeo Manual – 5 Banda Derecha, Est. 0+800 .....</i>                                     | <i>XI</i>    |
| <i>Ilustración 17. Sondeo Manual – 10 Banda Izquierda, Est. 1+800.....</i>                                   | <i>XI</i>    |
| <i>Ilustración 18. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.....</i>                        | <i>XIII</i>  |
| <i>Ilustración 19. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.....</i>                        | <i>XIV</i>   |
| <i>Ilustración 20. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.....</i>                        | <i>XV</i>    |
| <i>Ilustración 21. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.....</i>                        | <i>XVI</i>   |
| <i>Ilustración 22. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.....</i>                        | <i>XVII</i>  |
| <i>Ilustración 23. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados....</i>                         | <i>XVIII</i> |
| <i>Ilustración 24. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.....</i>                        | <i>XIX</i>   |
| <i>Ilustración 25. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.....</i>                        | <i>XX</i>    |
| <i>Ilustración 26. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.....</i>                        | <i>XXI</i>   |
| <i>Ilustración 27. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.....</i>                        | <i>XXII</i>  |

*Ilustración 28. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.... XXIII*

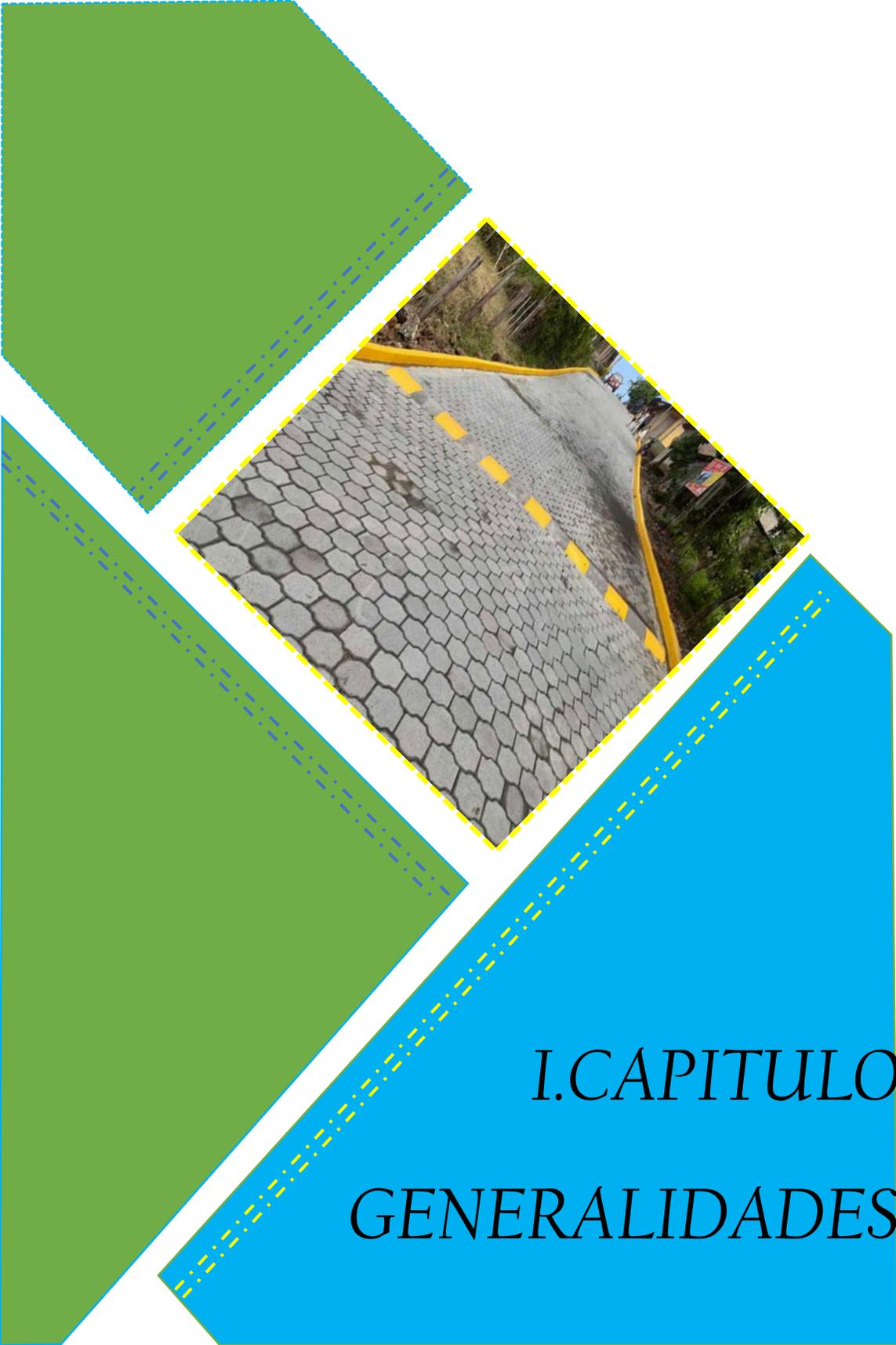
*Ilustración 29. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados....XXIV*

*Ilustración 30. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.....XXV*

*Ilustración 31. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados....XXVI*

## **ÍNDICE DE GRÁFICO**

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Gráfico 1. Comportamiento Vehicular por día.....</i>               | <i>11</i> |
| <i>Gráfico 2. Porcentaje de Clasificación Vehicular del TPDA.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Gráfico 3. Porcentaje de Composición Vehicular del TPDA.....</i>   | <i>17</i> |
| <i>Gráfico 4. Selección de CBR de diseño de Sub-Rasante.....</i>      | <i>49</i> |



I.CAPITULO

GENERALIDADES

## **1.1.INTRODUCCIÓN**

Con el desarrollo en los últimos años en la construcción de carreteras y caminos, se brinda a la población un mejor nivel de servicio, permitiendo a las comunidades rurales o sub urbanas la movilización a los centros de estudios, hospitales, centros de trabajo y otras actividades.

En la actualidad el desarrollo de una nación se traduce por la calidad de sus vías de comunicación, la carretera UNAN-FAREM Chontales - Puente Las Limas, es la principal vía de acceso hacia la comunidad de Puerto Díaz, Juigalpa. Es una zona densamente poblada, de producción agrícola y ganadera, se caracteriza por ser una comunidad turística.

El tramo de carretera en estudio se encuentra ubicado en la Ciudad de Juigalpa, en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-FAREM Chontales) con vía de acceso a la comunidad de Puerto Díaz, el tramo en estudio está en considerable estado de deterioro, actualmente es carretera de macadán por ende en temporadas lluviosas tiende a ser una vía casi intransitable. Cabe destacar que tener conocimientos de aforo vehiculares es necesario, para el estudio del tipo de tránsito y cargas de transporte.

El presente documento se encuentra fundamentado en el “Diseño de estructura de pavimento articulado de 2.2 kilómetros lineales de carretera por el método Murillo López de Souza”, en éste se detallan todos los procesos y estudios que se llevaron a cabo para dar finalidad con los objetivos planteados en el protocolo monográfico.

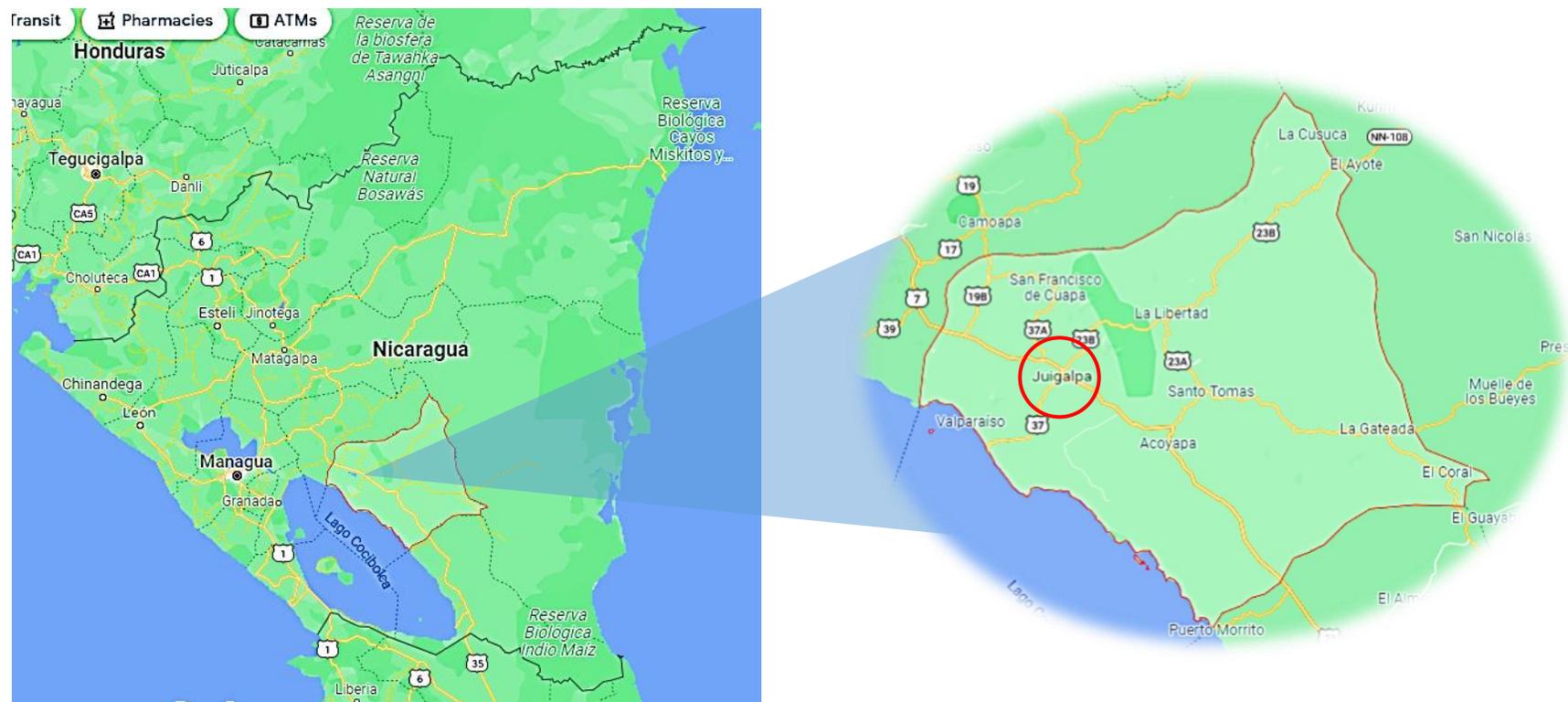
Con esta propuesta se pretende obtener el diseño de una estructura de adoquín para una carretera que cumpla las especificaciones de diseño y niveles de servicio, así mismo las cargas a las que estará expuesta durante su periodo de diseño.

### 1.1.1. Localización del tramo

#### 1.1.1.1. Macro localización

El municipio de Juigalpa, se encuentra ubicado en las coordenadas 12°06'28.7" N 85°22'14.6" O perteneciendo al departamento de Chontales (Ver Ilustración 1).

*Ilustración 1. Macro localización del tramo de calle UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas*

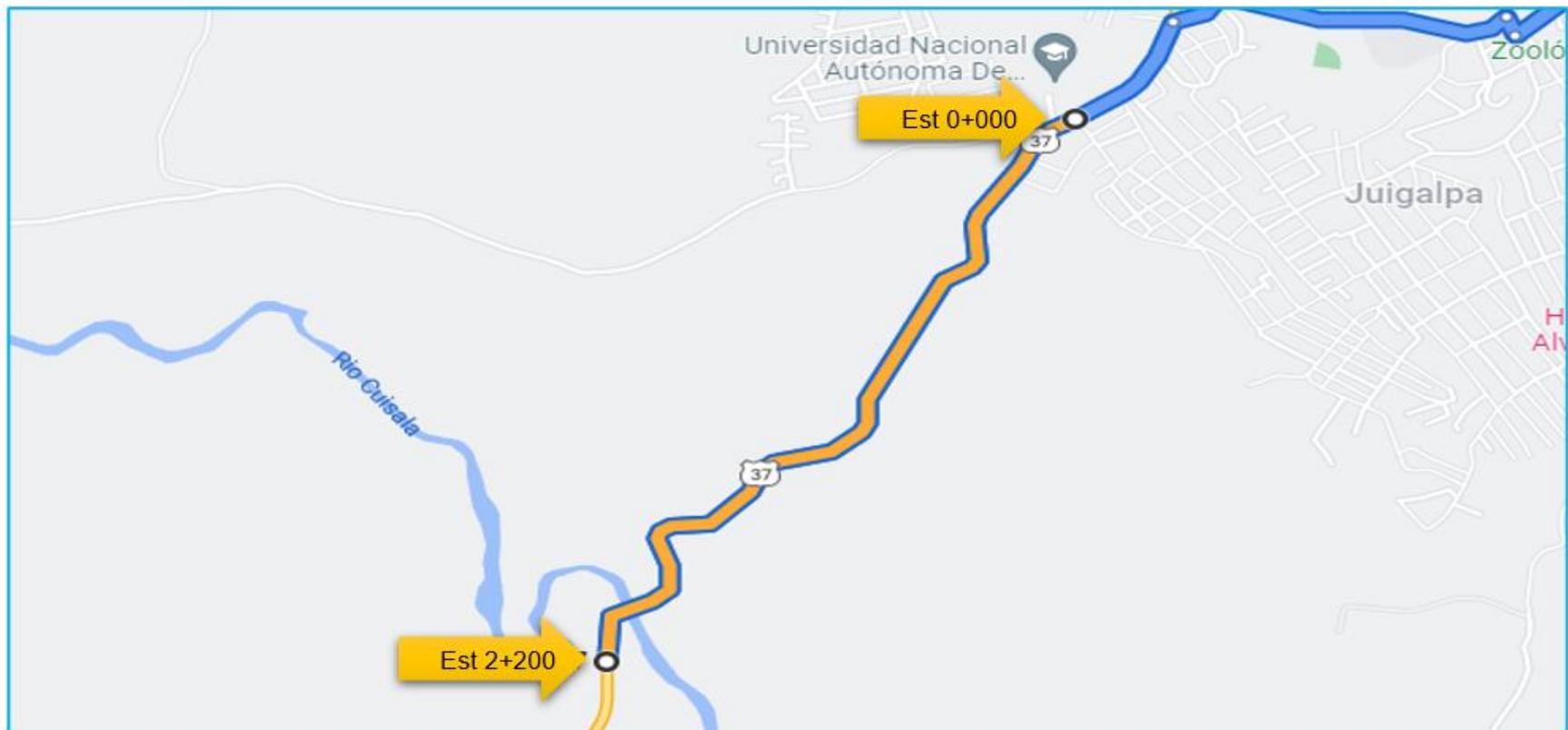


Fuente: <https://www.google.com/maps/place/Chontales/@12.0556075,-85.7000169,9z/>

### 1.1.1.2. Micro localización

El proyecto se encuentra situado en el municipio de Juigalpa, la longitud del tramo es de 2.2 kilómetros desde la UNAN FAREM Chontales (EST. 0+000) hasta el Puente Las Limas EST. 2+200 (Ver Ilustración 2).

*Ilustración 2. Micro localización del tramo de calle UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas*



Fuente: <https://www.google.com/maps/dir/12.0827188,-85.3896757/Chontales/@12.1091955,-85.3840917,13.25z/>

## **1.2. ANTECEDENTES**

La primera etapa del tramo vial que conecta Juigalpa con Puerto Díaz y que comprende 2.2km lineales de carretera, es una ruta principal en el traslado de personas y productos indispensables para el pleno desarrollo de una comunidad, eso lo enmarca en un problema con necesidad de respuesta inmediata, siendo un punto estratégico para el incremento de comercio y mejoramiento de la calidad de vida.

Dicha sección de carretera ha sido tratada de forma temporal, incluyendo un mejoramiento de emergencia, realizado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura en 2017, que constó de relleno y compactación con material selecto. La rehabilitación más reciente fue efectuada en 2019 por el Comando del Ejército, a través del MTI y, repararon las vías troncales que conducen a comunidades como Gigantillo, el Arrayán, el Bálsamo, entre otros.

Debido al mal estado de la carretera, el tiempo de viaje es mayor al óptimo, el costo y acceso de vehículo también se ven afectados. Puerto Díaz, es considerado por el Instituto de Turismo, por la municipalidad y por el mismo pueblo, uno de los sitios turísticos más importantes por poseer bellezas naturales, ubicada en las costas del Lago de Nicaragua. El deterioro del tramo provoca que las unidades de transporte público que conducen a la Zona sean pocas, a pesar de ser un recorrido propicio al turismo, por su ubicación y elementos naturales que lo componen.

En época lluviosa se muestra el índice de serviciabilidad más bajo del tramo, debido a la producción de fango en las carreteras, por la mala calidad del material del cual están constituidas. Cabe destacar que el comercio de ambas zonas conectadas por esta red vial, depende en cierta parte de productos que se exportan tanto de Puerto Díaz a Juigalpa y viceversa, deduciendo que su mejora afectará directamente y de manera positiva al desarrollo socio económico de la región.

### **1.3. JUSTIFICACION**

La optimización y construcción de carreteras, tiene impacto a nivel social, económico e incluso cultural, conectan civilización y con ellas costumbres e ideas, reducen tiempo y costos de viajes. Una nación sin un adecuado sistema de carreteras, se limita en progreso, la red de carreteras permite satisfacer las necesidades básicas de educación, trabajo, alimentación y salud; estas necesidades son las principales actividades que mueven a un estado o como es el caso de comunidades.

Las condiciones del tramo de estudio son precarias, superficie irregular, baches, poca señalización vial, se dificulta el tránsito sobre todo en épocas de lluvias; siendo de vital importancia la remodelación del mismo, teniendo en cuenta que es la primera etapa de una carretera que tiene inicio en la UNAN-FAREM Chontales, hasta el Puente Las Limas, con 2.2 km lineales de longitud.

Debido a los factores mencionados anteriormente, surge la necesidad de llevar a cabo la ejecución de este tipo de proyecto, por lo que no solo abarca el mejoramiento de la carretera, sino también el sistema de drenaje evitando inundaciones y estancamientos de agua, con la misión de ofrecer un mejor funcionamiento, comunicación e intercambio comercial entre estos sectores así mismo un mejor acceso al municipio, garantizando la buena circulación del tráfico tanto vehicular como peatonal en cualquier estación del año.

El mejoramiento de este tramo de carretera permitirá un flujo vehicular con mayor rapidez, reduciendo el tiempo de traslado de los productos hacia los centros de comercialización, beneficiando los diferentes sectores y disminuyendo los costos de operación vehicular lo cual mejora directamente las condiciones de vida de la población.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

- Diseñar estructura de pavimento articulado de 2.2 km lineales de calle, UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas, departamento Chontales.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Efectuar estudio de tránsito mediante aforo vehicular en el tramo de estudio, obteniendo las cargas que soportará la estructura de pavimento.
  
- Realizar estudios de suelo en el tramo de estudio y banco de préstamo por medio de sondeos y ensayos de laboratorio, determinando las propiedades Físico - Mecánico del suelo.
  
- Calcular los espesores de la estructura de pavimento articulado con el método Murillo López de Souza.



## II. CAPITULO ESTUDIO DE TRÁNSITO

## **2.1. Introducción**

El tránsito representa uno de los componentes importantes para la determinación de las dimensiones de los elementos en la carpeta de rodamiento de una vía determinada, ya que tanto la cantidad como la composición del tránsito es muy determinante para considerar las cargas de las cuales será sometida la infraestructura diseñada a través de un tiempo determinado (periodo de diseño).

El procesamiento de información se llevó a cabo mediante diferentes ecuaciones para la determinación de los distintos factores calculados, utilizando datos recopilados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura a través del “Anuario de aforos de tráfico año 2019”.

Además, para la determinación del Crecimiento se tomaron datos del Anuario de Aforos de Tráfico 2019 y Banco Central de Nicaragua (BCN), en lo que se refiere al Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el Producto Interno Bruto (PIB) y Crecimiento Poblacional respectivamente.

## **2.2. Información Base**

Para obtener la cantidad de vehículos que circulan en el tramo, se realizó un aforo vehicular durante una semana, con fecha comprendida del 5 al 11 de julio de 2021, con un periodo de tiempo de doce horas diarias, (6:00 am a 6:00 pm). Para la recopilación de datos del Flujo Vehicular, se implementó el formato de aforo presentado en el Anuario de Aforos de Tráfico del MTI 2019. *(Ver anexos Tabla 32, Pag. II)*

En el aforo vehicular, se tomaron en cuenta los dos sentidos de la vía, teniendo como punto de inicio la Estación 0+000 del tramo en estudio, la estación más cercana, es la Estación de Corta Duración 3701, Juigalpa – Puerto Diaz, la cual tiene código NIC 37B y que a su vez pertenece a la Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos – Masatepe. *Ver Tabla 5. Pág. 14*

Con el aforo vehicular, se define el Tráfico Promedio Diario Diurno (TPDi), se proyecta y se obtiene el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), esto mediante la

implementación del factor día y factor expansión, que son obtenidos del Anuario de Aforos de Tráfico del MTI 2019, como se puede observar en la *Tabla 6, pág. 15*

Se define el número de ejes con su peso respectivo para cada tipo de vehículo presentado. (*Ver anexos, Tabla 35, Pág. V e Ilustración 14, Pág. VI*)

### **2.2.1. Tipos de Vehículos**

Los tipos de vehículos que se describen a continuación, son los que transitaron en el tramo UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas durante el periodo que se realizó el aforo vehicular. La División de Administración Vial, en el Anuario de Aforos de Tráfico del MTI 2019, los describe de la siguiente manera:

**Motocicleta:** Incluye todo tipo de motocicletas, tales como: minimitos, cuadriciclos, mototaxis, etc.

**Automóvil:** Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que se puede 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.

**Camionetas:** Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros, y aquellas que por su diseño están destinadas a trabajos de carga.

**Microbús:** Se considera como microbús a aquellos que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.

**Bus:** Se consideran como todos tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor a 30 pasajeros sentados.

**Liviano de Carga (C2<4TON):** Son los vehículos que su peso máximo es de 4 toneladas o menores a ella.

**C2>5TON:** Se consideran aquellos camiones tipo C2 (2 ejes), cuyo peso es mayor a las 5 toneladas

**C3:** Son aquellos camiones con 3 ejes, denominados C3, con un peso superior a las 5 toneladas.

**T2 – S2:** Camiones de carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de carga liviana y pesada.

*(Ver Anexos, Tabla 31, Pag I)*

### **2.2.2. Clasificación Vehicular por sus ejes**

La constante circulación de vehículos sobre el pavimento en el periodo al cual ha sido diseñado, conlleva a producir un amplio espectro de ejes de carga, con una distancia entre ejes diferentes debido al tipo de vehículo, originado así, una gran variedad de esfuerzos y deformaciones en un determinado punto de la estructura.

Para clasificar el vehículo de acuerdo al número y disposición de sus ejes, se presenta el Diagrama de Cargas Permisible. *(Ver anexos, Tabla 35, Pág. V e Ilustración 14, Pág. VI)*

### **2.2.3. Estación de Conteo Vehicular**

Las estaciones de conteo, acorde a lo que se especifica en el Anuario de Aforos de Tráfico (2019), se dividen en los siguientes:

- ❖ Estaciones de Mayor Cobertura (EMC): Son las estaciones de conteo continuos los 365 días al año con conteos clasificados 24 horas por día, pero por el costo de la ejecución, el Ministerio divide el periodo 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 no es más que el promedio de los periodos.
- ❖ Estaciones de Corta Duración (ECD): Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores a de 300 TPDA.
- ❖ Estación de Conteo Sumaria (ECS): Son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA.

### 2.3. Aforo Vehicular

Con los datos recolectados en el aforo manual de observación directa, el cual se realizó durante siete días (de lunes a domingo) del 5 al 11 de Julio del año 2021, con intervalos de tiempo desde las 6:00 am hasta las 6:00 pm (12 horas). Para ello se estableció una estación de conteo en el punto 0+000, inicio del Tramo UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas. Contabilizando los vehículos que circulaban en ambos sentidos de la vía.

*Ilustración 3. Ubicación para la realización del Aforo Vehicular*



Fuente: <https://www.google.com/maps/dir/12.0981922,-85.3791031/12.0836467,-85.3896368/12.0836468,-85.3896368/12.0981247,-85.379174>

A continuación, se muestran los resultados del conteo vehicular realizado en esta etapa del estudio de tránsito.

Tabla 1. Resumen Semanal de Aforo Vehicular Est. 0+000

| Tramo: UNAN FAREM Chontales - Puente Las Limas |                                 |              |             |                   |                 |  | Fecha: 5 al 11 de Julio del 2021 |             |             |             |                       |
|--|---------------------------------|--------------|-------------|-------------------|-----------------|--|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Ubicación: Est. 0+000                          |                                 |              |             | Hora: 6 am - 6 pm |                 | Sentido: UNAN FAREM Chontales - Puente Las Limas |                                  |             |             |             |                       |
| Días   | Veh. Livianos                   |              |             |                   | Veh. Pasaj.     |  | Veh. Pesados                     |             |             |             | Total, de Veh. 12 hrs |
|  | Motos                           | Autos        | Jeep        | Camioneta         | MnBus 15-30 s.  | Bus  | Liv 2-5 Ton                      | C2 5+ Ton   | C3          | T2-S2 <= 4e |                       |
| Lunes  | 198                             | 39           | 2           | 81                | 0               | 25   | 17                               | 16          | 1           | 0           | 379                   |
| Martes   | 264                             | 52           | 2           | 89                | 0               | 27   | 16                               | 17          | 1           | 1           | 469                   |
| Miércoles                                      | 215                             | 43           | 0           | 73                | 0               | 29   | 26                               | 22          | 1           | 0           | 409                   |
| Jueves   | 291                             | 41           | 1           | 92                | 0               | 24   | 20                               | 13          | 2           | 0           | 484                   |
| Viernes  | 257                             | 53           | 0           | 89                | 1               | 27   | 27                               | 21          | 1           | 0           | 476                   |
| Sábado   | 356                             | 68           | 0           | 101               | 2               | 24   | 15                               | 17          | 0           | 0           | 583                   |
| Domingo  | 262                             | 70           | 1           | 65                | 0               | 18   | 12                               | 8           | 0           | 0           | 436                   |
| <b>Total/Veh.</b>                              | <b>1843</b>                     | <b>366</b>   | <b>6</b>    | <b>590</b>        | <b>3</b>        | <b>174</b>                                       | <b>133</b>                       | <b>114</b>  | <b>6</b>    | <b>1</b>    | <b>3236</b>           |
| <b>Total</b>                                   | <b>2805 Veh.</b>                |              |             |                   | <b>177 Veh.</b> |  | <b>254 Veh.</b>                  |             |             |             | <b>3236 Veh.</b>      |
| <b>% de Veh. por tipo</b>                      | <b>56.95</b>                    | <b>11.31</b> | <b>0.19</b> | <b>18.23</b>      | <b>0.09</b>     | <b>5.38</b>                                      | <b>4.11</b>                      | <b>3.52</b> | <b>0.19</b> | <b>0.03</b> | <b>100%</b>           |
|  | <b>92.15%</b>                   |              |             |                   |                 |  | <b>7.85%</b>                     |             |             |             | <b>100%</b>           |
|  | <b>% Vehículos de Pasajeros</b> |              |             |                   |                 |  | <b>% Vehículos Pesados</b>       |             |             |             |                       |

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 2. Resumen Semanal de Aforo Vehicular Est 0+000

| Tramo: UNAN FAREM Chontales - Puente Las Limas |                                 |              |             |                   |                 |  | Fecha: 5 al 11 de Julio del 2021 |              |             |                |                       |
|--|---------------------------------|--------------|-------------|-------------------|-----------------|--|----------------------------------|--------------|-------------|----------------|-----------------------|
| Ubicación: Est. 0+000                          |                                 |              |             | Hora: 6 am - 6 pm |                 | Sentido: Puente Las Limas - UNAN FAREM Chontales |                                  |              |             |                |                       |
| Días   | Veh. Livianos                   |              |             |                   | Veh. Pasaj.     |  | Veh. Pesados                     |              |             |                | Total, de Veh. 12 hrs |
|  | Motos                           | Autos        | Jeep        | Camioneta         | MnBus 15-30 s.  | Bus  | Liv<br>2-5 Ton                   | C2<br>5+ Ton | C3          | T2-S2<br><= 4e |                       |
| Lunes  | 275                             | 45           | 1           | 98                | 0               | 15   | 15                               | 10           | 1           | 0              | 460                   |
| Martes   | 251                             | 46           | 0           | 83                | 0               | 19   | 21                               | 13           | 1           | 1              | 435                   |
| Miércoles                                      | 321                             | 62           | 1           | 78                | 0               | 32   | 23                               | 18           | 0           | 0              | 535                   |
| Jueves   | 206                             | 54           | 0           | 73                | 0               | 28   | 22                               | 21           | 0           | 0              | 404                   |
| Viernes  | 317                             | 70           | 1           | 93                | 1               | 29   | 18                               | 15           | 2           | 0              | 546                   |
| Sábado   | 246                             | 86           | 2           | 74                | 2               | 20   | 21                               | 12           | 1           | 0              | 464                   |
| Domingo  | 200                             | 42           | 0           | 79                | 0               | 25   | 23                               | 20           | 0           | 0              | 389                   |
| <b>Total/Veh.</b>                              | <b>1816</b>                     | <b>405</b>   | <b>5</b>    | <b>578</b>        | <b>3</b>        | <b>168</b>                                       | <b>143</b>                       | <b>109</b>   | <b>5</b>    | <b>1</b>       | <b>3233</b>           |
| <b>Total</b>                                   | <b>2804 Veh.</b>                |              |             |                   | <b>171 Veh.</b> |  | <b>258 Veh.</b>                  |              |             |                | <b>3233 Veh.</b>      |
| <b>% de Veh. por tipo</b>                      | <b>56.17</b>                    | <b>12.53</b> | <b>0.15</b> | <b>17.88</b>      | <b>0.09</b>     | <b>5.20</b>                                      | <b>4.42</b>                      | <b>3.37</b>  | <b>0.16</b> | <b>0.03</b>    | <b>100%</b>           |
|  | <b>92.02%</b>                   |              |             |                   |                 |  | <b>7.98%</b>                     |              |             |                | <b>100%</b>           |
|  | <b>% Vehículos de Pasajeros</b> |              |             |                   |                 |  | <b>% Vehículos Pesados</b>       |              |             |                |                       |

Fuente: Elaboración por sustentantes

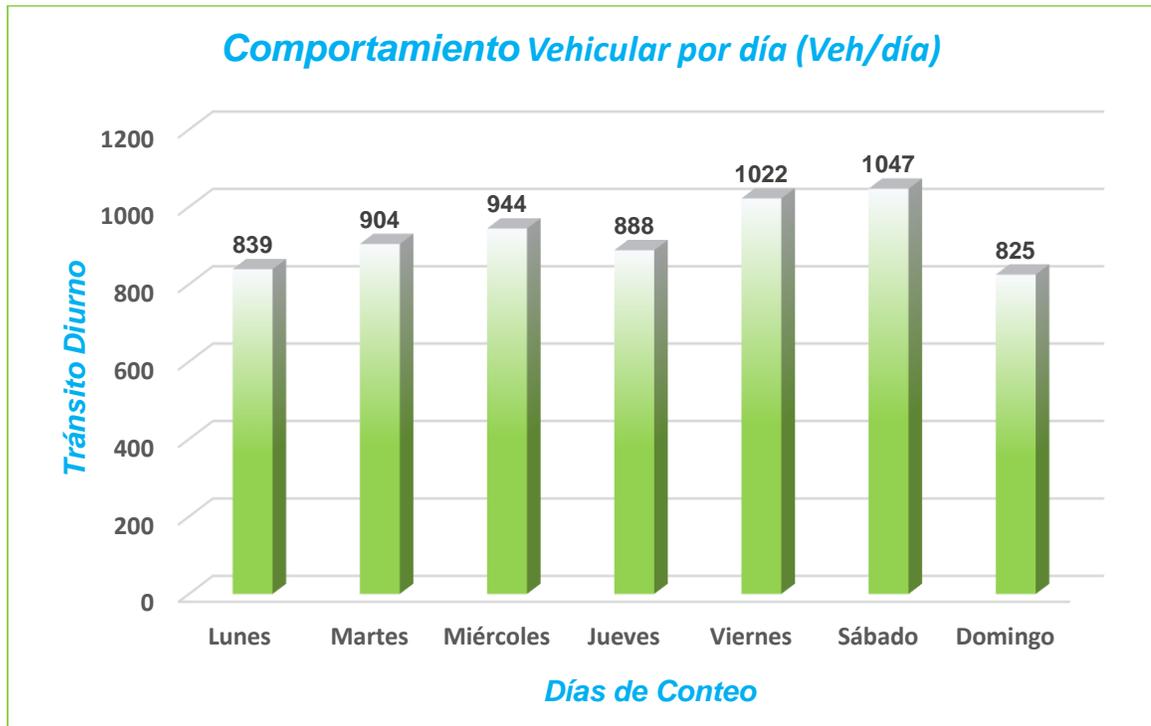
Tabla 3. Resumen Semanal de Aforo Vehicular en ambos sentidos

| Tramo: UNAN FAREM Chontales - Puente Las Limas |  |              |                   |              |                |             | Fecha: 5 al 11 de Julio del 2021    |             |             |             |                  |  |
|--|--|--------------|-------------------|--------------|----------------|-------------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------------|--|
| Ubicación: Est. 0+000                          |  |              | Hora: 6 am - 6 pm |              |                |             |                                     |             |             |             |                  |  |
| Flujo Vehicular en ambos sentidos              | Veh. Pasaj.                              |              |                   |              |                |             | Veh. Pesados                        |             |             |             | Total            |  |
|  | Motos                                    | Autos        | Jeep              | Camioneta    | MnBus 15-30 s. | Bus         | Liv                                 | C2          | C3          | T2-S2       |                  |  |
|  |  |              |                   |              |                |             | 2-5 Ton                             | 5+ Ton      |             | < = 4e      |                  |  |
| UNAN - Puente Las Limas                        | 1843                                     | 366          | 6                 | 590          | 3              | 174         | 133                                 | 114         | 6           | 1           | 3236 Veh.        |  |
| % de distribución por sentido                  | 56.95                                    | 11.31        | 0.19              | 18.23        | 0.09           | 5.38        | 4.11                                | 3.52        | 0.19        | 0.03        | 100%             |  |
| Puente Las Limas - UNAN                        | 1816                                     | 405          | 5                 | 578          | 3              | 168         | 143                                 | 109         | 5           | 1           | 3233 Veh.        |  |
| % de distribución por sentido                  | 56.17                                    | 12.53        | 0.15              | 17.88        | 0.09           | 5.2         | 4.42                                | 3.37        | 0.16        | 0.03        | 100%             |  |
| <b>Vehículos en Ambos Sentidos</b>             | <b>3659</b>                              | <b>771</b>   | <b>11</b>         | <b>1168</b>  | <b>6</b>       | <b>342</b>  | <b>276</b>                          | <b>223</b>  | <b>11</b>   | <b>2</b>    | <b>6469 Veh.</b> |  |
| <b>% por tipo de Vehículo</b>                  | <b>56.56</b>                             | <b>11.92</b> | <b>0.17</b>       | <b>18.06</b> | <b>0.09</b>    | <b>5.29</b> | <b>4.26</b>                         | <b>3.45</b> | <b>0.17</b> | <b>0.03</b> | <b>100%</b>      |  |
|  | <b>92.09</b>                             |              |                   |              |                |             | <b>7.91</b>                         |             |             |             | <b>100%</b>      |  |
|  | <b>% total de Vehículos de Pasajeros</b> |              |                   |              |                |             | <b>% total de Vehículos Pesados</b> |             |             |             |                  |  |

Fuente: Elaboración por sustentantes

El Gráfico 1, muestra el comportamiento del flujo vehicular en la semana de conteo, reflejando los días de mayor circulación en el tramo; el día Sábado con 1047 vehículos, siendo el día de mayor volumen vehicular, seguido por, miércoles y viernes, con un flujo vehicular de 944 y 1022 vehículos respectivamente.

Gráfico 1. Comportamiento Vehicular por día



Fuente: Elaboración por sustentantes

### 2.3.1. Determinación del Tránsito Promedio Diurno (TPD<sub>diurno</sub>)

Para esta etapa se desea conocer el promedio de vehículos que circulan por la vía estudiada por día, para ello se utiliza la siguiente expresión matemática.

$$TPDi = \frac{\text{Total de Vehiculos}}{T} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

El Total de vehículos es la sumatoria de todos los vehículos contados durante el aforo (por categoría).

T: es el tiempo que duró el aforo en día.

$$TPDi(Motos) = \frac{3659}{7} = 522.7 \approx 523$$

Tabla 4. Resultados de Tránsito Promedio Diurno

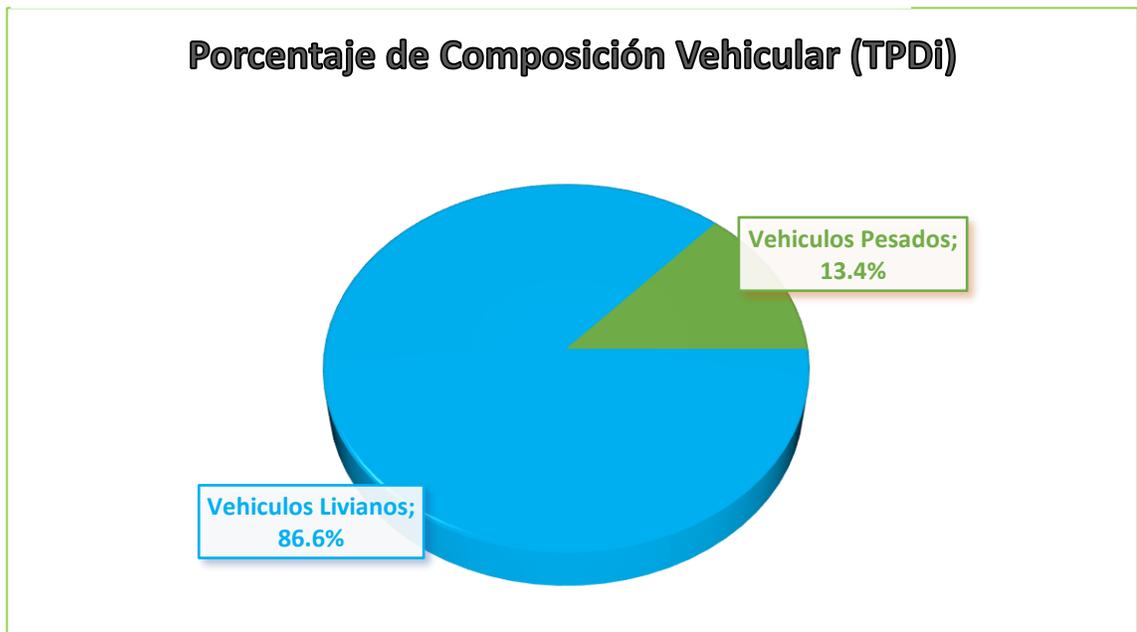
|                    | Veh. Pasaj.                    |            |          |            |          |           | Veh. Pesados                  |           |          |          | Total              |
|--------------------|--------------------------------|------------|----------|------------|----------|-----------|-------------------------------|-----------|----------|----------|--------------------|
|                    | Motos                          | Autos      | Jeep     | Camioneta  | MnBus    | Bus       | Liv                           | C2        | C3       | T2-S2    |                    |
| <b>Total, Veh.</b> | 3659                           | 771        | 11       | 1168       | 6        | 342       | 276                           | 223       | 11       | 2        | 6469               |
| <b>TPDi</b>        | <b>523</b>                     | <b>111</b> | <b>2</b> | <b>167</b> | <b>1</b> | <b>49</b> | <b>40</b>                     | <b>32</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>928 Veh/Día</b> |
|                    | <b>86.6%</b>                   |            |          |            |          |           | <b>13.4%</b>                  |           |          |          | <b>100%</b>        |
|                    | <b>% de Vehículos Livianos</b> |            |          |            |          |           | <b>% de Vehículos Pesados</b> |           |          |          |                    |

Fuente: Elaboración por sustentantes

### 2.3.1.1. Composición Vehicular del TPDi

Al analizar los datos recolectados en el aforo vehicular, se define el valor de Tránsito Promedio Diario Diurno (TPDi) de 928 vehículos por día, que acorde a la clasificación vehicular, se divide de la siguiente manera: el 86.6% corresponde a vehículos livianos (motocicleta, automóvil, jeep, camioneta, mini bus), y el 13.4% a los vehículos pesados (bus, liviano de carga, C2, C3, Tx-Sx), dicho resultado se muestra ilustrado en el Gráfico 2.

Gráfico 2. Porcentaje de Clasificación Vehicular del TPDA



Fuente: Elaboración por sustentantes

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

Basado en lo establecido en el Anuario de Aforos de Tráfico (2019), es necesario tener en consideración diferentes vectores, tales como: vector geográfico y vector volumen.

En la Tabla 33 (*Ver anexos, Pág. III*) se presenta la clasificación que corresponde al vector geográfico, para el tramo en estudio UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas, que corresponde a un vector R3, expresando que se encuentra en la región central norte, ya que pertenece al departamento de Chontales.

Para dicho tramo, se implementa la Estación de Corta Duración 3701 Juigalpa – Puerto Diaz, perteneciente a la Estación de Mayor Cobertura 1802, San Marcos – Masatepe, Acorde con lo que establece el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI (2019), la ECD se aplica cuando el vector volumen varía desde 300 hasta 5000 vehículos por día.

Tabla 5. Dependencia de Estaciones 2019

| DEPENDENCIA DE ESTACIONES<br>2019         |         |             |                       |  |
|---|---------|-------------|-----------------------|--|
| ESTACION DE MAYOR COBERTURA               | NIC     | Nº ESTACION | TIPO                  | NOMBRE DEL TRAMO   |
| <b>1802<br/>San Marcos -<br/>Masatepe</b> | NIC-35A | 3505        | ECS                   | Estelí (Inter NIC-1) - La Estanzuela                         |
|   | NIC-35A | 3504        | ECS                   | La Estanzuela - San Nicolás                                  |
|   | NIC-35B | 3502        | ECD                   | Estelí (Inter NIC-1) - Emp. Chilamatillo                     |
|   | NIC-35B | 3507        | ECS                   | Emp. Chilamatillo - Escuela Miraflores                       |
|   | NIC-35B | 3508        | ECS                   | Escuela Miraflores - San Sebastián de Yalí (Empalme Quiatas) |
|   | NIC-35C | 2605        | ECS                   | El Jicaral - Santa Rosa del Peñón                            |
|   | NIC-35D | 3503        | ECD                   | San Sebastián de Yalí - La Rica                              |
|   | NIC-36  | 1214        | ECD                   | Emp.Posoltega - Posoltega                                    |
|   | NIC-37A | 714         | ECS                   | Las Lajitas - Cuapa -Comarca El Zancudo                      |
|   | NIC-37B | 3701        | ECS                   | Juigalpa - Puerto Diaz                                       |
|   | NIC-38  | 3801        | ECS                   | Dos Montes - El Sauce  |
| NIC-38                                    | 2611    | ECS         | El Sauce - Río Grande |  |

Fuente: (Anuario de Aforos de Tráfico MTI, 2019) Sección Anexos

Para la obtención del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA), es necesario tener en cuenta el factor de expansión apropiado y el factor día correcto, dichos factores, deben ser identificados en el anuario estadístico del MTI (2019), teniendo en cuenta la estación de conteo sobre al tramo en estudio, identificada como la ECD 3701 Juigalpa – Puerto Diaz.

En la Tabla 6, Pag.15 se aprecian los factores implementados para realizar la expansión de TPDi a TPDA, en el que se selecciona los valores que corresponden al Conteo 2, ya que estos pertenecen al segundo cuatrimestre del año, acorde a los registros del conteo realizado por el MTI, y el aforo vehicular en estudio, se realizó en la primera semana del mes de julio, cumpliendo con el periodo que lo rige.

Tabla 6. Factores Implementados para realizar la expansión del TPDi a TPDA



**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 - 2019**

Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

| Descripción             | Moto | Carro | Jeep | Camioneta | Micro Bus | Mini Bus | Bus  | Liv. 2-5 t. | C2   | C3   | Tx-Sx<=4 | Tx-Sx=>5 | Cx-Rx<4 | Cx-Rx=>5 | V.A  | V.C  | Otros |
|-------------------------|------|-------|------|-----------|-----------|----------|------|-------------|------|------|----------|----------|---------|----------|------|------|-------|
| Factor Día              | 1.41 | 1.38  | 1.29 | 1.29      | 1.33      | 1.27     | 1.39 | 1.21        | 1.26 | 1.14 | 1.00     | 1.18     | 1.00    | 1.00     | 1.00 | 1.00 | 1.25  |
| Factor Semana           | 0.97 | 1.05  | 1.12 | 1.01      | 0.98      | 0.96     | 0.92 | 0.91        | 0.85 | 0.89 | 1.00     | 0.91     | 1.00    | 1.00     | 1.00 | 1.00 | 1.29  |
| Factor Fin de Semana    | 1.08 | 0.89  | 0.79 | 0.97      | 1.06      | 1.13     | 1.30 | 1.31        | 1.74 | 1.43 | 1.00     | 1.35     | 1.00    | 1.00     | 1.00 | 1.00 | 0.64  |
| Factor Expansión a TPDA | 0.99 | 1.02  | 0.97 | 1.03      | 1.00      | 1.00     | 0.99 | 0.98        | 1.05 | 1.24 | 1.00     | 0.99     | 1.00    | 1.00     | 1.00 | 1.00 | 0.85  |

Fuente: (Anuario de Aforos de Tráfico MTI, 2019) Sección Anexos

Se calcula el TPDA para cada una de las categorías de los vehículos que se contaron durante el aforo vehicular, este valor en una medida del promedio de vehículos diarios que circulan en un año. Utilizando la siguiente ecuación:

$$TPDA = TPDi * F. dia * F. expansión \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual

TPDi: Tránsito Promedio Diario

F. día: Factor día

F. expansión: Factor de expansión

Tabla 7. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

|                         | Veh. Pasaj.                 |            |          |            |          |           | Veh. Pesados               |           |          |          | Total               |
|-------------------------|-----------------------------|------------|----------|------------|----------|-----------|----------------------------|-----------|----------|----------|---------------------|
|                         | Motos                       | Autos      | Jeep     | Camioneta  | MnBus    | Bus       | Liv                        | C2        | C3       | T2-S2    |                     |
| <b>TPDi</b>             | 523                         | 111        | 2        | 167        | 1        | 49        | 40                         | 32        | 2        | 1        | <b>928 Veh/día</b>  |
| <b>Factor día</b>       | 1.41                        | 1.38       | 1.29     | 1.29       | 1.27     | 1.39      | 1.21                       | 1.26      | 1.14     | 1        |                     |
| <b>Factor expansión</b> | 0.99                        | 1.02       | 0.97     | 1.03       | 1        | 0.99      | 0.98                       | 1.05      | 1.24     | 1        |                     |
| <b>TPDA 2021</b>        | <b>731</b>                  | <b>157</b> | <b>3</b> | <b>222</b> | <b>2</b> | <b>68</b> | <b>48</b>                  | <b>43</b> | <b>3</b> | <b>1</b> | <b>1278 Veh/día</b> |
| <b>Total</b>            | 1115                        |            |          |            |          |           | 163                        |           |          |          | 1278 Veh/día        |
| <b>%</b>                | 57.2                        | 12.3       | 0.2      | 17.4       | 0.2      | 5.3       | 3.8                        | 3.4       | 0.2      | 0.1      | 100%                |
|                         | <b>87.2%</b>                |            |          |            |          |           | <b>12.8%</b>               |           |          |          | <b>100%</b>         |
|                         | <b>% Vehículos Livianos</b> |            |          |            |          |           | <b>% Vehículos Pesados</b> |           |          |          |                     |

Fuente: Elaboración por sustentantes

Ejemplos de cálculos

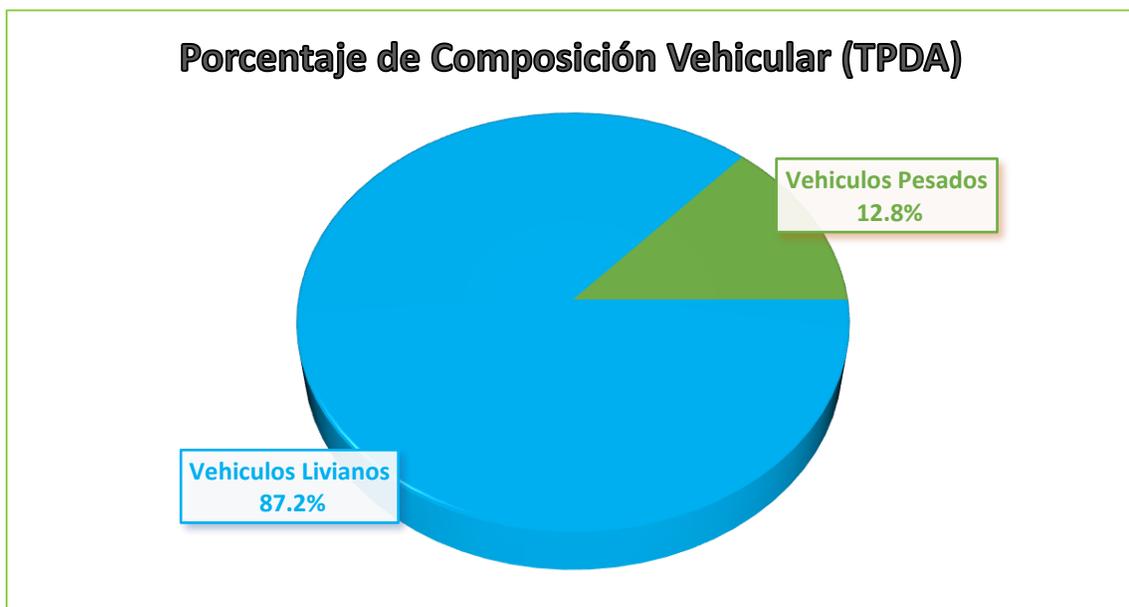
$$TPDA(Motos) = 523 * 1,41 * 0,99 = 731 \text{ motos}$$

$$TPDA(Autos) = 111 * 1,38 * 1,02 = 157 \text{ autos}$$

### 2.3.2.1. Composición Vehicular del TPDA

A partir de los resultados obtenidos de la expansión del TPDA, se determina la composición vehicular que se conforma de la siguiente manera: de los 1278 Veh/día, el 87.2% corresponde a los vehículos livianos (motos, autos, jeep, camionetas y mini bus) y el 12.8% se expresa en los vehículos pesados (bus, livianos de carga, C2, C3, T2-S2).

Gráfico 3. Porcentaje de Composición Vehicular del TPDA



Fuente: Elaboración por sustentantes

## 2.4. Tasas de Crecimiento

Acorde a lo que especifica el Anuario de Aforos de Tráfico del MTI (2019), las tasas de crecimiento, se implementan con el propósito de considerar datos estadísticos de conteos previos. Es un proceso investigativo, que involucra los diferentes volúmenes de tránsito (TPDA), y su comportamiento, para así, no presentar ningún distorsionamiento por factores locales, al momento de realizar una proyección para un diseño de pavimento.

### 2.4.1. Determinación de la Tasa de Crecimiento

Las tasas de crecimiento varían acorde a los indicadores que se toman en cuenta, por ende, las variables a considerar son las 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 en cuenta los valores de la estación más cercana al tramo en estudio (UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas), la cual es, la Estación de Corta Duración 3701, Juigalpa – Puerto Diaz, dicho registro histórico, se presenta en la última versión del anuario estadístico del MTI (2019). (Ver anexos, *Tabla 34, Pág. IV*)

La ECD 3701 Juigalpa – Puerto Diaz, presenta una tasa de crecimiento de 6.57%, dicho valor, es un dato con el cual se compararán los resultados obtenidos con respecto a los indicadores referenciales.

Según la Oficina de Diagnóstico y Evaluación de Pavimentos y Puentes (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2019, págs. 14-15), especifica que el método más común para la Proyección de Tráfico, el que consiste en la implementación de la siguiente ecuación:

$$TC = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1 \quad \textbf{Ecuación 3}$$

Donde:

TC = Tasa de Crecimiento

TPDA<sub>i</sub> = Tráfico Promedio Diario Actual.

TPDA<sub>0</sub> = Tráfico Promedio Diario Actual del año base.

n = La diferencia de años

Una vez obtenida una serie de tasas de un año con respecto a otro, se procede a aplicar la media geométrica aplicando la siguiente ecuación:

$$Tf = \left[ (TC_1 * TC_2 * \dots * TC_n)^{1/n} - 1 \right] \quad \textbf{Ecuación 4}$$

Donde:

Tf = Tasa de Crecimiento Final

$TC_n$  = Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica.

n = Cantidad de tasas de Crecimiento

Con los años del registro histórico del TPDA *Tabla 8, Pág.19*, se evalúa el crecimiento interanual, aplicando la Ecuación 3, Pág. 18, obteniendo como resultado los valores presentes en la Tabla 8:

$$TC_{1997-2019} = \left[ \left( \frac{531}{110} \right)^{1/22} \right] - 1$$

$$TC_{1997-2019} = 0.07418 * 100$$

$$TC_{1997-2019} = 7.42\%$$

*Tabla 8. Tasas de crecimiento Interanual con registros históricos de la ECD 3701 Juigalpa – Puerto Diaz*

| Año  | TPDA | Periodo     | n=diferencia de años | Tasa de Crecimiento (TPDA) |
|------|------|-------------|----------------------|----------------------------|
| 1997 | 110  | 1997 - 2019 | 22                   | 7.42%                      |
| 1999 | 140  | 1999 - 2019 | 20                   | 6.89%                      |
| 2002 | 212  | 2002 - 2019 | 17                   | 5.55%                      |
| 2007 | 164  | 2007 - 2019 | 12                   | 10.30%                     |
| 2010 | 226  | 2010 - 2019 | 9                    | 8.92%                      |
| 2013 | 323  | 2013 - 2019 | 6                    | 8.64%                      |
| 2015 | 412  | 2015 - 2019 | 4                    | 6.55%                      |
| 2019 | 531  |             |                      |                            |

Fuente: Elaboración por Sustentantes

Con los valores obtenidos, se procede a calcular la media geométrica, aplicando la Ecuación 4, Pág. 18, a continuación, se detalla el cálculo:

$$TC_G = \left[ (7.42 * 6.89 * 5.55 * 10.30 * 8.92 * 8.64 * 6.55)^{1/7} - 1 \right]$$

$$TC_G = 6.61\%$$

Habiendo calculado la Tasa de Crecimiento final en base a los registros de aforos vehiculares, se obtuvo como resultado un valor de 6.61%, se puede observar que el resultado es similar a la Tasa de Crecimiento de 6.57% reflejada en los registros históricos del Anuario de Aforos del Tráfico MTI.

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del Producto Interno Bruto (PIB) y el Crecimiento Poblacional (POB) según los años históricos del TPDA.

*Tabla 9. Registros históricos del Producto Interno Bruto y Crecimiento Poblacional*

| <b>Año</b>        | <b>PIB</b> | <b>Tasas de Crecimiento (PIB)</b> | <b>POB</b> | <b>Tasas de Crecimiento (POB)</b> |
|-------------------|------------|-----------------------------------|------------|-----------------------------------|
| 1997              | 3,382.8    | 4.0%                              | 4843.9     | 1.77%                             |
| 1999              | 3,742.7    | 7.0%                              | 5016.9     | 1.50%                             |
| 2002              | 4,026.0    | 0.8%                              | 5244.7     | 1.71%                             |
| 2007              | 7,423.4    | 5.1%                              | 5707.9     | 1.24%                             |
| 2010              | 8,758.6    | 4.4%                              | 5923.1     | 1.17%                             |
| 2013              | 10,983.0   | 4.9%                              | 6134.3     | 1.56%                             |
| 2015              | 12,747.7   | 4.8%                              | 6327.9     | 0.78%                             |
| 2019              | 12,611.2   |                                   | 6527.7     |                                   |
| <b>T.C. Prom.</b> |            | <b>4.43%</b>                      |            | <b>1.40%</b>                      |

*Fuente:* (Anuario de Estadísticas Macroeconómicas (BCN), 1997 - 2019)

Con las tasas de crecimiento del PIB y POB, se define un valor de tasa promedio para cada uno, así que, las tasas de crecimiento promedio son: para el PIB es de 4.43% y para el POB es de 1.40%.

Con el resultado obtenido en la Tabla 8 y Tabla 9, pág. 19 y 20 respectivamente, que muestran el análisis de las variables TPDA de la ECD 3701 Juigalpa – Puerto Diaz, PIB y Crecimiento Poblacional, se define la tasa de crecimiento vehicular a implementar, siendo esta, el promedio de las tasas de las variables descritas, como se aprecia a continuación:

$$Tf = \frac{6.61 + 4.43 + 1.40}{3}$$

$$Tf = 4.15 \%$$

La tasa de crecimiento vehicular a aplicar en el tramo UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas, es de 4.15%.

## 2.5. Tránsito de Diseño

Este es un factor importante en los diseños de estructura de pavimentos. Este se obtiene a partir de la información básica suministrada por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el Factor de Crecimiento (FC), Factor de distribución por sentido o factor direccional (Fd) y Factor de distribución por Carril (fc). Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TD = TPDA * FC * Fd * fc$$

**Ecuación 5**

### 2.5.1. Clasificación del tipo de Carretera

El manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales (SIECA), 2004; establece los distintos intervalos de tiempo que se deben de considerar para el periodo de diseño en cada tipo de carretera. La siguiente tabla muestra los elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales.

*Tabla 10. Selección del Tipo de Carretera*

| No. | DESCRIPCION                     | AUTOPISTAS REGIONALES | TRONCALES     |              | COLECTORAS |           |
|-----|---------------------------------|-----------------------|---------------|--------------|------------|-----------|
|     |                                 |                       | Suburbanas    | Rurales      | Suburbanas | Rurales   |
| 1   | TPDA, vehículos promedio diario | >20,000               | 20,000-10,000 | 10,000-3,000 | 3,000-500  | 3,000-500 |
| 2   | VHD, vehículos por hora         | >2,000                | 2,000-1,000   | 1,500-450    | 300-50     | 450-75    |
| 3   | Factor de Hora Pico, FHP        | 0.92                  | 0.92          | 0.95-0.91    | 0.92       | 0.85      |

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

Teniendo en cuenta que el TPDA del tramo en estudio es de 1278 vehículos promedio diario y sirve al tránsito que se mueve de una ciudad hacia una comarca o viceversa, se clasifica como Colectora Rural.

### 2.5.2. Periodo de Diseño

El manual centroamericano para Diseños de Pavimentos (SIECA), 2002; establece los distintos intervalos de tiempo que se deben de considerar para el periodo de diseño en cada tipo de carretera. La siguiente tabla muestra los distintos tipos de carreteras y los periodos de diseños que le corresponden a cada uno.

Tabla 11. Periodo de diseño para distintos tipos de carretera

| Tipo de Carretera         | Periodo de Diseño    |
|---------------------------|----------------------|
| Autopista regional        | 20 - 40 (Años)       |
| Troncales Sub-Urbanas     | 15 – 30 (Años)       |
| Troncales Rurales         |                      |
| Colectoras Sub-Urbanas    | <b>10 -20 (Años)</b> |
| <b>Colectoras Rurales</b> |                      |

Fuente: (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (SIECA), 2002, pág. 3; Cap 7)

El periodo de diseño a considerar para el presente proyecto, ya que este se clasifica como una colectoras rural es de 15 años, siendo la media del intervalo de “10 a 20 años”.

### 2.5.3. Factor de Crecimiento (FC)

El factor de crecimiento es un parámetro que depende del periodo de diseño, la cual se establece según la magnitud o importancia de la vía y de la tasa de crecimiento del tránsito. Esta se calcula mediante la siguiente expresión matemática.

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

**Ecuación 6**

Donde:

i: Tasa de crecimiento

n: Periodo de diseño

365: Días del año

$$FC = \frac{(1 + 0.0415)^{15} - 1}{0.0415} * 365$$

$$FC \approx 7391$$

#### 2.5.4. Factor direccional (Fd)

El factor de distribución direccional expresado como una relación, que corresponde al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, normalmente corresponde a la mitad del total de tránsito pesado circulante en ambas direcciones.

Teniendo en cuenta los resultados del Aforo Vehicular la Tabla 1, Pág. 8; muestra el total de Vehículos pesados en el Sentido: UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas siendo 254 vehículos, de la misma manera en la Tabla 2, Pág. 9 se muestra el total de Vehículos pesados en el Sentido: Puente Las Limas - UNAN FAREM Chontales siendo 258 vehículos. Por lo tanto, el total de vehículos pesados en ambos sentidos es de 512 vehículos.

Mediante regla de tres simple se calculó el porcentaje de distribución por dirección:

$$512 \text{ Veh.} \rightarrow 100\%$$

$$254 \text{ Veh.} \rightarrow Fd$$

$$\Rightarrow Fd = \frac{254 \text{ Veh} * 100 \%}{512 \text{ Veh}} = 49.6 \% \approx 50\%$$

Se obtuvo un porcentaje para el factor de distribución por dirección del 50%, es decir, que para el caso de la red de carretera a diseñar el número de carriles en ambas direcciones será 2.

Tabla 12. Factor de distribución por dirección

| Número de carriles en ambas direcciones | Porcentaje de distribución |
|---|----------------------------|
| 2                                       | 50                         |
| 4                                       | 45                         |
| 6 a más                                 | 40                         |

Fuente: (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (SIECA), 2002, pág. 29; Cap 3)

### 2.5.5. Factor de distribución por carril (fc)

Se refiere al número de carriles por sentidos para los cuales se está diseñando. El factor de carril que utilizaremos es del 100%, ya que estamos considerando que la carretera será diseñada para 2 carriles de circulación (1 por sentido); por lo tanto, **fc=1**.

Tabla 13. Factor de distribución por carril

| Número de Carriles en una sola dirección | Porcentaje de distribución |
|--|----------------------------|
| 1  | 1.00                       |
| 2  | 0.80 - 1.00                |
| 3  | 0.60 - 0.80                |
| 4  | 0.5 - 0.75                 |

Fuente: (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (SIECA), 2002, pág. 29; Cap 3)

Con los diferentes factores definidos, se calcula el Tránsito de Diseño (TD) para el carril correspondiente, aplicando la Ecuación 5, pág. 21. En la Tabla 14, Pág. 25, se presentan los resultados obtenidos, brindando un valor de **4,722,849 vehículos** para el periodo de diseño de 15 años.

### 2.5.6. Cálculo de Tránsito de Diseño

El cálculo del tránsito de diseño se llevará a cabo por medio de la Ecuación 5, Pág. 20.

Tabla 14. Tránsito de Diseño (Tramo UNAN FAREM Chontales – Puente Las Limas)

| Grupo                     | Tipo de vehículo      | TPDA        | Factor Direccional | Factor Carril | Factor Crecimiento | TD                    |
|---------------------------|-----------------------|-------------|--------------------|---------------|--------------------|-----------------------|
| <b>Vehículos Livianos</b> | <b>Motos</b>          | 731         | 0.5                | 1             | 7,391              | 2,701,411             |
|                           | <b>Autos</b>          | 157         | 0.5                | 1             | 7,391              | 580,194               |
|                           | <b>Jeep</b>           | 3           | 0.5                | 1             | 7,391              | 11,087                |
|                           | <b>Camionetas</b>     | 222         | 0.5                | 1             | 7,391              | 820,401               |
|                           | <b>Mn bus</b>         | 2           | 0.5                | 1             | 7,391              | 7,391                 |
| <b>Vehículos Pesados</b>  | <b>Bus</b>            | 68          | 0.5                | 1             | 7,391              | 251,294               |
|                           | <b>Liv. 2 - 5 Ton</b> | 48          | 0.5                | 1             | 7,391              | 177,384               |
|                           | <b>C2 5+ Ton</b>      | 43          | 0.5                | 1             | 7,391              | 158,907               |
|                           | <b>C3</b>             | 3           | 0.5                | 1             | 7,391              | 11,087                |
|                           | <b>T3-S2</b>          | 1           | 0.5                | 1             | 7,391              | 3,696                 |
| <b>Totales</b>            |                       | <b>1278</b> |                    |               |                    | <b>4,722,849 Veh.</b> |

Fuente: Elaboración por sustentantes

Ejemplo de cálculo (para moto):

$$TD_{2036} = 731 * 7391 * 0.5 * 1 = 2,701,411 Veh.$$

## **2.6. Determinación de los Factores de ejes equivalentes**

Las diferentes cargas que actúan sobre un pavimento producen a su vez diferentes tensiones y deformaciones en el mismo; los diferentes espesores de pavimentos y diferentes materiales, responden en igual forma de diferente manera a igual carga. Como estas cargas producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, las fallas tendrán que ser distintas.

Para tomar en cuenta esta diferencia, el volumen de tránsito se transforma en un número equivalente de ejes de una determinada carga, que a su vez producirá el mismo daño que toda la composición de tránsito mixto de los vehículos. Esta carga uniformizada según AASHTO es de 80 kN o 18 Kips y la conversión se hace a través de los Factores Equivalentes de Carga LEF (Load Equivalent Factor ). (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (SIECA), 2002)

*(Ver Anexos, Tabla N°36 y Tabla N°37, Pág. VII y VIII respectivamente)*

A continuación, se detallan los pesos en toneladas y en libras de cada tipo de vehículo que soportara la estructura de pavimento.

Tabla 15. Carga de Vehículo por tipo de eje

| Tipo de Vehículo     | Eje       | Peso en Toneladas | Peso en libras | Tipo   |
|----------------------|-----------|-------------------|----------------|--------|
| Auto                 | Delantero | 1                 | 2200           | Simple |
|                      | Trasero   | 1                 | 2200           | Simple |
| Camioneta            | Delantero | 1                 | 2200           | Simple |
|                      | Trasero   | 2                 | 4400           | Simple |
| Jeep                 | Delantero | 1                 | 2200           | Simple |
|                      | Trasero   | 1                 | 2200           | Simple |
| Mn Bus 15 - 30 s     | Delantero | 4                 | 8800           | Simple |
|                      | Trasero   | 8                 | 17600          | Simple |
| Bus                  | Delantero | 5                 | 11000          | Simple |
|                      | Trasero   | 10                | 22000          | Simple |
| Liv 2 - 5 Ton        | Delantero | 4                 | 8800           | Simple |
|                      | Trasero   | 8                 | 17600          | Simple |
| C2 5+ Ton            | Delantero | 5                 | 11000          | Simple |
|                      | Trasero   | 10                | 22000          | Simple |
| C3                   | Delantero | 5                 | 11000          | Simple |
|                      | Trasero   | 16.5              | 36300          | Tándem |
| T2-S2<br>Tx - Sx < 4 | Delantero | 5                 | 11000          | Simple |
|                      | Trasero   | 9                 | 19800          | Simple |
|                      | S2        | 16                | 35200          | Tándem |

Fuente: Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI

Para determinar los diferentes Factores Equivalentes de Carga por tipo de vehículo, es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

### 2.6.1. Número Estructural Asumido (SN).

Es un número abstracto que representa la resistencia que requiere la estructura de pavimento para que soporte las combinaciones del tráfico expresadas en ejes simples de 18 Kips, la serviciabilidad final y el ambiente. Se debe considerar un valor de Número Estructural (SN) en función de la importancia de la vía, por lo que se asume un valor de **SN = 4**.

### 2.6.2. Índice de Serviciabilidad.

El índice de serviciabilidad de un pavimento, es el valor que indica el grado de confort que tiene la superficie para el desplazamiento natural y normal de un vehículo; en otra palabras, un pavimento en perfecto estado se le asigna un valor de serviciabilidad inicial que depende del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción, de 5 (Perfecto); y un pavimento en franco deterioro o con un índice de serviciabilidad final que depende de la categoría del camino y se adopta en base a esto y al criterio del proyectista, con un valor de 0 (Pésimas condiciones). (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (SIECA), 2002, págs. 3 - 4; Cáp. 3)

Los valores que se recomiendan dependiendo del tipo de pavimento son los siguientes:

Índice de serviciabilidad inicial:

Po= 4.5 para pavimentos rígidos

**Po= 4.2 para pavimentos flexibles**

Índice de serviciabilidad final:

Pt= 2.5 o más para caminos muy importantes

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

La pérdida de serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ), se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

### 2.6.3. Factor de ejes equivalentes (F ESAL's)

Para el cálculo de los ejes equivalentes ESAL's existe un factor correspondiente que se obtiene de las tablas de la AASHTO 93, de los ejes simples y dobles, para

cada eje de los vehículos, el cual transforma la carga por un eje a un número de ejes equivalentes.

Para obtener dicho valor se considera un  $P_t$  de 2.0, que es el valor que se recomienda para caminos de tránsito menor y un  $SN=4$ . Se interpolan los valores de kips que no se reflejan como lo son 2.2, 4.4, 8.8, 11, 17.6, 19.8 de la tabla para ejes simples. (Ver Anexos, Tabla N°38 – Tabla N°42, Pág. IX y X) De la tabla para ejes tándem (doble), se interpolan los valores de 35.2 y 36.3 kips. (Ver Anexos, Tabla 43, Pág. X)

Tabla 16. Interpolación lineal de 35.2 kips (Ejes Tándem)

| x                          | y    | Interpolación Lineal                                       |   |
|----------------------------|------|--|---|
| Paso No. 1                 |      | Paso No. 2   | Paso No. 3  |
| 34                         | 1.08 | $\frac{x - 1.08}{35.2 - 34} = \frac{1.38 - 1.08}{36 - 34}$ | $x - 1.08 = \left( \frac{1.38 - 1.08}{36 - 34} \right) * (35.2 - 34)$ |
| 35.2                       | x    |  | $x - 1.08 = \frac{0.30}{2} * 1.2$                                     |
| 36                         | 1.38 |  | $x = 0.18 + 1.08$   |
| <b>Resultado para 35.2</b> |      |  | $x = 1.26$  |

Fuente: Elaboración por sustentantes

### 2.7. Cálculo de Ejes Equivalentes (ESAL's o W18)

Se define como ESAL's de diseño a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de 8.2 toneladas, 18 kips o 18,000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento.

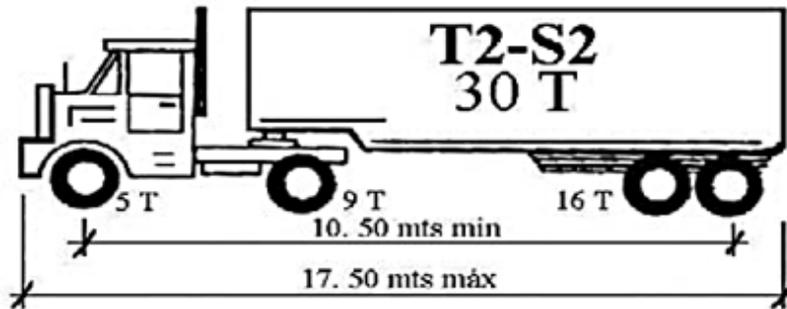
Se obtiene conociendo el tránsito de diseño (TD) y los factores de equivalencia (F ESAL's). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$ESAL's = TD * F ESAL's$$

**Ecuación 7**

Ejemplo de Cálculo de ESAL's (para T2-S2)

Ilustración 4. Vehículo Pesado T2 - S2



Fuente: Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI

Teniendo en cuenta los resultados de la interpolación para los diferentes ejes que muestra, y haciendo uso de la Ecuación 7, Pág. 29, se procede a calcular el ESAL's de diseño para T2-S2.

$$ESAL's = TD * F ESAL's$$

$$ESAL's (T2 - S2) = (3,696) * (0.134 + 1.495 + 1.26)$$

$$ESAL's (T2 - S2) = 10,677.74$$

Tabla 17. Cálculo de ESAL's para T2-S2

| Tipo de Vehículo     | Peso por eje (lbs) | Tránsito de Diseño | Factor ESAL's | ESAL's de Diseño |
|----------------------|--------------------|--------------------|---------------|------------------|
| T2-S2<br>Tx - Sx < 4 | 11000              | 3,696              | 0.134         | 495.26           |
|                      | 19800              |                    | 1.495         | 5,525.52         |
|                      | 35200              |                    | 1.26          | 4,656.96         |
| Total                |                    |                    |               | <b>10,677.74</b> |

Fuente: Elaboración por Sustentantes

Tabla 18. Cálculo de ESAL's por carril de diseño

| Tramo de Carretera:<br><u>UNAN FAREM Chontales - Puente Las Limas</u> |            |   | SN: <u>4</u>             |                     |                  |
|---|------------|---|--------------------------|---------------------|------------------|
| Año de Diseño: <u>2036</u>  |            | Índice de Serviciabilidad final = <u>Pt 2.0</u> |                          |                     |                  |
| Tipo de Vehículo  | TPDA       | Peso por Eje (Kips)                             | Tránsito de Diseño       | Factor ESAL's       | ESAL's de Diseño |
| Auto  | 157        | 2.2   | 580,194                  | 0.00038             | 220.47           |
|   |            | 2.2   |                          | 0.00038             | 220.47           |
| Camioneta   | 222        | 2.2   | 820,401                  | 0.00038             | 311.75           |
|   |            | 4.4   |                          | 0.0036              | 2,953.44         |
| Jeep  | 3          | 2.2   | 11,087                   | 0.00038             | 4.21             |
|   |            | 2.2   |                          | 0.00038             | 4.21             |
| Mn Bus  | 2          | 8.8   | 7,391                    | 0.0538              | 397.64           |
|   |            | 17.6  |                          | 0.9224              | 6,817.46         |
| Bus   | 68         | 11  | 251,294                  | 0.134               | 33,673.40        |
|   |            | 22  |                          | 2.31                | 580,489.14       |
| Liv 2-5 ton   | 48         | 8.8   | 177,384                  | 0.0538              | 9,543.26         |
|   |            | 17.6  |                          | 0.9224              | 163,619.00       |
| C2  | 43         | 11  | 158,907                  | 0.134               | 21,293.54        |
|   |            | 22  |                          | 2.31                | 367,075.17       |
| C3  | 3          | 11  | 11,097                   | 0.134               | 1,487.00         |
|   |            | 36.3  |                          | 1.431               | 15,879.81        |
| T2 - S2   | 1          | 11  | 3,696                    | 0.134               | 495.26           |
|   |            | 19.8  |                          | 1.495               | 5,525.52         |
|   |            | 35.2  |                          | 1.26                | 4,656.96         |
| <b>Total</b>  | <b>547</b> |   | <b>ESAL's de diseño:</b> | <b>1,214,667.72</b> |                  |

Fuente: Elaboración por sustentantes

Para el diseño del tramo en estudio se obtuvo un valor **ESAL's o W18** de **1,214,667.72** ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.





III. *CAPITULO*  
*ESTUDIOS DE SUELOS*

### **3.1. Introducción**

Son investigaciones y estudios que se utilizan para conocer las características del terreno en el que se va a construir la infraestructura vial, y de esa forma realizar un diseño que garantice un correcto comportamiento de la carretera. Presenta las recomendaciones para el diseño y construcción de la cimentación más conveniente, de acuerdo a los resultados obtenidos en la exploración del subsuelo y los resultados obtenidos en laboratorio. (MANUAL PARA REVISION DE ESTUDIOS GEOTECNICO, 2017, pág. 12)

Los aspectos que se consideran en el estudio de suelos son las especificaciones de los materiales que integran el pavimento articulado, análisis de los sondeos de la línea de la vía en estudio y las propiedades de materiales del banco de préstamo cercano al sitio, realizando las investigaciones correspondiente para conocer las condiciones del suelos como: la calidad, textura y propiedades físicas, de manera que por sus propiedades y características permitan determinar el diseño apropiado de la estructura de pavimento de la vía estudio.

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación efectuada a lo largo del tramo, determinando las diferentes propiedades del suelo mediante los ensayos realizados.

El estudio de suelo del presente trabajo se elaboró en el laboratorio Diseño y supervisión, Control de calidad, S.A. (DYSCONCSA), ubicado en la ciudad de Managua.

### **3.2. Trabajo de Campo y laboratorio.**

#### **3.2.1. Muestreo en el sitio**

Se realizaron 12 sondeos manuales, para la toma de muestras de suelos alterados, en toda la longitud del tramo. (*Ver Anexos, Ilustración 15 y 16, Pág. XI*)

Los sondeos se realizaron a una distancia de 200 metros de manera alterna en ambos sentidos de la vía, a una profundidad de 1.50 metros por 0.40 metros de ancho y 0.40 metros de largo, en cada pozo. Se extrajeron 17 muestras, siendo esta una muestra representativa de los suelos en el sitio estudiado.

Se identificaron las características visuales de cada estrato en su estado natural y se tomaron muestras separadas del sub suelo encontrado, con el fin de conocer sus propiedades físico – mecánicas a través de los ensayos de clasificación.

### 3.3. Estudios de laboratorios

Las 17 muestras extraídas, se trasladaron al laboratorio de suelos de Diseños y Seguridad, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA), para determinar las diferentes propiedades del suelo mediante los ensayos.

La siguiente tabla muestra cada uno de los ensayos realizados a las muestras de suelo. Todas las pruebas se realizaron en conformidad a lo establecido en las normas ASTM Y AASHTO.

*Tabla 19. Ensayos realizados a las muestras*

| Tipo de Ensayo                  | Designación |         |
|---------------------------------|-------------|---------|
|                                 | ASTM        | AASHTO  |
| <b>Análisis Granulométrico</b>  | D - 422     | T - 88  |
| <b>Limite Líquido LL</b>        | D - 4318    | T - 89  |
| <b>Índice de Plasticidad IP</b> | D - 4318    | T - 90  |
| <b>Proctor estándar</b>         | D - 698     | T - 99  |
| <b>Valor de Soporte (CBR)</b>   | D - 1883    | T - 193 |

*Fuente: Elaboración por sustentantes*

La *Tabla 20. Resultados de ensayos de Laboratorio de Sondeos Manuales, Pág. 38*, muestra los resultados de los ensayos de laboratorios de los sondeos manuales realizados por la firma consultora, Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

#### 3.3.1. Análisis Granulométrico ASTM D-422

Los ensayos de granulometría se llevaron a cabo con el propósito de conocer el tamaño de las partículas y los porcentajes en cada uno de los pesos para los diferentes tamaños en cada una de las muestras extraídas en campo. Además, este análisis es de mucha ayuda para el proceso de clasificación del suelo por medio del método propuesto por la AASHTO M-145, básicamente divide los

suelos de manera general en dos grupos: Materiales granulares cuando el 35% o menos pasan por el tamiz N°200, y los Materiales limo-arcillosos cuando más de 35% pasan por el tamiz N°200.

Para esto, se prepararon las muestras con secado durante 48 horas, y se procedió con el tamizado, utilizando dichos tamices de manera descendente con respecto a los tamaños de las aberturas, y contabilizando el peso de la muestra retenido en cada uno.

*Ilustración 5. Realización de ensayo de Granulometría*



*Fuente: Captura Propia*

### **Presentación de resultados**

Para cada una de las muestras se determinó el porcentaje retenido por los tamices, así como los porcentajes retenidos acumulados. Cada uno de los resultados obtenidos en este ensayo se presentan en la *Tabla 20. Resultados de ensayos de Laboratorio de Sondeos Manuales, Pág. 38.*

#### **3.3.2. Determinación del Limite Liquido (L.L.)**

En la determinación de los Límites de Consistencia y Límites de Atterberg, se inicia el proceso con el ensayo para obtener el Límite Líquido.

El ensaye se realiza con una porción de la muestra que pasa por el tamiz número 40, con ayuda del equipo Casa Grande; de este proceso se obtiene valores de contenido de humedad y números de golpes necesarios (en el equipo), datos importantes para el cálculo de limite líquido. (ASTM, 2004, págs. 7 - 8)

*Ilustración 6. Realización ensaye de Limite Liquido, haciendo uso de equipo Casa Grande*



*Fuente: Captura Propia*

Luego de realizar el ensayo a cada una de las muestras, se procedió a calcular el límite líquido para cada una. Los resultados obtenidos se presentan en la *Tabla 20. Resultados de ensayos de Laboratorio de Sondeos Manuales, Pág. 38.*

### **3.3.3. Determinación del Limite Plástico (L.P.)**

El límite plástico fue definido por Atterberg como la frontera que existe entre los estados plásticos y semisólidos del suelo. En términos de laboratorio este límite es definido como el momento (en términos de contenido de humedad), en que, la muestra del suelo estudiada presenta desmoronamiento y/o agrietamiento.

En este ensaye, se toman porciones de 2g aproximadamente, rodándolas constantemente con presión suficiente para eliminar su humedad y obtener rollos

con diámetros de (3mm) uniformes en toda su longitud (15 a 20 cm), hasta que dicha masa de suelo se fracture y no sea posible volver a enrollarla.

*Ilustración 7. Proceso del ensayo para determinación de límite plástico*



*Fuente: Captura Propia*

#### **3.3.4. Determinación del Índice de Plasticidad (I.P.)**

En Mecánica de Suelos puede definirse la plasticidad como la propiedad de un material por el cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. (Badillo, 2005, pág. 127)

Una vez determinado el Límite Líquido y Límite Plástico se calcula el Índice de Plasticidad, este dato es el rango de humedades que tienen las muestras de suelo, y, es la diferencia entre el resultado de los dos factores antes mencionados.

Los resultados obtenidos del Índice de plasticidad, se presentan en la *Tabla 20. Resultados de ensayos de Laboratorio de Sondeos Manuales, Pág. 38.*

#### **3.3.5. Clasificación de los suelos**

El material predominante en el tramo, de acuerdo a los sondeos manuales preliminares, está compuesto por material clasificado como **A-2-6** y **A-2-7** Se trata de materiales granulares y se caracterizan por tener un pasante #200 menor o

igual a 35%, un límite líquido alrededor del 40% máx. y un índice de plasticidad igual o menor al 11%. **A-7-5**. Se trata de suelos granulométricamente arcillosos y se caracterizan por tener un pasante #200 igual o mayor al 36%, un límite líquido alrededor del 40% máx. y un índice de plasticidad igual o mayor al 11%. (*Ver Anexos; Tabla N°44, Pág. XII*)

Estos suelos según la AASHTO, son clasificados como deficientes, debido a la variación de humedad generan pérdida de capacidad del suelo, lo que indica que es un material malo para terracería, por lo que se recomienda ser sustituidos por un material de mayor calidad.

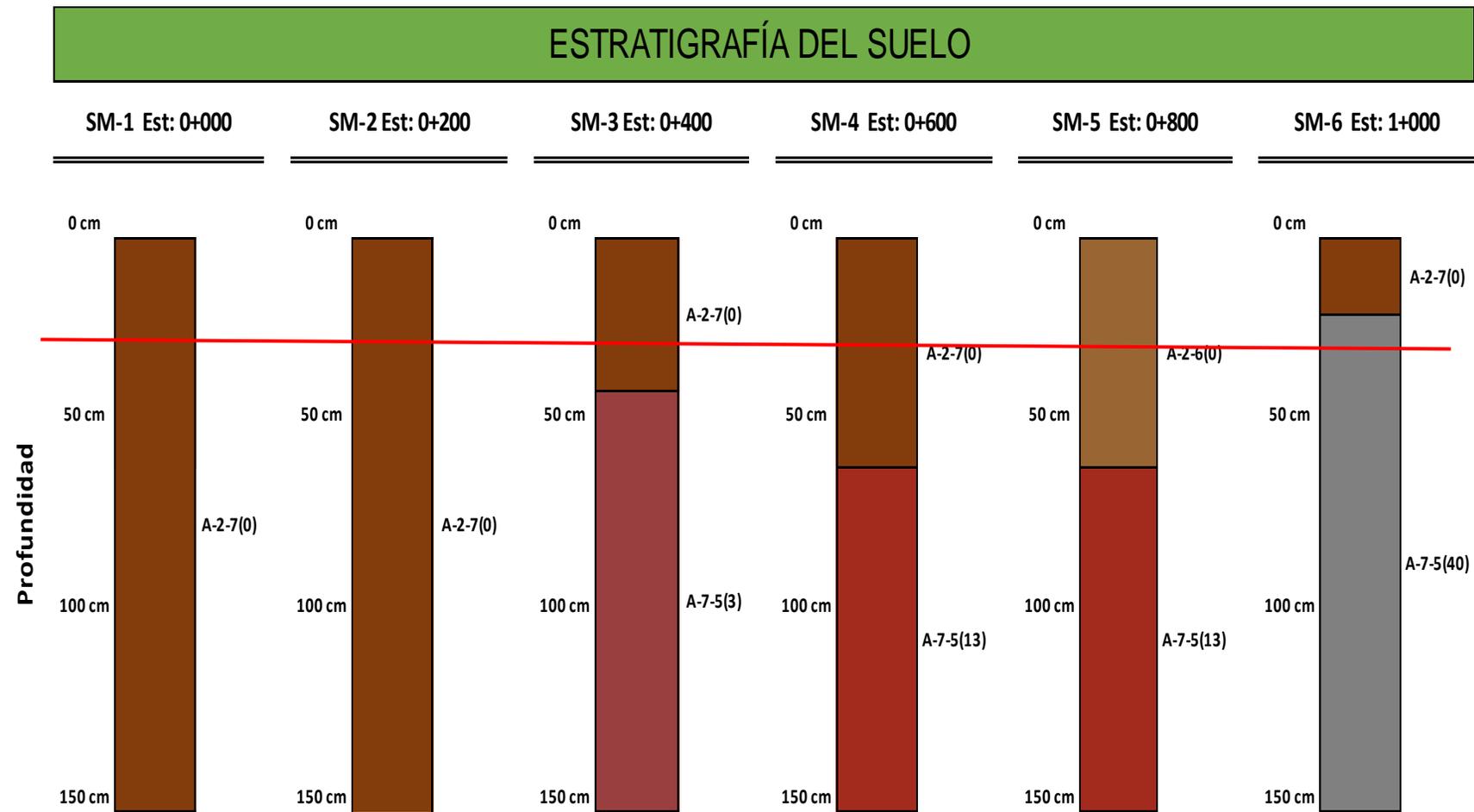
A continuación, la *Tabla 20. Resultados de ensayos de Laboratorio de Sondeos Manuales, Pág. 38*, muestra los resultados de los ensayos de laboratorio de sondeos de línea realizados por la firma, Diseño y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Tabla 20. Resultados de ensayos de Laboratorio de Sondeos Manuales

| DISEÑO Y SUPERVISION, CONTROL DE CALIDAD, S.A.<br>De Los Semaforos del Seminario 1 Cuadra Al Lago 1 Cuadra Abajo.<br>Telefax (505) 2250-0010<br><a href="mailto:dysconcsa@gmail.com">dysconcsa@gmail.com</a><br><a href="http://www.dysconcsa.net">www.dysconcsa.net</a><br>MATRIZ DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE SUELOS (SONDEOS MANUALES)<br>PROYECTO: Diseño de Estructura de Pavimento Articulado de 2.2 Kilometros de Calle UNAN FAREM Chontales - Puente Las Limas Departamento de Chontales. |          |            |         |               |                           |        |     |      |      |      |      |       |       |        |                      |        |    |    |    |       |           |   |
|--|----------|------------|---------|---------------|---------------------------|--------|-----|------|------|------|------|-------|-------|--------|----------------------|--------|----|----|----|-------|-----------|---|
| Sondeo   | Estación | Desviación | Muestra | Profundidad   | GRANULOMETRIA, % QUE PASA |        |     |      |      |      |      |       |       |        | Limites de Atterberg |        | G  | S  | F  | SUCS  | AASHTO    | DESCRIPCION   |
|  |          |            |         |               | 2"                        | 1 1/2" | 1"  | 3/4" | 1/2" | 3/8" | No 4 | No 10 | No 40 | No 200 | LL (%)               | IP (%) |    |    |    |       |           |   |
| SM-1   | 0+00     | B/D        | 1       | 0.00 - 1.50 m | 100                       | 94     | 78  | 70   | 57   | 51   | 31   | 24    | 16    | 12     | 54                   | 22     | 69 | 19 | 12 | GP-GM | A-2-7(0)  | Grava pobremente graduada con limo y arena, color cafe.   |
| SM-2   | 0+200    | B/I        | 1       | 0.00 - 1.50 m | 100                       | 94     | 78  | 70   | 57   | 51   | 31   | 24    | 16    | 12     | 54                   | 22     | 69 | 19 | 12 | GP-GM | A-2-7(0)  | Grava pobremente graduada con limo y arena, color cafe.   |
| SM-3   | 0+400    | B/D        | 1       | 0.00 - 0.40 m | 100                       | 94     | 78  | 70   | 57   | 51   | 31   | 24    | 16    | 12     | 54                   | 22     | 69 | 19 | 12 | GP-GM | A-2-7(0)  | Grava pobremente graduada con limo y arena, color cafe.   |
|  |          |            | 2       | 0.40 - 1.50 m | 100                       | 100    | 92  | 89   | 84   | 81   | 62   | 60    | 50    | 39     | 54                   | 17     | 38 | 23 | 39 | GM    | A-7-5(3)  | Grava limosa con arena, color rojizo con pintas gris.     |
| SM-4   | 0+600    | B/I        | 1       | 0.00 - 0.60 m | 100                       | 94     | 78  | 70   | 57   | 51   | 31   | 24    | 16    | 12     | 54                   | 22     | 69 | 19 | 12 | GP-GM | A-2-7(0)  | Grava pobremente graduada con limo y arena, color cafe.   |
|  |          |            | 2       | 0.60 - 1.50 m | 100                       | 100    | 97  | 95   | 90   | 85   | 70   | 63    | 54    | 48     | 77                   | 33     | 30 | 22 | 48 | GM    | A-7-5(13) | Grava limosa con arena, color rojizo con pintas amarilla. |
| SM-5   | 0+800    | B/D        | 1       | 0.00 - 0.60 m | 100                       | 100    | 92  | 88   | 82   | 78   | 63   | 44    | 28    | 21     | 38                   | 12     | 37 | 42 | 21 | SM    | A-2-6(0)  | Arena limosa, color cafe claro.                           |
|  |          |            | 2       | 0.60 - 1.50 m | 100                       | 100    | 97  | 95   | 90   | 85   | 70   | 63    | 54    | 48     | 77                   | 33     | 30 | 22 | 48 | GM    | A-7-5(13) | Grava limosa con arena, color rojizo con pintas amarilla. |
| SM-6   | 1+000    | B/I        | 1       | 0.00 - 0.20 m | 100                       | 94     | 78  | 70   | 57   | 51   | 31   | 24    | 16    | 12     | 54                   | 22     | 69 | 19 | 12 | GP-GM | A-2-7(0)  | Grava pobremente graduada con limo y arena, color cafe.   |
|  |          |            | 2       | 0.20 - 1.50 m | 100                       | 100    | 100 | 100  | 100  | 100  | 100  | 96    | 91    | 87     | 78                   | 38     | 0  | 13 | 87 | MH    | A-7-5(40) | Limo de alta compresibilidad, color gris.                 |
| SM-7   | 1+200    | B/D        | 1       | 0.00 - 1.50 m | 100                       | 100    | 92  | 88   | 82   | 78   | 63   | 44    | 28    | 21     | 38                   | 12     | 37 | 42 | 21 | SM    | A-2-6(0)  | Arena limosa, color cafe claro.                           |
| SM-8   | 1+400    | B/I        | 1       | 0.00 - 0.50 m | 100                       | 94     | 78  | 70   | 57   | 51   | 31   | 24    | 16    | 12     | 54                   | 22     | 69 | 19 | 12 | GP-GM | A-2-7(0)  | Grava pobremente graduada con limo y arena, color cafe.   |
|  |          |            | 2       | 0.50 - 1.50 m | 100                       | 100    | 97  | 95   | 90   | 85   | 70   | 63    | 54    | 48     | 77                   | 33     | 30 | 22 | 48 | GM    | A-7-5(13) | Grava limosa con arena, color rojizo con pintas amarilla. |
| SM-9   | 1+600    | B/D        | 1       | 0.00 - 1.50 m | 100                       | 94     | 78  | 70   | 57   | 50   | 30   | 21    | 13    | 9      | 51                   | 18     | 70 | 21 | 9  | GP-GM | A-2-7(0)  | Grava pobremente graduada con limo y arena, color rojizo. |
| SM-10  | 1+800    | B/I        | 1       | 0.00 - 1.50 m | 100                       | 94     | 78  | 70   | 57   | 51   | 31   | 24    | 16    | 12     | 54                   | 22     | 69 | 19 | 12 | GP-GM | A-2-7(0)  | Grava pobremente graduada con limo y arena, color cafe.   |
| SM-11  | 2+000    | B/D        | 1       | 0.00 - 1.50 m | 100                       | 94     | 78  | 70   | 57   | 50   | 30   | 21    | 13    | 9      | 51                   | 18     | 70 | 21 | 9  | GP-GM | A-2-7(0)  | Grava pobremente graduada con limo y arena, color rojizo. |
| SM-12  | 2+200    | B/I        | 1       | 0.00 - 1.50 m | 100                       | 94     | 78  | 70   | 57   | 51   | 31   | 24    | 16    | 12     | 54                   | 22     | 69 | 19 | 12 | GP-GM | A-2-7(0)  | Grava pobremente graduada con limo y arena, color cafe.   |

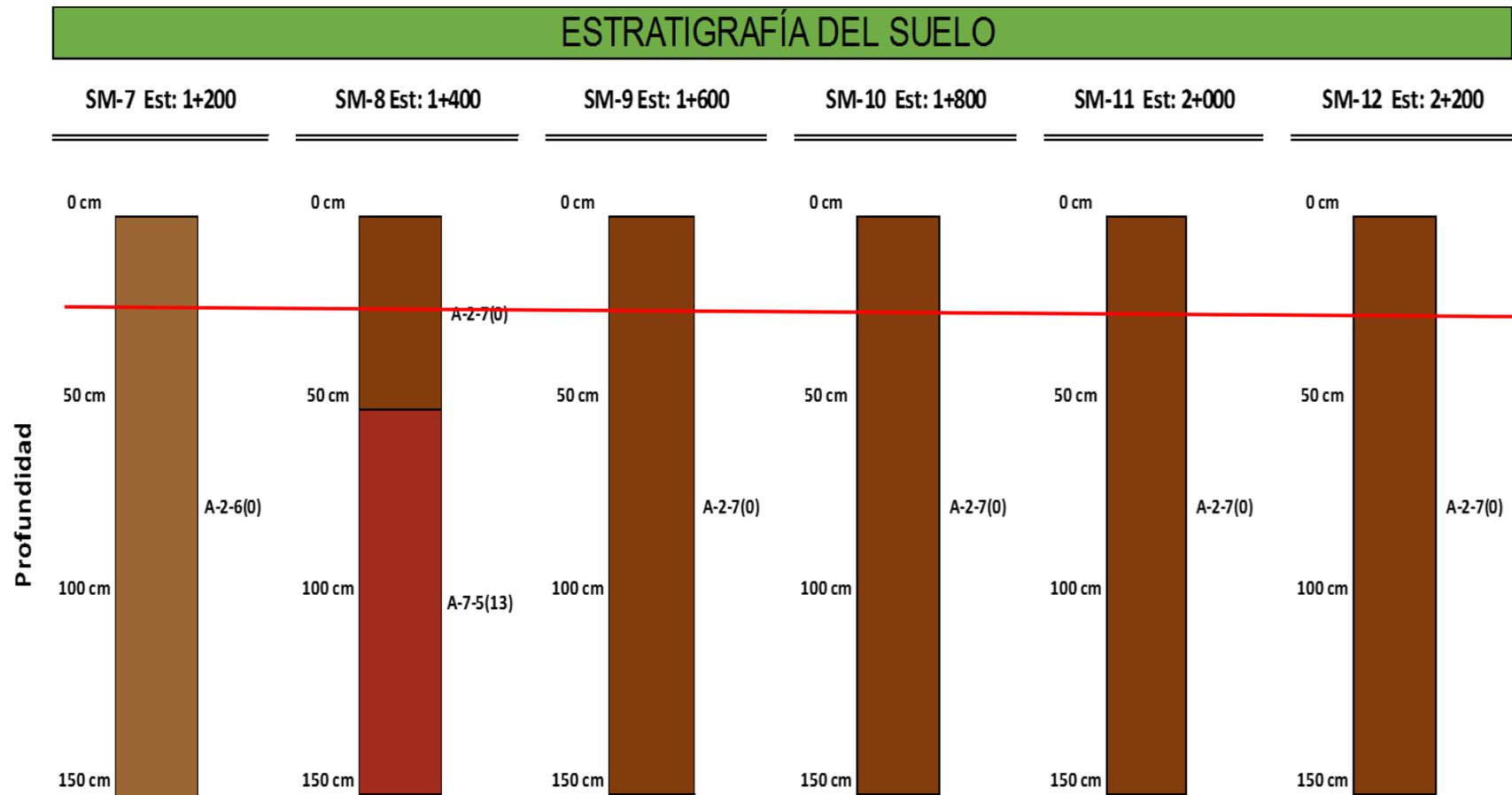
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 8. Columna estratigráfica del suelo Est 0+000 a Est 1+000



Fuente: Elaboración por sustentantes

Ilustración 9. Columna estratigráfica del suelo Est 1+200 a Est 2+200



Fuente: Elaboración por sustentantes

Se consideró tomar la línea de la sub-rasante por debajo de los 0.20 metros, para retirar material orgánico presente en el terreno natural.

### **3.3.6. Ensayo de Compactación de suelos ASTM D 698 - 00**

El proceso de compactación en los suelos produce un mejoramiento considerable en sus propiedades ingenieriles, en el aumento de su resistencia al corte, la disminución en su deformabilidad, un aumento en su peso específico seco y mejoramiento de su condición de permeabilidad. Es importante aclarar que los métodos utilizados para la compactación varían dependiendo las características de los suelos a compactar.

#### **Objetivo de la compactación de suelo**

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- ❖ Contenido de Humedad óptima.
- ❖ Peso Unitario Seco máximo
- ❖ Gráfico Contenido de Humedad vs Peso Unitario

#### **Ensayo de compactación estándar, Método A**

El procedimiento realizado, para dicho ensayo, fue de acuerdo a la ASTM D 698 – 00, en la cual según (ASTM, 2004, pág. 1), se exponen los distintos métodos para la realización de ensayos de compactación estándar, en el caso de este estudio, el procedimiento adecuado según las características del suelo, es el método A, que especifica los siguientes parámetros para su realización:

Utilizar molde de 4" de diámetro, material que pasa por el tamiz N° 4, tres capas compactadas, con 25 golpes por cada una. Dicho método, debe de ser usado si el 20% o menos del material es retenido en el tamiz N° 4.

### *Ilustración 10. Ensayo de Proctor Estándar*



*Fuente: Captura Propia*

En el ensayo se evalúan las muestras a distintos grados de humedad, para obtener el porcentaje óptimo para cada tipo de suelo.

En la *Tabla 21. Resultados de Muestras de CBR, Pág. 45*, se muestran los resultados de densidad seca máxima y porcentaje máxima de humedad realizadas a los distintos tipos de muestras, presentes en el terreno natural.

#### **3.3.7. Ensayo de valor relativo de soporte (CBR) ASTM D 1883-99**

La abreviación CBR corresponde al California Bearing Ratio, con la finalidad de darle una clasificación a la capacidad del suelo para ser utilizado como material de base, subbase o sub-rasante. También denominado ensayo de relación de soporte, es el procedimiento por medio del cual, mediante pruebas de laboratorio y bajo condiciones de humedad y densidad controlada se puede medir la resistencia al corte de un suelo.

Se realiza el ensayo con la preparación de tres muestras para cada uno de los tipos de suelo obtenidos, las muestras se preparan con el contenido de humedad óptimo calculado en la prueba de compactación.

Luego se introduce el material en el molde previamente preparado y pesado. Se procede a ejercer la compactación, se elaboran tres especímenes de diferentes muestras. Posterior a la compactación de los cilindros, se colocan discos de papel

filtro, y se procede a saturar las muestras por un tiempo especificado de 96h, esto con el fin de simular las condiciones más desfavorables.

*Ilustración 11 Muestras saturadas para ensaye de CBR*



*Fuente: Captura Propia*

Pasadas 96 horas las muestras en saturación, se procede a la prueba de penetración por medio de un pistón de diámetro conocido y una velocidad de penetración estandarizada.

*Ilustración 12. Máquina para ensaye de CBR*



*Fuente: Captura Propia*

La *Tabla 21. Resultados de muestras CBR, Pág. 45*, muestra los resultados de CBR obtenidos en el ensayo, para las muestras de suelo, determinando valores para tres grados de compactación (90%, 95% y 100%). Para la determinación del CBR de diseño se consideran los suelos que se encuentran por debajo de subrasante, y se hace una estimación con el método que sugiere el Instituto del Asfalto.

Tabla 21. Resultados de Muestras de CBR

| <p style="text-align: center;"> <b>DISEÑO Y SUPERVISION, CONTROL DE CALIDAD, S.A.</b><br/>                     Semaforos del Seminario 1 Cuadra al lago, 1 Cuadra Abajo.<br/> <a href="mailto:dysconcsa@gmail.com">dysconcsa@gmail.com</a><br/> <a href="http://www.dysconcsa.net">www.dysconcsa.net</a><br/>                     Tel: (505) 2250-0010                 </p> <p style="text-align: center;"> <b>PROYECTO:</b> Diseño de Estructura de Pavimento Articulado de 2.2 Kilometros de Calle UNAN FAREN Chontales - Puente Las Limas Departamento de Chontales.                 </p> <p style="text-align: center;"> <b>RESUMEN DE RESULTADOS DE C.B.R.</b> </p> |                            |                                      |   |                    |                               |               |                           |
|--|----------------------------|--------------------------------------|---|--------------------|-------------------------------|---------------|---------------------------|
| GRUPO  | DESCRIPCION                | DENSIDAD MAXIMA (Kg/m <sup>3</sup> ) | PESO VOLUMETRICO SECO Kg / m <sup>3</sup> | HUMEDAD OPTIMA (%) | % DE COMPACTACION REPRODUCIDA | VALOR CBR (%) | HINCHAMIENTO (%) PROMEDIO |
| CBR No 1   | Sondeo No 1                | 2,008                                | 1810                                      | 12.2               | 90                            | 13.00         | 0.27                      |
|  | Muestra No 1               |                                      | 1909                                      |                    | 95                            | 16.80         |                           |
|  | Profundidad: 0.00 - 1.5 m  |                                      | 2008                                      |                    | 100                           | 21.90         |                           |
| CBR No 2   | Sondeo No 4,               | 1,544                                | 1391                                      | 28.6               | 90                            | 4.80          | 0.90                      |
|  | Muestra No 2               |                                      | 1480                                      |                    | 95                            | 6.70          |                           |
|  | Profundidad: 0.60 - 1.50 m |                                      | 1538                                      |                    | 100                           | 12.30         |                           |
| CBR No 3   | Sondeo No 6,               | 1,489                                | 1380                                      | 30.7               | 90                            | 4.40          | 1.70                      |
|  | Muestra No 2               |                                      | 1438                                      |                    | 95                            | 6.00          |                           |
|  | Profundidad: 0.20 - 1.50 m |                                      | 1499                                      |                    | 100                           | 7.90          |                           |
| CBR No 4   | Sondeo No 9,               | 1,682                                | 1560                                      | 15.5               | 90                            | 6.70          | 1.73                      |
|  | Muestra No 1               |                                      | 1626                                      |                    | 95                            | 8.90          |                           |
|  | Profundidad: 0.00 - 1.5 m  |                                      | 1702                                      |                    | 100                           | 11.70         |                           |

Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

## Propiedades y Consideraciones para la determinación del CBR de diseño

El CBR es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo las condiciones de humedad y densidad cuidadosamente controladas, este método de ensayo se utiliza para evaluar la resistencia potencial de materiales para capas de subrasantes, subbase y base, para uso en pavimentos de carreteras. El valor de CBR obtenido forma parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos.

Aplicando el criterio expuesto por el Instituto del Asfalto para la determinación del valor del CBR DE DISEÑO, el cual recomienda tomar un valor tal, que el 60%, el 75% o el 87.5%, de los valores individuales obtenidos sean iguales o mayores que él, de acuerdo con los resultados obtenidos en la Tabla 18, Pág. 31; la Carga Equivalente total que circulará es de **1,214,667.72**. En la siguiente tabla se muestran los percentiles de diseños:

Tabla 22. Criterio del Instituto del Asfalto para determinar el CBR de Diseño.

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

Fuente: (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (SIECA), 2002, págs. 29, Cáp 7.)

### Base

Es la capa de material colocado sobre la subbase o la terracería para soportar la capa superficial del pavimento, está tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito a la subrasante. Las bases especificadas según el manual centroamericano para diseño de pavimentos son las siguientes:

- Base Granular.

Material Constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, dependiendo

todas estas propiedades de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

➤ **Base Estabilizada.**

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia.

El material de la base debe de cumplir con los requisitos propuestos por las normas NIC 2000:

*Tabla 23. Especificaciones de materiales para base y Sub-base*

| Propiedades            | Especificación  |                 | Metodología       |
|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
|                        | Base            | Sub-base        |                   |
| <b>Limite Líquido</b>  | 25% máx.        | 25% máx.        | AASHTO-89         |
| <b>Limite Plástico</b> | 10% máx.        | 5% -12% máx.    | AASHTO-90         |
| <b>CBR</b>             | <b>80% mín.</b> | <b>40% mín.</b> | <b>AASHTO-193</b> |

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

**Sub-Rasante o Terreno Natural.**

Comprende la capa de terreno en la longitud total de la vía, y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño, esta puede estar formada en corte o relleno, constituyendo la fundación para el pavimento articulado y sirviendo de soporte a la estructura de pavimento.

El espesor de la estructura de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante por lo que esta debe de cumplir con los requisitos establecidos en las normas NIC 2000, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por eje a la capacidad de la sub-rasante. Los materiales apropiados para esta capa son de preferencia los suelos granulares.

Tabla 24. Especificaciones de materiales de terraplenes y capa de Sub-Rasante

| Propiedades            | Terraplenes   | Capa Sub-Rasante                                       | Metodología                  |
|------------------------|---|--|------------------------------|
| <b>Limite Liquido</b>  | 30% máx.  | 40% máx.   | AASHTO-89                    |
| <b>Limite Plástico</b> | 25% máx.  | 10% máx.   | AASHTO-90                    |
| <b>CBR</b>             | <b>5% min.</b>                                      | <b>15% min.</b>  | <b>AASHTO-193</b>            |
| <b>Compactación</b>    | 95% min. Del peso volumétrico seco máx. (AASHTO-99) | 95% min. Del peso volumétrico seco máx. (AASHTO T-180) | AASHTO-191 Y/O T-238(Insitu) |

Fuente: (Especificaciones Generales NIC-2000)

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de CBR al 95% en los sondeos efectuados en el proyecto, los cuales serán procesados a como lo establece el Instituto del Asfalto.

Tabla 25. Cálculos para determinar CBR

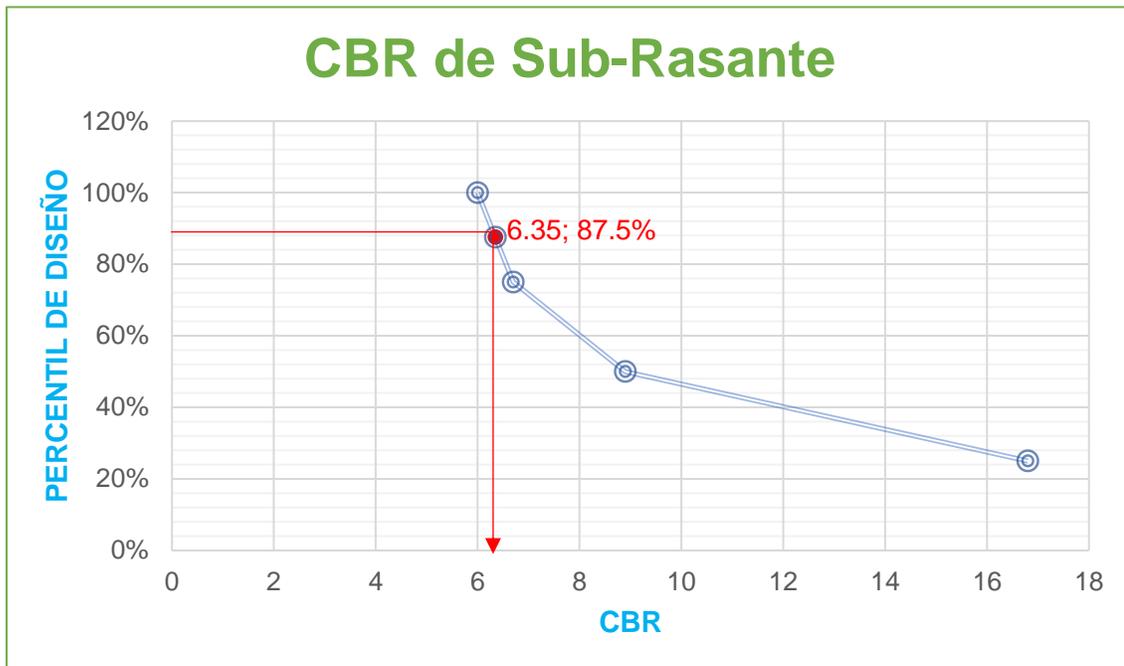
| CBR 95% | Número de valores iguales o mayores | % de valores iguales o mayores |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------|
| 6       | 4                                   | 100%                           |
| 6.7     | 3                                   | 75%                            |
| 8.9     | 2                                   | 50%                            |
| 16.8    | 1                                   | 25%                            |

Fuente: Elaboración por sustentantes

Para el cálculo de CBR de diseño se ordenaron los valores de CBR de menor a mayor y se determinó el valor de porcentaje de valores mayores o iguales a cada uno.

Aplicando el criterio de la *Tabla N°.22, Pág. 46*, el Percentil de diseño en base al ESAL's de diseño es de 87.5%, según los ejes equivalentes (ESAL'S) calculados.

Gráfico 4. Selección de CBR de diseño de Sub-Rasante



Fuente: Elaboración por sustentantes

En base a estos datos de los resultados de los ensayos de línea se determina el CBR de Diseño para la sub-rasante, resultando un valor igual a **6.35%**. Este porcentaje refleja una muestra representativa de los valores del CBR encontrados en la línea.

La determinación de las diferentes propiedades del suelo, realizadas mediante las actividades mencionadas anteriormente, tienen como objetivo el establecimiento de una división sistemática de los diferentes tipos de suelos existentes de la vía, atendiendo a la similitud de sus características físicas, índice de grupos, sub grupos, CBR y sus propiedades mecánicas.

Con la finalidad de cumplir el objetivo planteado en este capítulo, se procedió con el análisis de dos muestras de los bancos de materiales, las cuales fueron sometidas a ensayos de laboratorios para conocer sus propiedades físico – mecánicas.

### 3.4. Selección Banco de Material

Con el fin de contar con las fuentes de materiales requeridas para la fase constructiva de las obras de terracería, fundamentalmente para la conformación

de la estructura de pavimento, se realizó un reconocimiento en la zona a fin de detectar las potenciales fuentes o bancos de materiales existentes en las cercanías y sectores aledaños al proyecto, referenciados por la Alcaldía municipal de la ciudad de Juigalpa.

Se consideraron dos bancos de materiales ubicados en la ciudad de Juigalpa, los cuales son: “Liceo agrícola” y “El basurero”.

#### **3.4.1. Liceo Agrícola**

Con el objetivo de tener a disposición en el proyecto, un material adecuado para ser utilizado como base se consideró el banco de material “Liceo Agrícola”.

“Este Banco se ubica en la vecindad del Liceo Agrícola, Sur-Este de la ciudad de Juigalpa. Coordenadas: 0678758 X – 1336518 Y. Es un banco que ha sido usado, y tiene un volumen aproximado de 78,000 m<sup>3</sup>”

Cabe destacar que la granulometría que este presentó fue comparada y evaluada respecto a la Tabla de graduaciones recomendada para sub-base, base o capas superficiales de la NIC-2000 en su sección 1003-23; con el objetivo de constatar que los materiales de este banco cumplan con los requisitos establecidos.

Con límite líquido de 39 % y 12 % de índice de plasticidad. Tiene un CBR de 56%, 60% y 100%, en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% respectivamente Proctor Modificado (ASTM D 1557). (Ver Tabla 28, Pág. 53)

#### **3.4.2. El Basurero**

Con el objetivo de tener a disposición en el proyecto, un material adecuado para ser utilizado como sub - base, se consideró el banco de material “El Basurero”

Este Banco se ubica unos 1,400 m al Sur-Este del Banco Liceo Agrícola. Coordenadas: 0679267 X – 1335286 Y. Es un banco que ha sido usado, y tiene un volumen aproximado de 72,000 m<sup>3</sup>.

Se especifican cada una de las características del material de banco considerado para este proyecto, entre ellas se puede verificar que ciertos materiales

corresponden corresponde a una grava con limo arcilloso y arena tipo A-2-7 (0) color café claro.

Cabe destacar que la granulometría que este presento fue comparada y evaluada respecto a la Tabla de graduaciones recomendada para subbase, base o capas superficiales de la NIC-2000 en su sección 1003-23; con el objetivo de constatar que los materiales de este banco cumplan con los requisitos establecidos.

Con límite líquido de 45 % y 14 % de índice de plasticidad. Tiene un CBR de 32%, 43% y 64%, en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% respectivamente Proctor Modificado (ASTM D 1557). (Ver Tabla 28, Pág. 53)

### 3.4.3. Análisis de Banco de Material

Los bancos de materiales propuestos para usar en la base y sub base de la estructura de pavimento, deberán cumplir con los requerimientos de las normas NIC-2000, los cuales se muestran en la Tabla 23, Pág. 47.

El resultado obtenido a partir de los estudios de suelos realizados en el banco de material Liceo Agrícola, se presentan a continuación:

*Tabla 26. Evaluación del Banco de Material Liceo Agrícola*

| Propiedades                      | Especificación  |                 | Valor Obtenido | Condicion        |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|
|                                  | Base            | Sub-base        |                |                  |
| <b>Límite Líquido</b>            | 25% máx.        | 25% máx.        | 39%            | No Cumple        |
| <b>Límite Plástico</b>           | 10% máx.        | 5% -12% máx.    | 12%            | No Cumple        |
| <b>CBR (95% de compactacion)</b> | <b>80% mín.</b> | <b>40% mín.</b> | <b>60%</b>     | <b>No Cumple</b> |

*Fuente: Elaboración por sustentantes*

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla anterior, se logra observar que el Banco Liceo Agrícola no cumplen todos los parámetros con respecto a lo requerido en la norma NIC 2000.

El banco de material El Basurero, se analizó de igual manera que el Banco Liceo Agrícola, comparando los resultados obtenidos con los requisitos de la norma NIC 2000, los cuales en ninguno de los casos cumple, es decir no pueden ser utilizado

como base en la estructura de pavimento. Los resultados de dicha evaluación se muestran en la siguiente tabla.

*Tabla 27. Evaluación del Banco de materiales El Basurero*

| Propiedades                      | Especificación  |                 | Valor Obtenido | Condicion        |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|
|                                  | Base            | Sub-base        |                |                  |
| <b>Limite Liquido</b>            | 25% máx.        | 25% máx.        | 45%            | No Cumple        |
| <b>Limite Plástico</b>           | 10% máx.        | 5% -12% máx.    | 14%            | No Cumple        |
| <b>CBR (95% de compactación)</b> | <b>80% mín.</b> | <b>40% mín.</b> | <b>43%</b>     | <b>No Cumple</b> |

*Fuente: Elaboración por sustentantes*

En este caso que ninguno de los dos bancos de materiales cumple con las especificaciones de la norma NIC-2000 para ser utilizado como material de base.

Tabla 28. Resumen de Datos de los bancos de materiales.

|  |                                | <b>REPORTE DE LABORATORIO</b>   |                     |                              |                 |          |  |              |                   |                                |                           |   |    |     |                                |                           |                  |             |   |
|---|--------------------------------|---|---------------------|------------------------------|-----------------|----------|--|--------------|-------------------|--------------------------------|---------------------------|---|----|-----|--------------------------------|---------------------------|------------------|-------------|---|
|   |                                | <b>Resultados de las propiedades físicas y capacidad soporte de suelos de bancos de materiales.</b> |                     |                              |                 |          |  |              |                   |                                |                           |   |    |     |                                |                           |                  |             |   |
| <b>PROYECTO:</b>  |                                | <b>30 Calles Nuevas de la Ciudad de Juigalpa</b>  |                     |                              | <b>CLIENTE:</b> |          | <b>Alcaldía Municipal de Juigalpa.</b> |              | <b>UBICACIÓN:</b> |                                |                           | <b>Municipio de Juigalpa, Departamento Chontales,</b> |    |     |                                |                           |                  |             |   |
| <b>IDENTIFICACIÓN DE BANCO</b>  |                                | <b>LOCALIZACIÓN DE BANCO</b>  |                     | <b>FRACCIONES DE MUESTRA</b> |                 |          | <b>NORMA AASHTO T89 AASHTO T 90</b>    |              |                   | <b>NORMA AASHTO T 180</b>      |                           | <b>NORMA AASHTO T193</b>                              |    |     | <b>Desgaste de los Angeles</b> | <b>CLASIFICACIÓN</b>      |                  |             | <b>DESCRIPCIÓN VISUAL</b>   |
| <b>Nombre del Banco</b>   | <b>Nombre de dueño</b>         | <b>Coordenada X</b>   | <b>Coordenada Y</b> | <b>G</b>                     | <b>S</b>        | <b>F</b> | <b>% L.L</b>                           | <b>% L.P</b> | <b>% I.P</b>      | <b>Densidad máxima (kg/m3)</b> | <b>Humedad óptima (%)</b> | <b>Valor de C.B.R</b>                                 |    |     |                                | <b>NORMA AASHTO M 145</b> | <b>INDICE DE</b> | <b>SUCS</b> |   |
|   |                                |   |                     |                              |                 |          |  |              |                   |                                |                           |   |    |     |                                |                           |                  |             |   |
| Liceo Agrícola  | Alcaldía Municipal de Juigalpa | 0678758   | 1336518             | 78                           | 14              | 8        | 39.6                                   | 27.472       | 12.17             | 1799                           | 17.6                      | 56  | 60 | 100 | 30                             | A-2-6                     | 0                | GW-GM       | Grava con limo arcilloso de baja plasticidad color gris con pintas amarillas. |
| El Basurero   | Alcaldía Municipal de Juigalpa | 0679267   | 1335286             | 71                           | 22              | 7.5      | 44.7                                   | 30.973       | 13.76             | 2012                           | 10.5                      | 32  | 43 | 64  | 28                             | A-2-7                     | 0                | GW-GM       | Grava con limo arcilloso y arena de baja plasticidad color café claro.        |

Fuente: Alcaldía de Juigalpa



IV. CAPITULO  
DISEÑO ESTRUCTURAL

#### **4.1. Introducción**

En este capítulo abordaremos el cálculo de espesores del pavimento articulado se realizará de acuerdo con el Método Murillo López de Souza

El pavimento es la estructura esencial de una vía constituida por capas superpuestas, generalmente horizontales denominadas sub rasante, sub base, base y carpeta de rodamiento; con el fin de resistir adecuadamente las cargas al terreno. El diseño estructural del pavimento consiste en analizar las diferentes variables independientes que son consideradas en la metodología recomendada para el diseño estructural de los componentes del pavimento, determinar la combinación de los tipos de materiales disponibles y los espesores de capas ajustadas a las condiciones del diseño, en función del tráfico, geotecnia, medio ambiente y costos.

El pavimento articulado o de adoquines está compuesto por pequeños bloques prefabricados, normalmente de concreto, que se denominan en nuestro medio como adoquines; se asientan sobre un colchón de arena soportado por una capa de subbase o directamente sobre la subrasante. Su diseño, como todo pavimento, debe estar de acuerdo con la capacidad de soporte de la subrasante para prevenir su deformación.

#### **4.2. Método Murillo López de Souza**

El diseño para el pavimento según Murillo López de Souza es utilizado en caminos rurales con un tipo de tránsito medio (menos de 750 vehículos comerciales por día con 20% de carga máxima), una carga por rueda de 5 toneladas y un CBR de la subrasante del 5% mínimo.

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

El método define el espesor total del pavimento en función del Índice de Soporte (I.S).

### 4.3. Variables a considerar en el método Murillo López de Souza

#### 4.3.1. Tránsito Medio

La *Tabla 7, Pág. 16*, muestra que la cantidad de vehículos de carga que transitan en la vía no excede al 20% de la cantidad de vehículos totales, se considera un tránsito medio.

#### 4.3.2. Carga por rueda de 5 toneladas

La *Tabla 7, Pág. 16* y el *Grafico 3, Pág. 17*, detalla que la mayor cantidad vehículos que circulan en el tramo de carretera en estudio no sobre pasa la carga por rueda de 5 toneladas.

#### 4.3.3. Índice de Soporte

El índice de soporte que se debe adoptar en el diseño será el promedio de los valores suministrados por la igualdad  $IS = CBR$ . (*Ver Anexos, Tabla 45, Pag. XXVII*). Este no deberá de ser superior al valor CBR.

$$IS = \frac{CBR + IS}{2} \quad (IS \leq CBR) \quad \text{Ecuación 8}$$

#### 4.3.4. CBR de la subrasante

Es la capa del terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto.

El espesor del pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que esta debe de cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

En base a los resultados de los ensayos de línea se determina el CBR de Diseño para la subrasante, resultando un valor igual a **6.35%**.

#### 4.3.5. Precipitación Pluvial

La siguiente tabla, muestra datos de registros de los últimos 5 años de la precipitación pluvial de la Ciudad de Juigalpa.

Tabla 29. Precipitación Pluvial de Juigalpa.

| Año                                  | Precipitación Anual - Juigalpa (mm/año) |
|--------------------------------------|---|
| 2015                                 | 779.3                                   |
| 2016                                 | 1145.5                                  |
| 2017                                 | 1797.4                                  |
| 2018                                 | 1317.7                                  |
| 2019                                 | 1208.6                                  |
| <b>Precipitación Prom.<br/>Anual</b> | <b>1249.7</b>                           |

Fuente: (Anuarios Estadísticos INIDE, 2014 - 2019)

#### 4.3.6. Caracterización del tráfico

El método realiza una clasificación simplificada de la magnitud y características del tráfico en función del número de vehículos comerciales y el porcentaje de camiones que circulan por día, la cual está expresada de la siguiente manera:

**Tránsito pesado:** Cuando el número de vehículos comerciales por día excede los 750 o cuando hubiese más de 150 camiones por día, con carga por rueda igual a la máxima.

**Tránsito mediano:** Cuando el número de vehículos comerciales por día estuviese comprendido entre 250 – 750, con un máximo del 20 % de camiones con carga por rueda igual a la máxima.

**Tránsito liviano:** Cuando el número de vehículos comerciales por día fuese igual o inferior a 250, con un máximo del 20 % de camiones con carga por rueda igual a la máxima.

### 4.3.7. Bombeo de la Calzada

En este caso la sección típica de la vía la convierte en un parte aguas ya que a partir del eje se le proporciona una pendiente lateral y geoméricamente para ambos lados, con el objetivo de drenar la superficie de rodamiento, esta puede variar dependiendo del material utilizado en el recubrimiento, ya que en este caso será de Adoquín se propone usar el 2%.

Tabla 30. Bombeos típicos en carreteras

| Bombeos típicos utilizados |           |
|----------------------------|-----------|
| Para Adoquinados           | 2% - 2.5% |
| Para Asfalto               | 1% - 1.5% |
| Para Macadam               | 3% - 4%   |

Fuente: (Manual para la revision de Estudios Hidrotecnicos de Drenaje Menor (MTI), 2008, pág. 39)

## 4.4. Estructura del Pavimiento Articulado

### 4.4.1. Cálculos

Los espesores de pavimento requeridos se determinan a partir de los datos siguientes:

- Precipitación media anual = 800 > **1249.7 mm** < 1500 (Tipo B).
- Carga máxima de 5 Toneladas, que es el caso general de Nicaragua.
- Vehículos comerciales = 250 > 512 < 750 por lo que tratamos con un tránsito medio.
- CBR de sub - rasante es 6.35% con índice de grupo (IG) = 0.

Mediante la Ecuación 8, Pág. 55, se procede a calcular el Índice de Soporte

$$IS = \frac{CBR + IS}{2}$$

$$IS = \frac{6.35 + 20}{2}$$

$$IS = 13.20 > 6.35 \text{ por lo tanto; } IS = 13.20$$

Con índice de soporte de **13.20** y mediante la *Tabla 46, página XXVIII (Ver Anexos)*, se determinó el espesor total de la estructura de pavimento, en donde podemos apreciar que el valor mínimo para este paquete estructural será de 28 cm.

La base tendrá un espesor = 28 cm. – 10.0cm (espesor del adoquín)., dando como resultado un espesor total de 18 cm. Debido a que la base no cumple con el espesor mínimo (20 cm) éste deberá ser llevado a él, resultando una base de 20 cm.

*Ilustración 13. Diseño de espesores de pavimento articulado.*

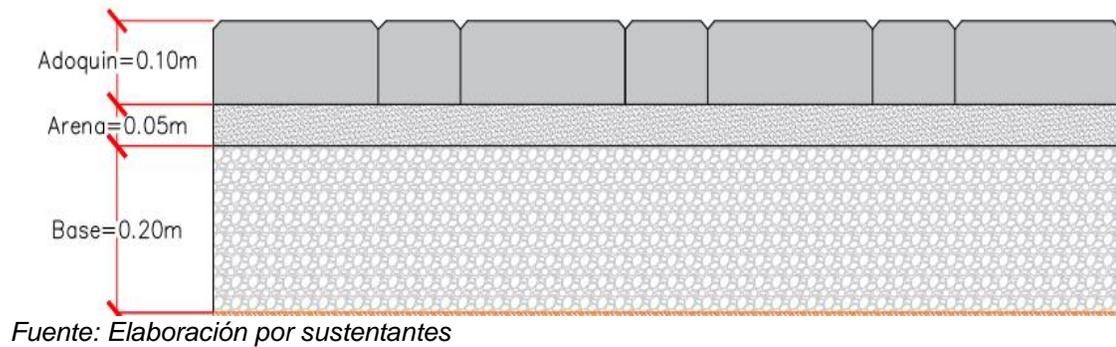
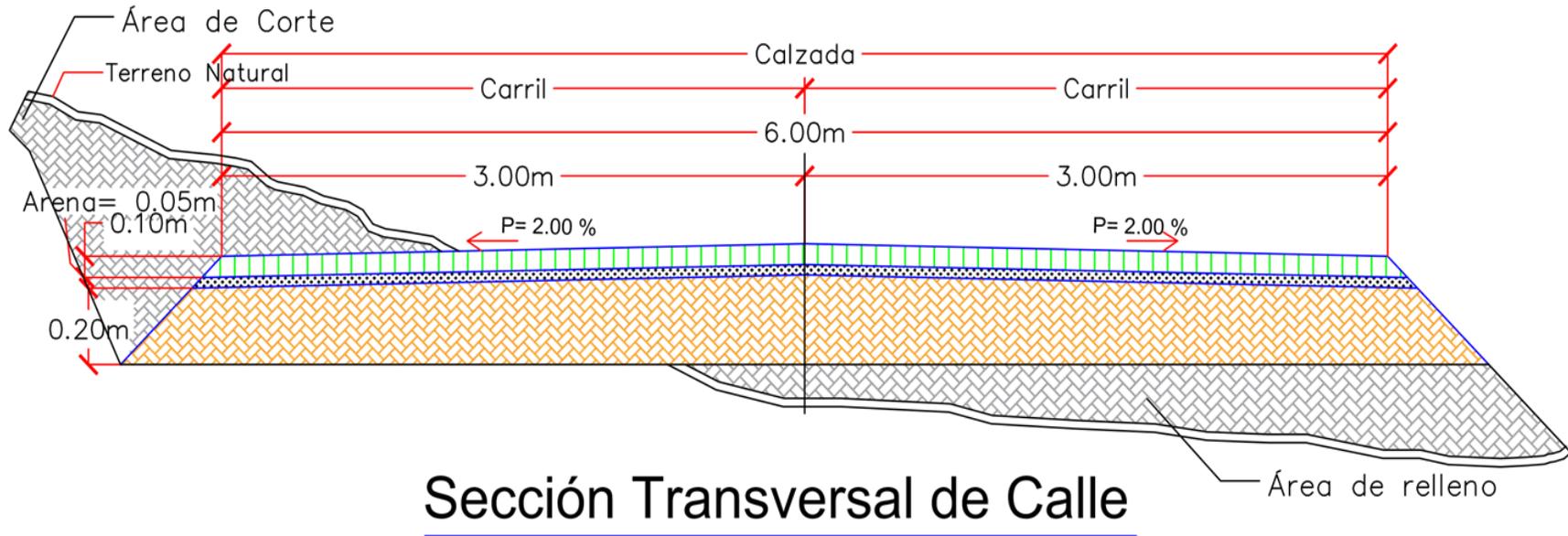


Ilustración 14. Sección Transversal



## Sección Transversal de Calle

Fuente: Elaboración por sustentantes



CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES.

Se concluye el trabajo monográfico habiendo realizado el diseño estructural del pavimento articulado del tramo de carretera que tiene inicio en la UNAN-FAREM Chontales, hasta el Puente Las Limas, con 2.2 km lineales de longitud

- Se realizó el **estudio de tránsito** donde se obtuvo un TPDA de 1278 vehículos por día a partir de conteos vehiculares realizados por siete días, 12 horas de 6:00 AM-6:00 PM en un punto de control dentro de un área perimetral estación 0+000 de la carretera, asimismo con los cálculos de los factores de cargas de Ejes Equivalentes de las Tablas establecidas por la AASHTO y el tránsito de diseño se obtuvo el número estimado de ejes equivalente de 8.2 ton para el período de diseño de la vía siendo de  $W18=1,214,667.72$ .
- Mediante el análisis de los **estudios de suelos** se identificó que los suelos más predominantes corresponden a A-2-6; A-2-7 (considerados suelos granulares, según la clasificación HRB) y A-7-5 (considerado suelo limo-arcilloso), el valor de capacidad soporte, conocido como CBR de la subrasante se estableció en 6.35%.
- El **Diseño de Pavimento** se realizó en base a los requisitos establecidos en el método de diseño Murillo López de Souza, consiste en el diseño de estructuras de pavimento articulado en caminos rurales, como resultado se obtuvo que la estructura de pavimento estará compuesta por una capa de rodadura de adoquín de concreto de 3500 PSI, con un espesor estándar de 10 centímetros, este mismo descansará sobre una cama de arena de 5 centímetros y la base de 20 centímetros.

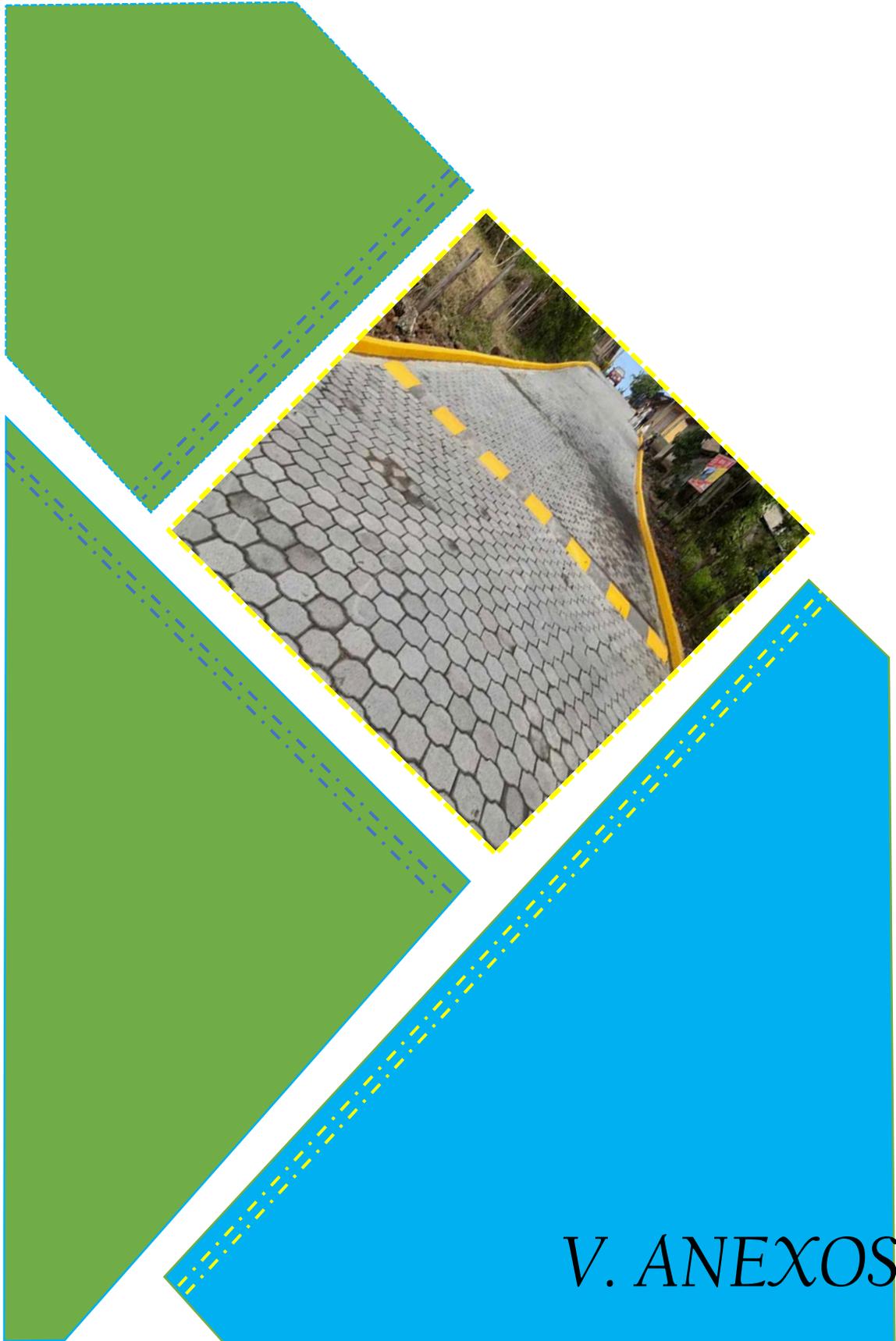
## **RECOMENDACIONES.**

- Establecer medidas de control para la circulación vehicular sobre la vía en estudio, con el objetivo de evitar que vehículos fuera de diseño (que exceden el límite de carga) transiten y provoquen daño prematuro de la vía.
- Garantizar un banco de material selecto que cumpla con las condiciones establecidas por la NIC-2000 para ser utilizado como base.
- Verificar que la calidad de los materiales es la determinada en el diseño, que cumplan con las especificaciones de calidad y resistencia propuestas en las Normas Nic- 2000.
- Los materiales para revestimiento serán provenientes de la explotación de bancos de material selecto. El material deberá estar libre de sustancias deletéreas o talcosas, teniendo propiedades ligantes tales que permitan una buena compactación y contribuyan a formar una capa de base bien ligada y densa.
- Garantizar que los materiales a utilizarse sean adquiridos en fábricas certificadas, como una forma de asegurarse de que cumplan con la calidad requerida.
- Los materiales pesados de desperdicio deben ser sacados fuera del sitio, a lugares autorizados, tales como terrenos baldíos o potreros, de previo autorizado por el dueño de la propiedad, quien dará su consentimiento o aprobación, previo acuerdo por escrito y presentado al Ingeniero, de acuerdo a las Normas Ambientales establecidas.
- Garantizar la debida y correcta de señalización vertical y horizontal (marcas viales) una vez concluido el proyecto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- AASHTO 93. (1993). *Libro de Pavimentos AASHTO 93*.
- ASTM. (2004). *ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS*.
- Badillo, J. (2005). *Mecanica de Suelos Tomo 1*. México: LIMUSA.
- Banco Central de Nicaragua (BCN). (1997 - 2019). *Anuario de Estadísticas Macroeconómicas (BCN)*. Managua.
- Banco Central de Nicaragua. (2020). *Estadísticas Macroeconómicas*. Managua.
- Botía Díaz, W. A. (2015). *Manuel de Procedimientos de ensayos de suelos*. Bogotá.
- Casanova Matera, L. (2002). *Topografía Plana*. Merida: Taller de Publicaciones de Ingeniería.
- Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE). (2014 - 2019). *Anuarios Estadísticos INIDE*. Managua.
- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (SIECA). (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento*. Guatemala.
- Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras SIECA. (2004). *Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras*.
- Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2014 - 2019). *Anuario Estadístico de Hidrocarburos (MEM)*. Managua.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2008). *Manual para la revision de Estudios Hidrotecnicos de Drenaje Menor (MTI)*. Managua.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2014 - 2019). *Anuario Estadístico del Sector Transporte (MTI)*. Managua.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2019). *Anuario de Aforos de Tráfico MTI*. Managua.
- Ministerio de Transporte e infraestructura (MTI). (s.f.). *Especificaciones Generales NIC-2000*.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura- MTI. (2017). *MANUAL PARA REVISION DE ESTUDIOS GEOTECNICO*. Managua.
- Miniterio de Tránsporte e Infraestructura . (2008). *Manual para la revision de Diseños de Pavimentos (MTI)*. Managua.
- Montes de Oca , M. (1989). *Topografía*. México, D.F.: Ediciones Alfaomega, S.A. sustentantes, E. p. (s.f.).





V. ANEXOS

Tabla 31. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico de la oficina de Diagnostico, Evaluación de pavimentos y puentes.

| CLASIF. VEHICULAR     | TIPOS DE VEHICULOS              | ESQUEMA VEHICULAR   | DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR  |
|-----------------------|---------------------------------|---|--|
| VEHICULO DE PASAJEROS | MOTOCICLETAS                    |    | Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadraciclo, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor. |
|                       | AUTOMOVILES                     |    | Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.   |
|                       | JEEP                            |    | Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.  |
|                       | CAMIONETA                       |    | Son todos aquellos tipos de vehículos con 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.  |
|                       | MINBUS                          |    | 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.   |
| VEHICULO DE CARGA     | LIVANO DE CARGA                 |    | Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.  |
|                       | CAMIÓN DE CARGA C2 - C3         |    | Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.  |
|                       | CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4 |   | Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.  |
|                       | Tx-Sx>=5                        |  | Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi-Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.   |
|                       | Cx-Rx<=4                        |  | Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4  |
|                       | Cx-Rx>=5                        |  | Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.   |
| EQUIPO PESADO         | VEHICULOS AGRICOLAS             |  | 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 ( <b>Tractores - Arados - Cosechadoras</b> )                        |
|                       | VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN       |  | Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, <b>Motoniiveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.</b>        |
| OTROS                 | REMOLQUES YO TRAILERS           |  | Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semiowientes).  |

Fuente: (Anuario de Aforos de Tráfico MTI, 2019, pág. 26)

Tabla 32. Formato para control de Aforo Vehicular

| TRAMO<br>UBICACIÓN               |       |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
|----------------------------------|-------|------|------|------------------------|------|------|--------|--------|--------------------|------------------------|------------------------|-------|-----------------|-----|-------|------|------|
| Hora                             |       | Bici | Moto | Vehículos de Pasajeros |      |      |        |        | Vehículos de Carga |                        |                        |       | Equipos Pesados |     | Otros | Vol. |      |
|                                  |       |      |      | Autos                  | Jeep | Cam. | Mc Bus | Mn Bus | Bus                | T2S1/<br>T2S2/<br>T3S1 | T2S3/<br>T2S2/<br>T3S3 | C2-R2 | C3R2<br>C3R3    | V.A |       |      | V.C. |
| 6:00                             | 7:00  |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 7:00                             | 8:00  |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 8:00                             | 9:00  |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 9:00                             | 10:00 |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 10:00                            | 11:00 |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 11:00                            | 12:00 |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 12:00                            | 1:00  |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 1:00                             | 2:00  |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 2:00                             | 3:00  |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 3:00                             | 4:00  |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 4:00                             | 5:00  |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| 5:00                             | 6:00  |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |
| Volumen<br>(12 horas<br>diurnas) |       |      |      |                        |      |      |        |        |                    |                        |                        |       |                 |     |       |      |      |

Fuente: (Anuario de Aforos de Tráfico MTI, 2019)

Tabla 33. Vector Geográfico

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

Fuente: (Anuario de Aforos de Tráfico MTI, 2019, pág. 7)

Tabla 34.Registro histórico ECD Juigalpa – Puerto Diaz

| Nº                      | CODIGO NIC | EST. | TIPO | NOMBRE DEL TRAMO       | Año  | Motos | Autos | Jeep | Cmla.  | McBus <15 pas. | MnBus 15-30 s. | Bus | Liv. 2-5 Ton | C2 5 + Ton | C3     | Tx-Sx <= 4e | Tx-Sx >= 5e | Cx-Rx <= 4e | Cx-Rx >= 5e | V.A | V.C | Otros | TPDA |     |   |     |     |     |
|-------------------------|------------|------|------|------------------------|------|-------|-------|------|--------|----------------|----------------|-----|--------------|------------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|-----|-------|------|-----|---|-----|-----|-----|
| 221                     | NIC-37B    | 3701 | ECD  | Juigalpa - Puerto Diaz | 2015 | 150   | 11    | 14   | 153    |                | 6              | 12  | 15           | 42         | 3      | 2           | 1           |             |             | 3   |     |       | 412  |     |   |     |     |     |
|                         |            |      |      |                        | 2013 | 145   | 4     | 7    | 119    |                |                | 9   | 31           | 7          |        |             | 1           |             |             |     |     |       |      |     |   | 323 |     |     |
|                         |            |      |      |                        | 2010 | 89    | 7     | 11   | 70     |                |                | 5   | 28           | 11         | 4      |             | 1           |             |             |     |     |       |      |     |   |     | 226 |     |
|                         |            |      |      |                        | 2007 | 28    | 1     | 12   | 67     |                |                | 3   | 34           | 10         | 8      |             |             |             |             |     |     |       |      |     |   | 1   | 164 |     |
|                         |            |      |      |                        | 2002 | 24    | 10    | 24   | 88     | 3              |                | 9   | 32           | 17         | 2      |             | 0           | 0           |             |     |     | 1     |      |     | 1 |     | 212 |     |
|                         |            |      |      |                        | 1999 | 5     | 3     | 11   | 73     |                |                | 12  | 16           | 15         | 2      |             |             |             |             |     |     |       |      |     |   | 2   |     | 140 |
|                         |            |      |      |                        | 1997 | 11    | 9     | 9    | 54     | 1              | 2              | 8   | 4            | 9          | 1      |             |             |             |             |     |     |       | 1    |     |   | 1   |     | 110 |
| EMC: 1802               |            |      |      |                        |      |       |       |      |        |                |                |     |              |            |        |             |             |             |             |     |     |       |      |     |   |     |     |     |
| Tasa Crecimiento: 6.57% |            |      |      |                        | 2019 | 193   | 14    | 18   | 197    |                | 8              | 15  | 19           | 54         | 4      | 3           | 1           |             |             | 4   |     |       |      | 531 |   |     |     |     |
| Liv.                    |            |      |      |                        |      | 423   |       |      | Pasaj. |                |                | 23  |              |            | Pesado |             |             |             |             |     | 85  |       |      |     |   |     |     |     |
|                         |            |      |      |                        |      | 80%   |       |      | 4%     |                |                | 16% |              |            |        |             |             |             |             |     |     |       |      |     |   |     |     |     |

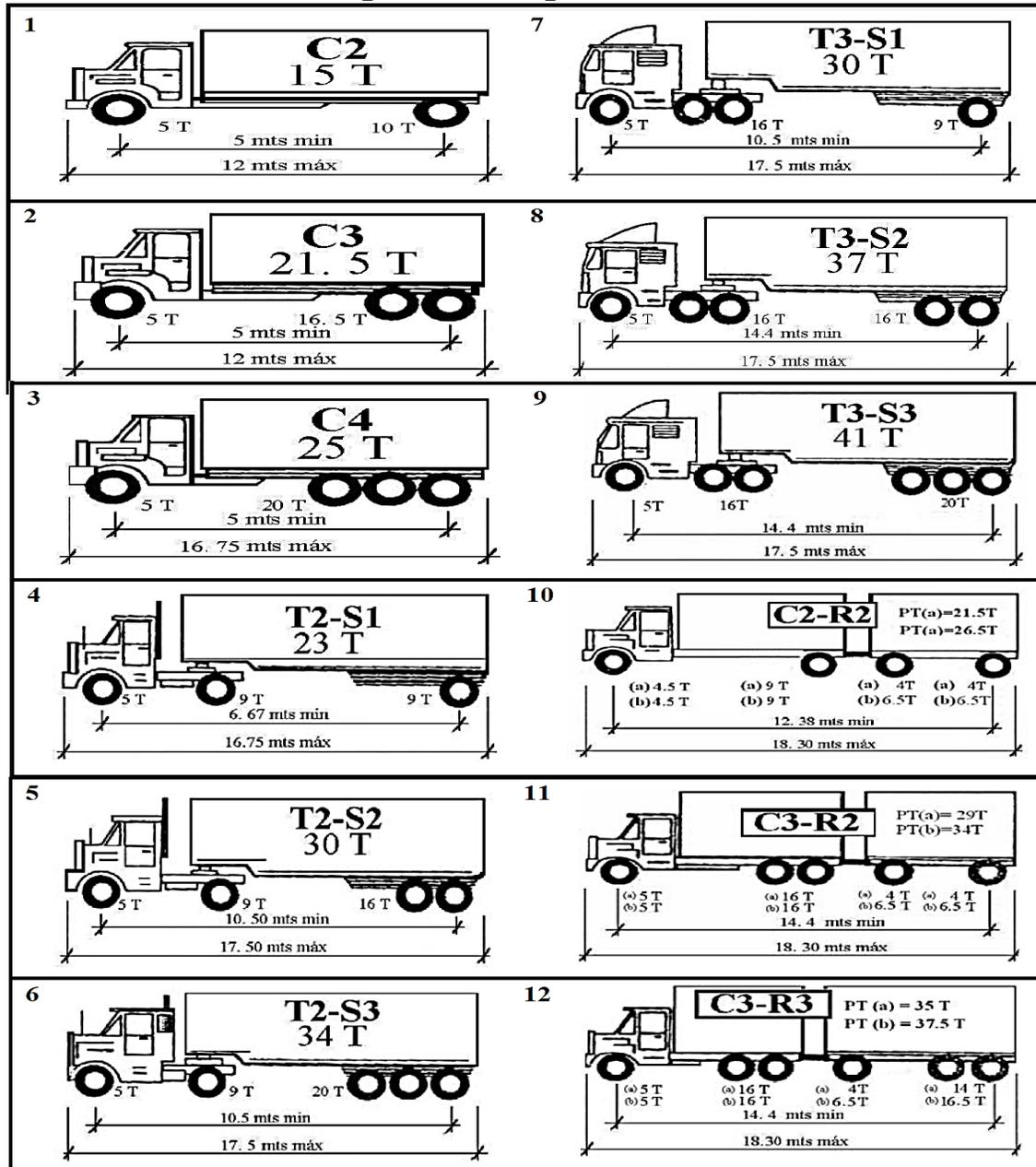
Fuente: (Anuario de Aforos de Tráfico MTI, 2019, pág. 187)

Tabla 35. Diagrama de cargas permisibles para Vehículos Livianos y Pasajeros

| <b>Tipo de Vehículo</b> | <b>Peso por eje (TON)</b> | <b>Peso por eje (LBS)</b> |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 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 Pesos y Dimensiones, MTI

Ilustración 15. Peso por eje para vehículos de carga



Fuente: Departamento de Pesos y Dimensiones, MTI

Tabla 36. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes simples

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

Fuente: (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (SIECA), 2002, pág. 6; Cap 3)

Tabla 37. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Ejes Tándem

| Carga p/eje<br>(kips) | Número estructural SN |        |        |        |        |        |
|-----------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                       | 1                     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| 2                     | 0.0000                | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 4                     | 0.0003                | 0.0003 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0002 |
| 6                     | 0.001                 | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.001  |
| 8                     | 0.003                 | 0.003  | 0.003  | 0.003  | 0.003  | 0.002  |
| 10                    | 0.007                 | 0.008  | 0.008  | 0.007  | 0.006  | 0.006  |
| 12                    | 0.013                 | 0.016  | 0.016  | 0.014  | 0.013  | 0.012  |
| 14                    | 0.024                 | 0.029  | 0.029  | 0.026  | 0.024  | 0.023  |
| 16                    | 0.041                 | 0.048  | 0.050  | 0.046  | 0.042  | 0.040  |
| 18                    | 0.066                 | 0.077  | 0.081  | 0.075  | 0.069  | 0.066  |
| 20                    | 0.103                 | 0.117  | 0.124  | 0.117  | 0.109  | 0.105  |
| 22                    | 0.156                 | 0.171  | 0.183  | 0.174  | 0.164  | 0.158  |
| 24                    | 0.227                 | 0.244  | 0.260  | 0.252  | 0.239  | 0.231  |
| 26                    | 0.322                 | 0.340  | 0.360  | 0.353  | 0.338  | 0.329  |
| 28                    | 0.447                 | 0.465  | 0.487  | 0.481  | 0.466  | 0.455  |
| 30                    | 0.607                 | 0.623  | 0.646  | 0.643  | 0.627  | 0.617  |
| 32                    | 0.810                 | 0.823  | 0.843  | 0.842  | 0.829  | 0.819  |
| 34                    | 1.06                  | 1.07   | 1.08   | 1.08   | 1.08   | 1.07   |
| 36                    | 1.38                  | 1.38   | 1.38   | 1.38   | 1.38   | 1.38   |
| 38                    | 1.76                  | 1.75   | 1.73   | 1.72   | 1.73   | 1.74   |
| 40                    | 2.22                  | 2.19   | 2.15   | 2.13   | 2.16   | 2.18   |
| 42                    | 2.77                  | 2.73   | 2.64   | 2.62   | 2.66   | 2.70   |
| 44                    | 3.42                  | 3.36   | 3.23   | 3.18   | 3.24   | 3.31   |
| 46                    | 4.20                  | 4.11   | 3.92   | 3.83   | 3.91   | 4.02   |
| 48                    | 5.10                  | 4.98   | 4.72   | 4.58   | 4.68   | 4.83   |
| 50                    | 6.15                  | 5.99   | 5.64   | 5.44   | 5.56   | 5.77   |
| 52                    | 7.37                  | 7.16   | 6.71   | 6.43   | 6.56   | 6.83   |
| 54                    | 8.77                  | 8.51   | 7.93   | 7.55   | 7.69   | 8.03   |
| 56                    | 10.4                  | 10.1   | 9.3    | 8.8    | 9.0    | 9.4    |
| 58                    | 12.2                  | 11.8   | 10.9   | 10.3   | 10.4   | 10.9   |
| 60                    | 14.3                  | 13.8   | 12.7   | 11.9   | 12.0   | 12.6   |
| 62                    | 16.6                  | 16.0   | 14.7   | 13.7   | 13.8   | 14.5   |
| 64                    | 19.3                  | 18.6   | 17.0   | 15.8   | 15.8   | 16.6   |
| 66                    | 22.2                  | 21.4   | 19.6   | 18.0   | 18.0   | 18.9   |
| 68                    | 25.5                  | 24.6   | 22.4   | 20.6   | 20.5   | 21.5   |

Fuente: (Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (SIECA), 2002, págs. 7, Cáp 3)

Tabla 38. Interpolación lineal de 4.4 kips

| x                         | y     | Interpolación Lineal                                      |  |
|---------------------------|-------|---|--|
| Paso No. 1                |       | Paso No. 2  | Paso No. 3   |
| 4                         | 0.002 | $\frac{x - 0.002}{4.4 - 4} = \frac{0.010 - 0.002}{6 - 4}$ | $x - 0.002 = \left( \frac{0.010 - 0.002}{6 - 4} \right) * (4.4 - 4)$ |
| 4.4                       | x     |   | $x - 0.002 = \frac{0.008}{2} * 0.4$                                  |
| 6                         | 0.010 |   | $x = 0.0016 + 0.002$   |
| <b>Resultado para 4.4</b> |       |   | $x = 0.0036$   |

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 39. Interpolación lineal de 8.8 kips

| x                         | y     | Interpolación Lineal                                       |   |
|---------------------------|-------|--|---|
| Paso No. 1                |       | Paso No. 2   | Paso No. 3  |
| 8                         | 0.033 | $\frac{x - 0.033}{8.8 - 8} = \frac{0.085 - 0.033}{10 - 8}$ | $x - 0.033 = \left( \frac{0.085 - 0.033}{10 - 8} \right) * (8.8 - 8)$ |
| 8.8                       | x     |  | $x - 0.033 = \frac{0.052}{2} * 0.8$                                   |
| 10                        | 0.085 |  | $x = 0.0208 + 0.033$  |
| <b>Resultado para 8.8</b> |       |  | $x = 0.0538$  |

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 40. Interpolación lineal de 11 kips

| x                        | y     | Interpolación Lineal  |  |
|--------------------------|-------|---|--|
| Paso No. 1               |       | Paso No. 2  | Paso No. 3   |
| 10                       | 0.085 | $\frac{x - 0.085}{11 - 10} = \frac{0.183 - 0.085}{12 - 10}$ | $x - 0.085 = \left( \frac{0.183 - 0.085}{12 - 10} \right) * (11 - 10)$ |
| 11                       | x     |   | $x - 0.085 = \frac{0.098}{2} * 1$                                      |
| 12                       | 0.183 |   | $x = 0.049 + 0.085$  |
| <b>Resultado para 11</b> |       |   | $x = 0.134$  |

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 41. Interpolación lineal de 17.6 kips

| x                          | y     | Interpolación Lineal   |   |
|----------------------------|-------|--|---|
| Paso No. 1                 |       | Paso No. 2   | Paso No. 3  |
| 16                         | 0.612 | $\frac{x - 0.612}{17.6 - 16} = \frac{1.00 - 0.612}{18 - 16}$ | $x - 0.612 = \left( \frac{1.00 - 0.612}{18 - 16} \right) * (17.6 - 16)$ |
| 17.6                       | x     |  | $x - 0.612 = \frac{0.388}{2} * 1.6$                                     |
| 18                         | 1.00  |  | $x = 0.3104 + 0.612$  |
| <b>Resultado para 17.6</b> |       |  | $x = 0.9224$  |

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 42. Interpolación lineal de 19.8 kips

| x                          | y    | Interpolación Lineal                                       |   |
|----------------------------|------|--|---|
| Paso No. 1                 |      | Paso No. 2   | Paso No. 3  |
| 18                         | 1.00 | $\frac{x - 1.00}{19.8 - 18} = \frac{1.55 - 1.00}{20 - 18}$ | $x - 1.00 = \left( \frac{1.55 - 1.00}{20 - 18} \right) * (19.8 - 18)$ |
| 19.8                       | x    |  | $x - 1.00 = \frac{0.55}{2} * 1.8$                                     |
| 20                         | 1.55 |  | $x = 0.495 + 1.00$  |
| <b>Resultado para 19.8</b> |      |  | $x = 1.495$   |

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 43. Interpolación lineal de 36.3 kips

| x                          | y    | Interpolación Lineal                                       |   |
|----------------------------|------|--|---|
| Paso No. 1                 |      | Paso No. 2   | Paso No. 3  |
| 36                         | 1.38 | $\frac{x - 1.38}{36.3 - 36} = \frac{1.72 - 1.38}{38 - 36}$ | $x - 1.38 = \left( \frac{1.72 - 1.38}{38 - 36} \right) * (36.3 - 36)$ |
| 36.3                       | x    |  | $x - 1.38 = \frac{0.34}{2} * 0.3$                                     |
| 38                         | 1.72 |  | $x = 0.051 + 1.38$  |
| <b>Resultado para 36.3</b> |      |  | $x = 1.431$   |

Fuente: Elaboración por sustentantes

*Ilustración 16. Sondeo Manual – 5 Banda Derecha, Est. 0+800*



*Fuente: Captura Propia*

*Ilustración 17. Sondeo Manual – 10 Banda Izquierda, Est. 1+800*



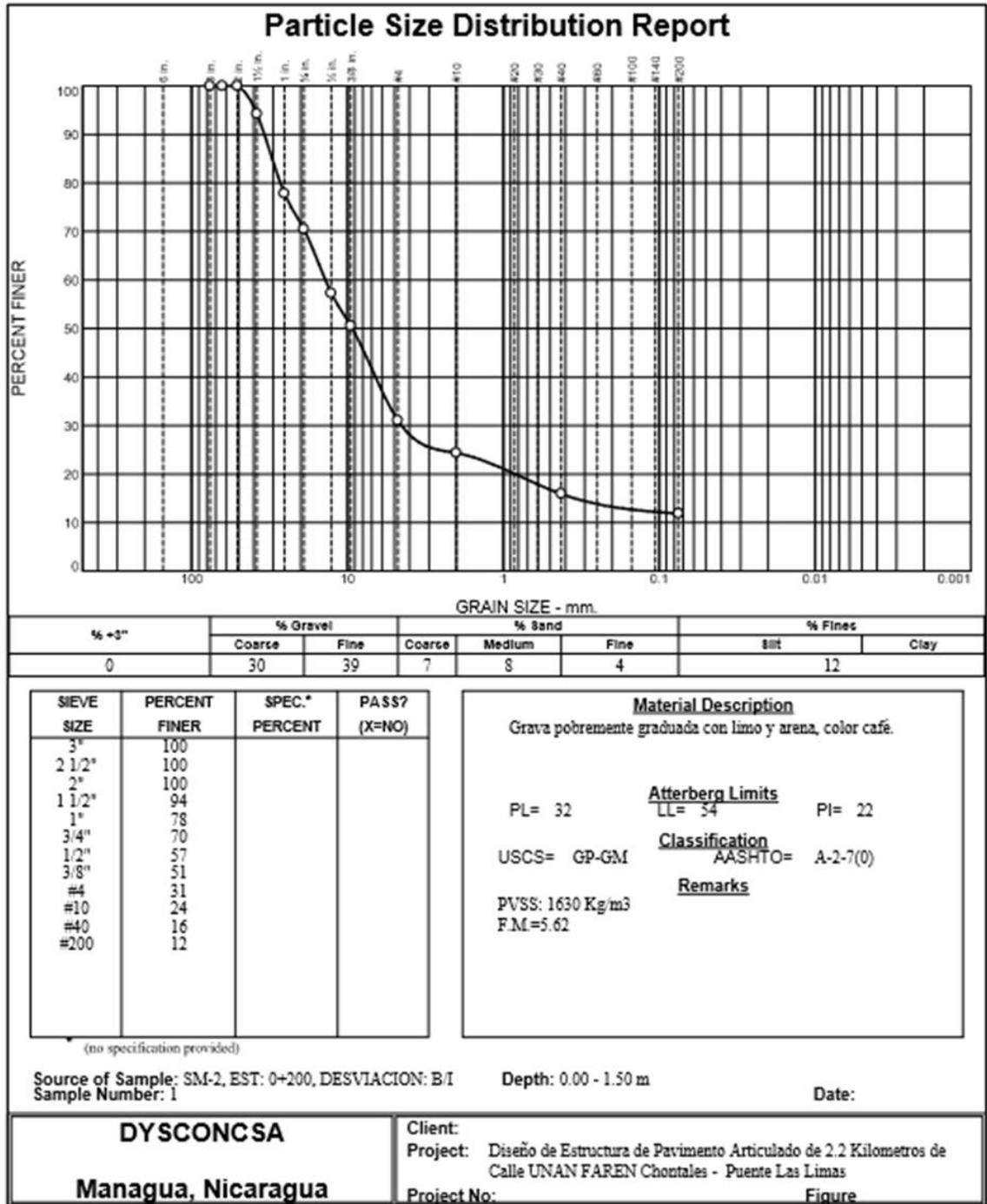
*Fuente: Captura Propia*

Tabla 44. Clasificación de Suelos (AASHTO)

| Clasificación General  | Materiales Granulares (35%, ó menos, Pasa el Tamiz No. 200) |         |                   |                   |         |         |         | Material Limo-arcillosos (Más del 35% Pasa el Tamiz No. 200) |         |         |             |
|--|---|---------|-------------------|-------------------|---------|---------|---------|--|---------|---------|-------------|
|  | A-1   |         | A-2               |                   |         |         |         | A-4  | A-5     | A-6     | A-7         |
|  | A-1-a   | A-1-b   | A-3               | A-2-4             | A-2-5   | A-2-6   | A-2-7   |  |         |         | A-7-5 A-7-6 |
| Porcentaje que pasa el Tamiz:  |   |         |                   |                   |         |         |         |  |         |         |             |
| No. 10 (2.00 mm)   | 50 máx.   | -       | -                 | -                 | -       | -       | -       | -  | -       | -       | -           |
| No. 40 (0.425 mm)  | 30 máx.   | 50 máx. | 51 máx.           | -                 | -       | -       | -       | -  | -       | -       | -           |
| No. 200 (0.075 mm)   | 15 máx.   | 25 máx. | 10 máx.           | 35 máx.           | 35 máx. | 35 máx. | 35 máx. | 36 mín.  | 36 mín. | 36 mín. |             |
| Características Del Material que Pasa por el Tamiz No. 40 (0.425 mm)   |   |         |                   |                   |         |         |         |  |         |         |             |
| Límite Líquido   | -   | -       | -                 | 40 máx.           | 41 mín. | 40 máx. | 41 mín. | 40 máx.  | 41 máx. | 40 máx. | 41 mín.     |
| Índice de Plasticidad  | 6 máx.  | NP      | NP                | 10 máx.           | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín. | 10 máx.  | 10 máx. | 11 mín. | 11 mín.     |
| Terreno de Fundación   | Excelente a Bueno   |         | Excelente a Bueno | Excelente a Bueno |         |         |         | Regular a Malo   |         |         |             |
| * El Índice de Plasticidad del Subgrupo A-7-5, es igual ó menor LI-30<br>El Índice de Plasticidad del Subgrupo A-7-6, es mayor LI-30 |   |         |                   |                   |         |         |         |  |         |         |             |

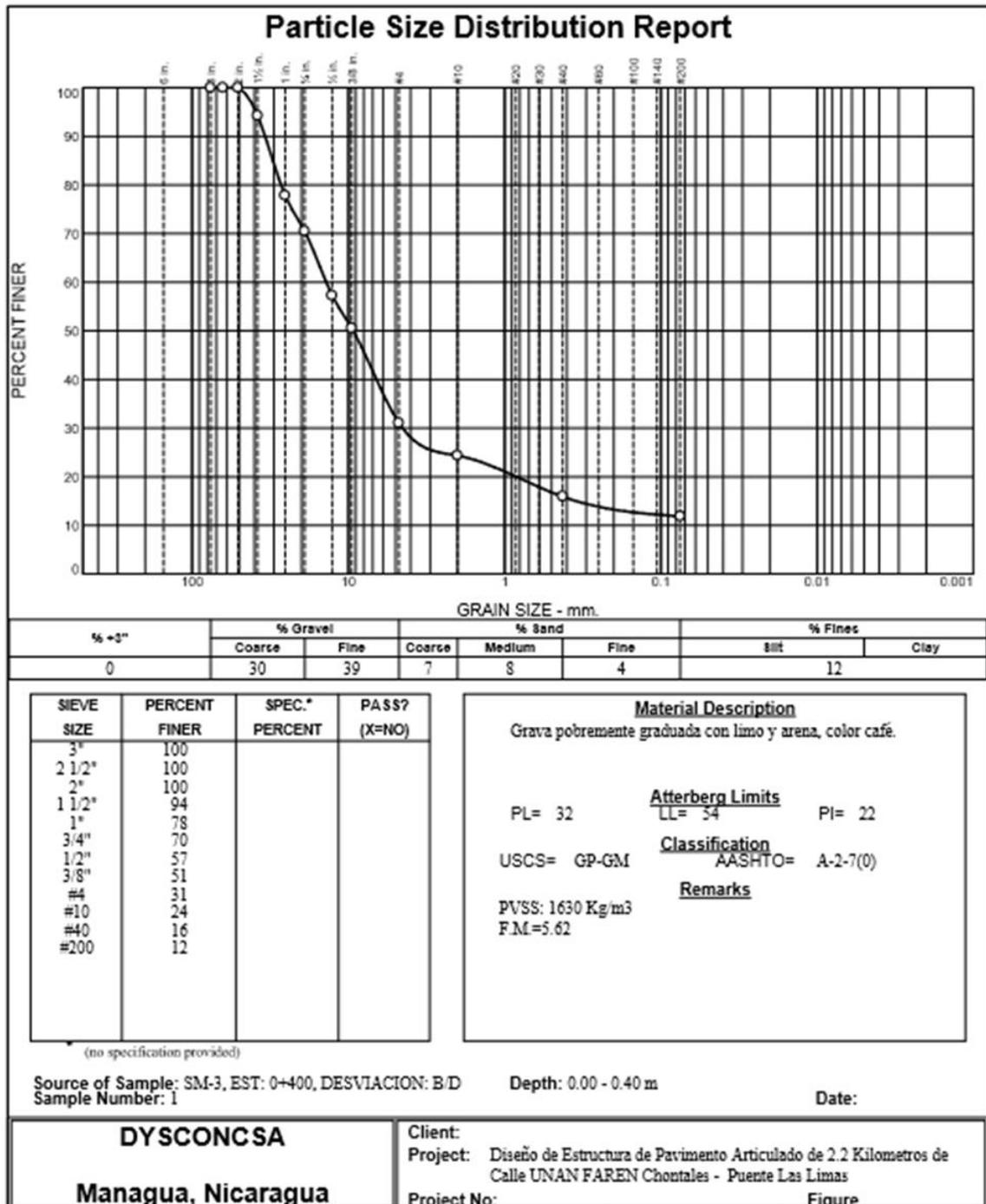
Fuente: (Libro de Pavimentos AASHTO 93)

Ilustración 18. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



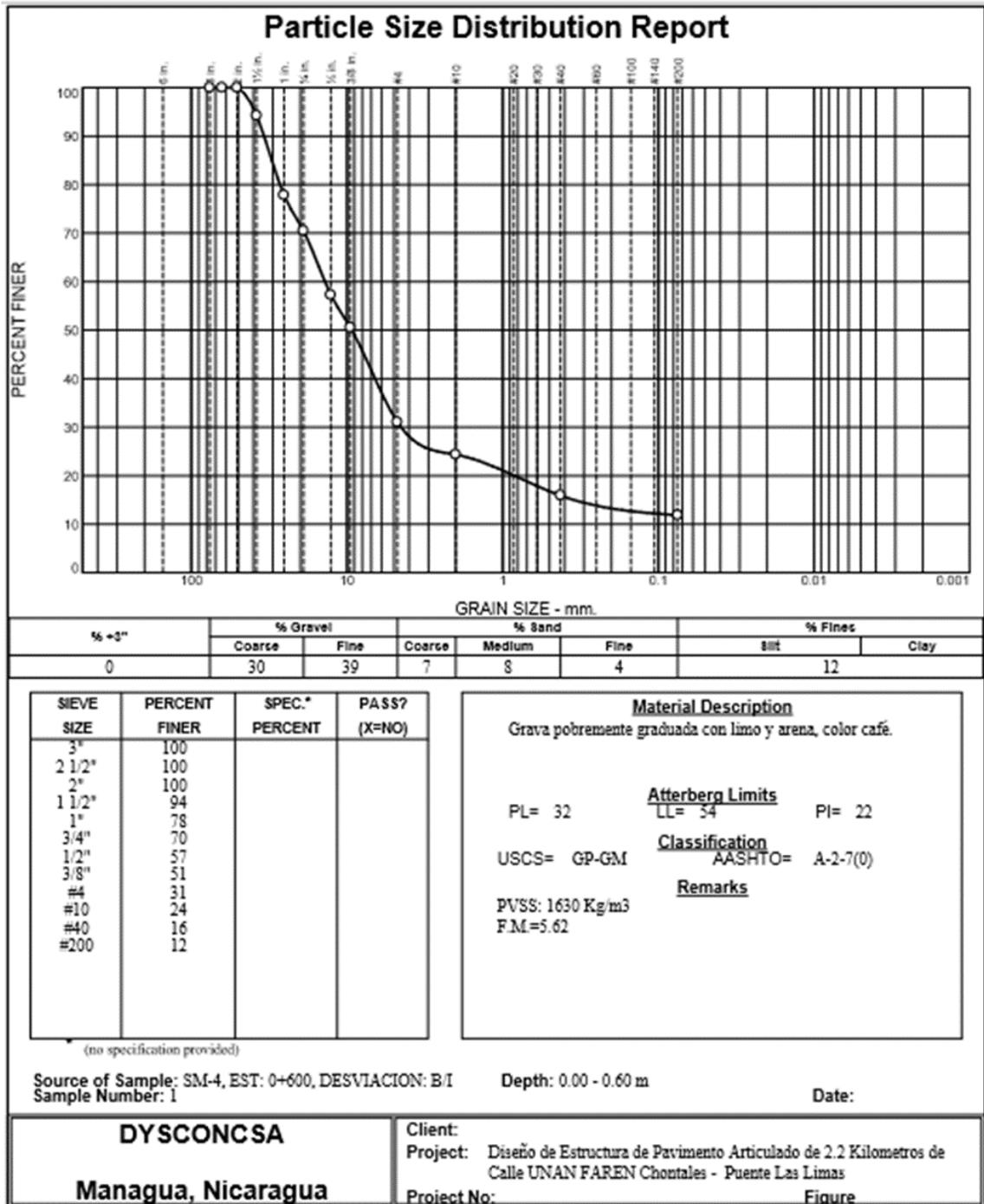
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 19. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



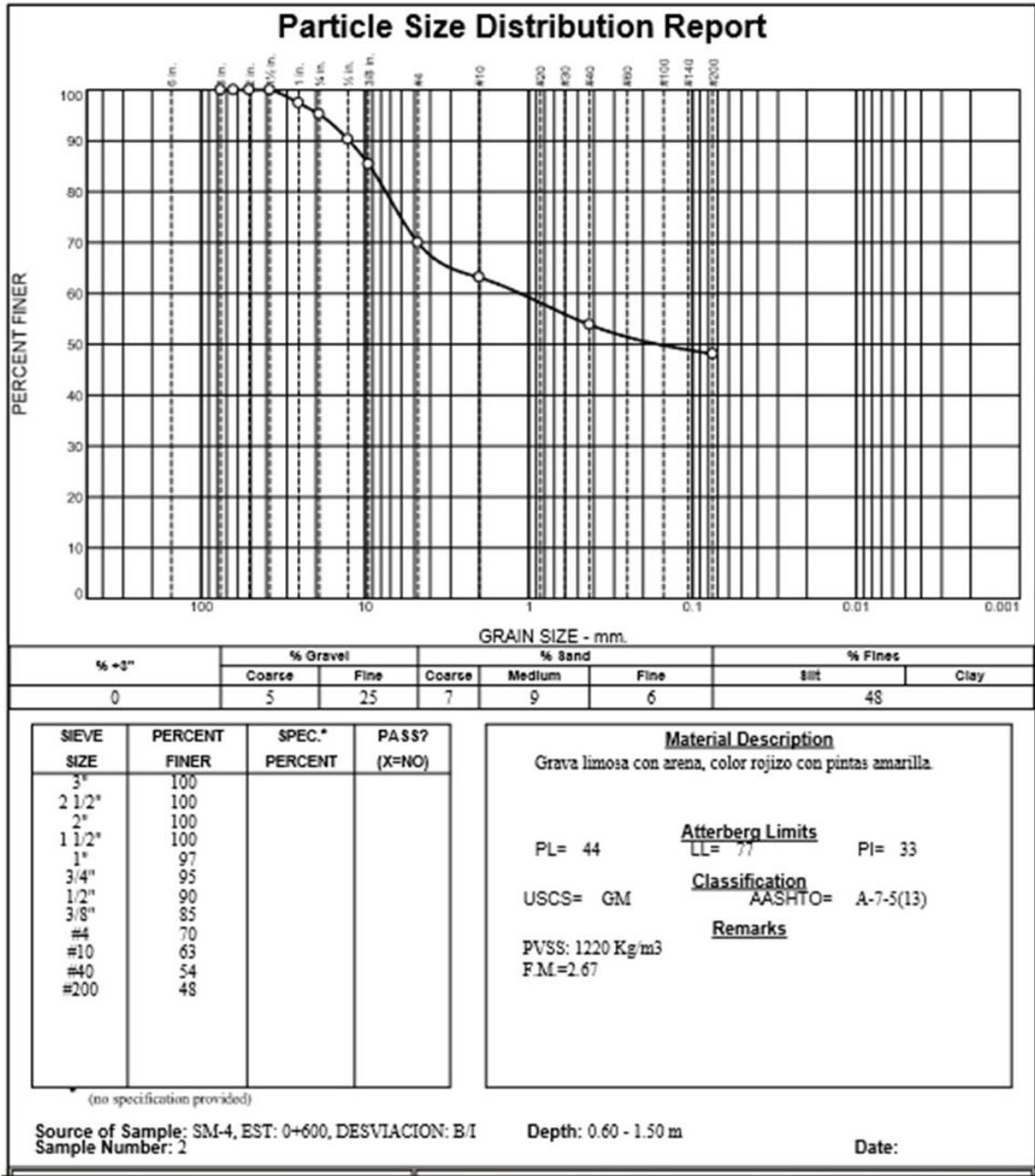
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 20. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



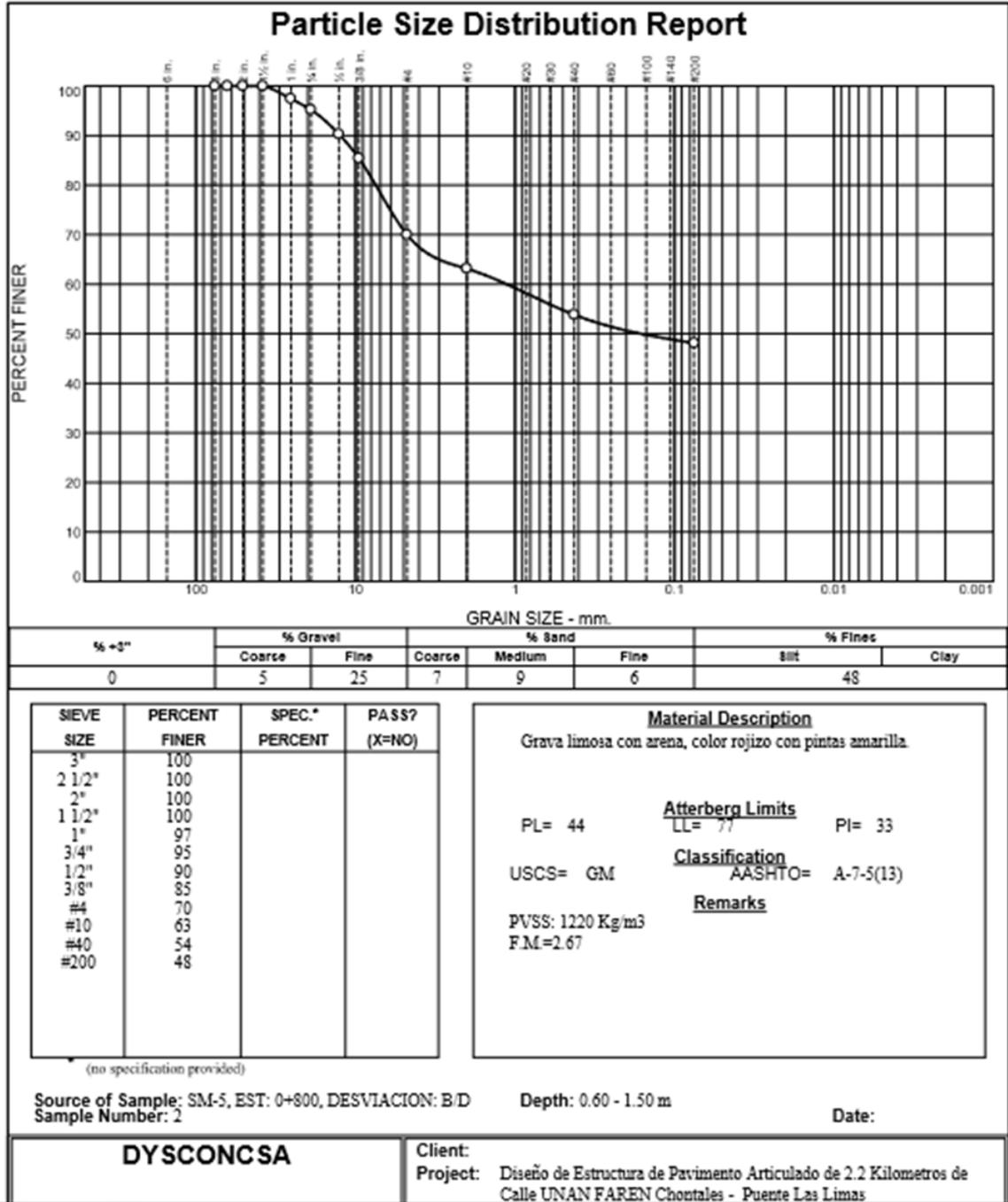
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 21. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



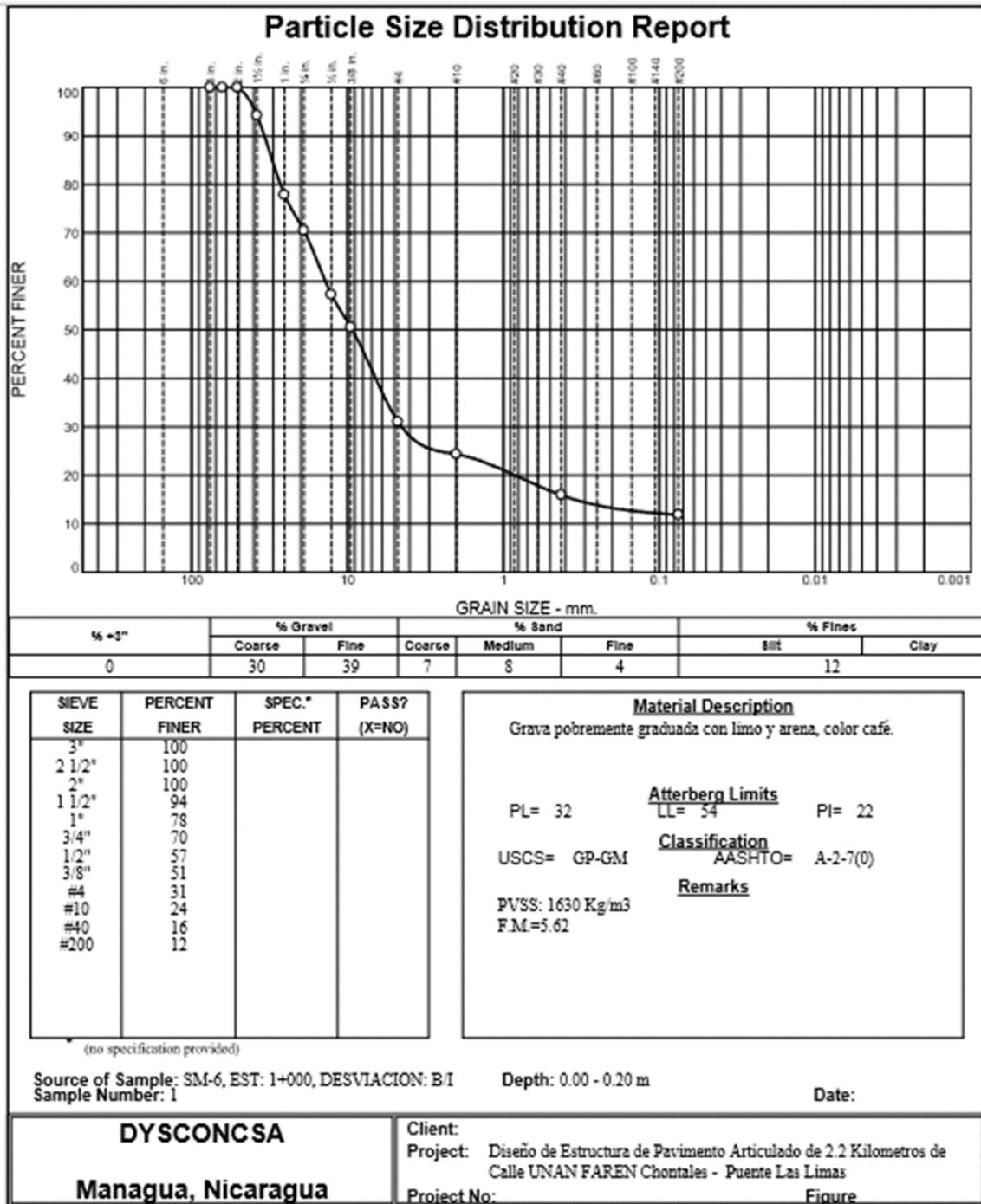
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 22. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



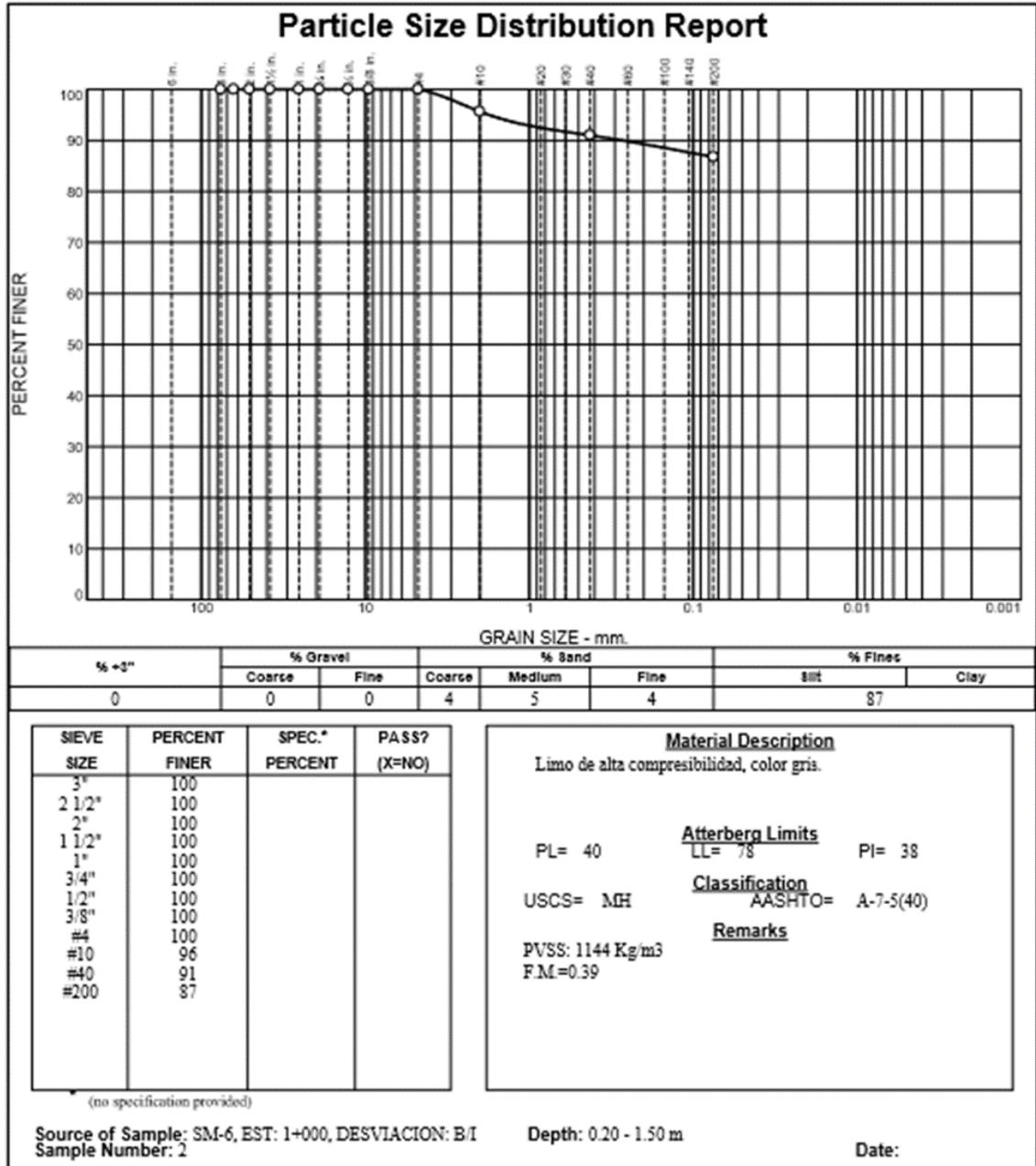
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 23. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



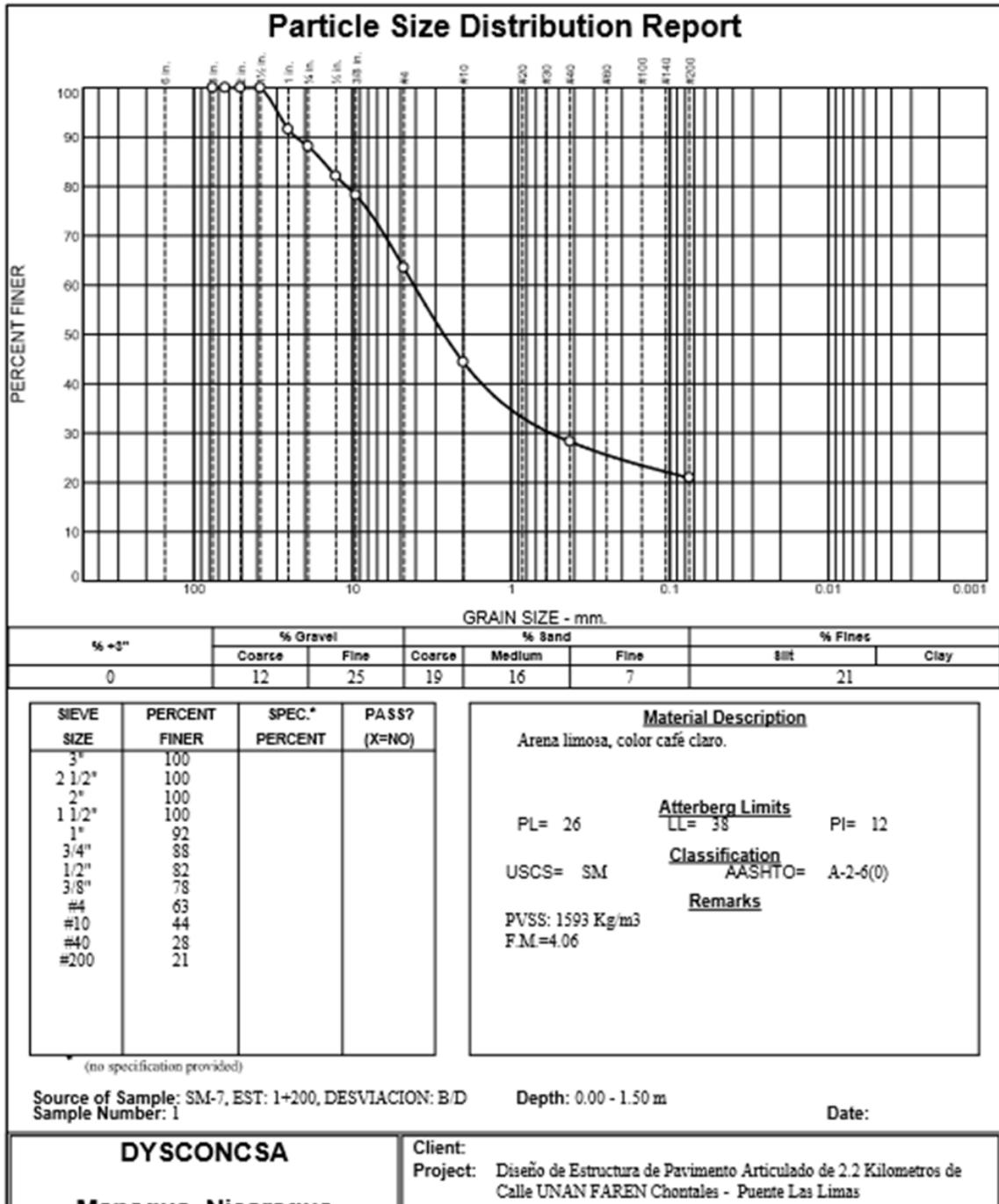
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 24. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



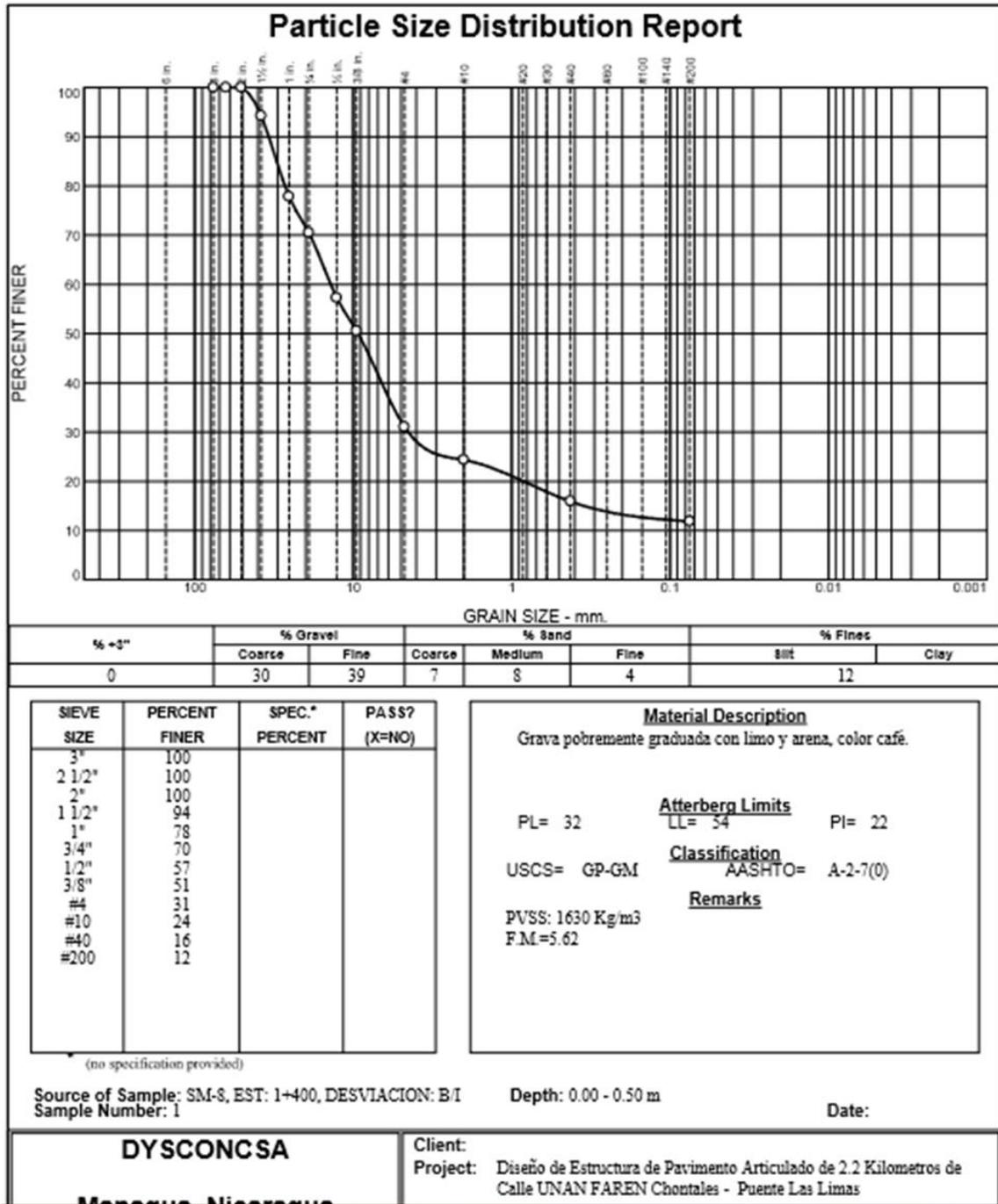
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 25. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



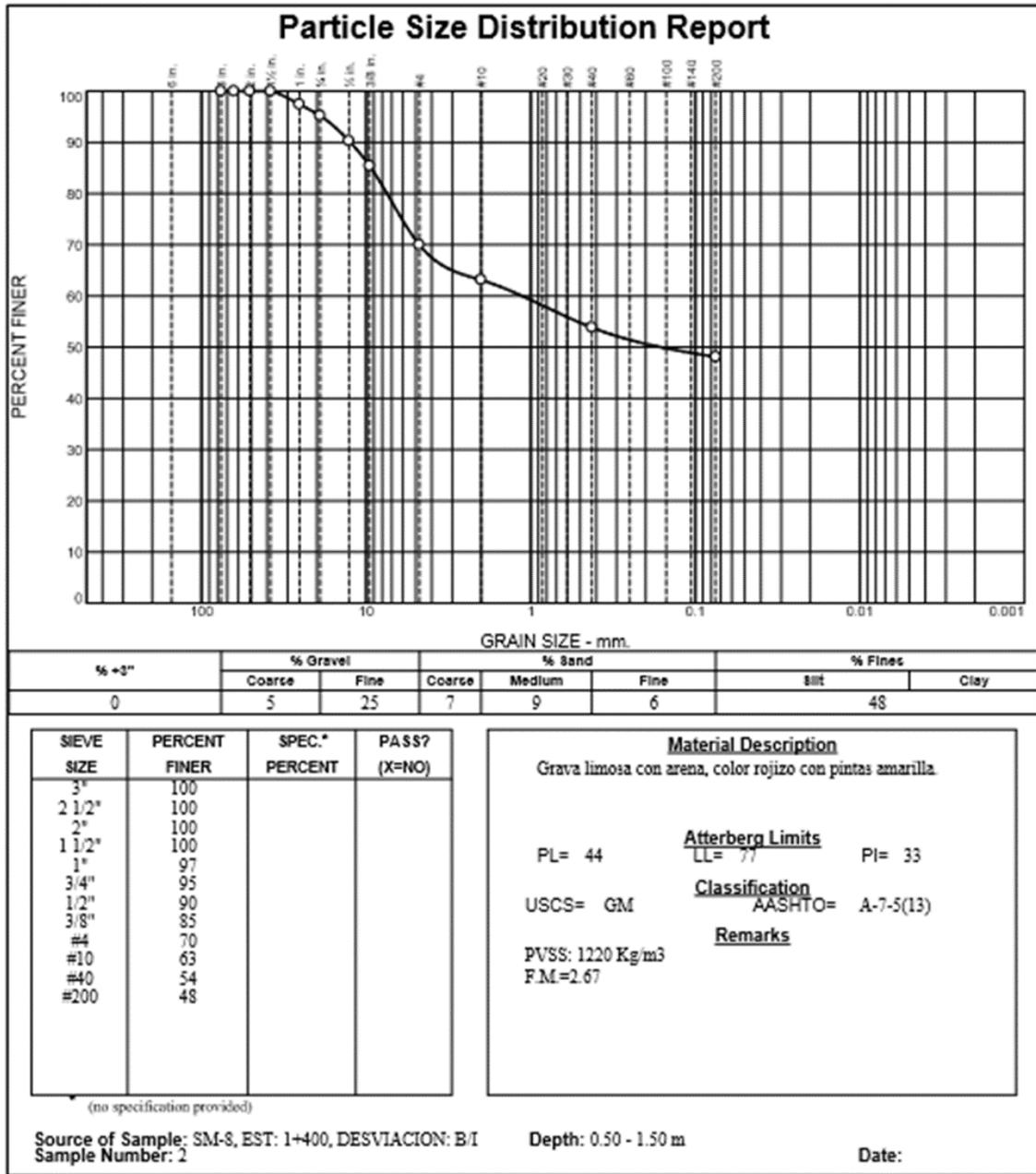
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 26. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



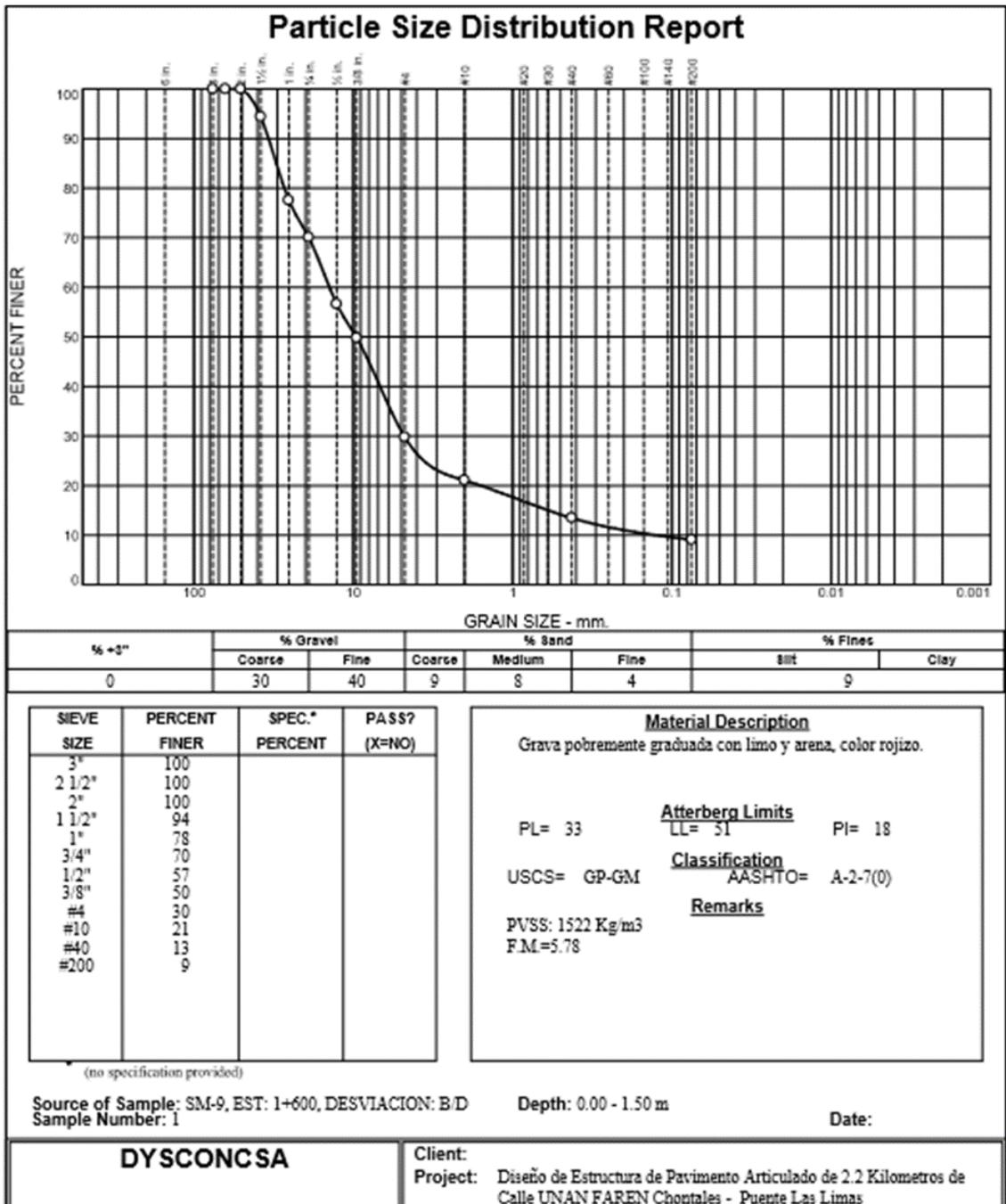
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 27. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



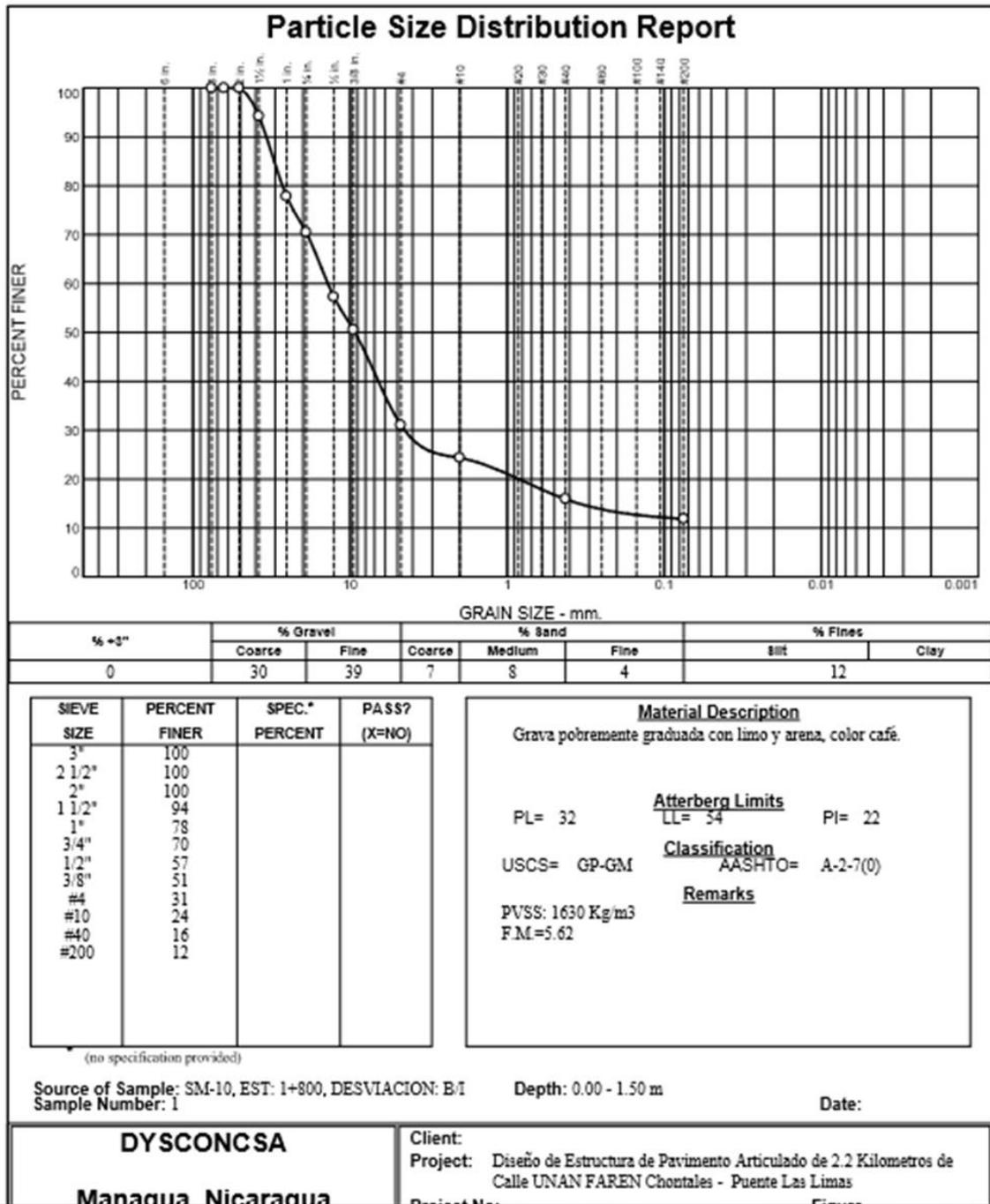
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 28. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



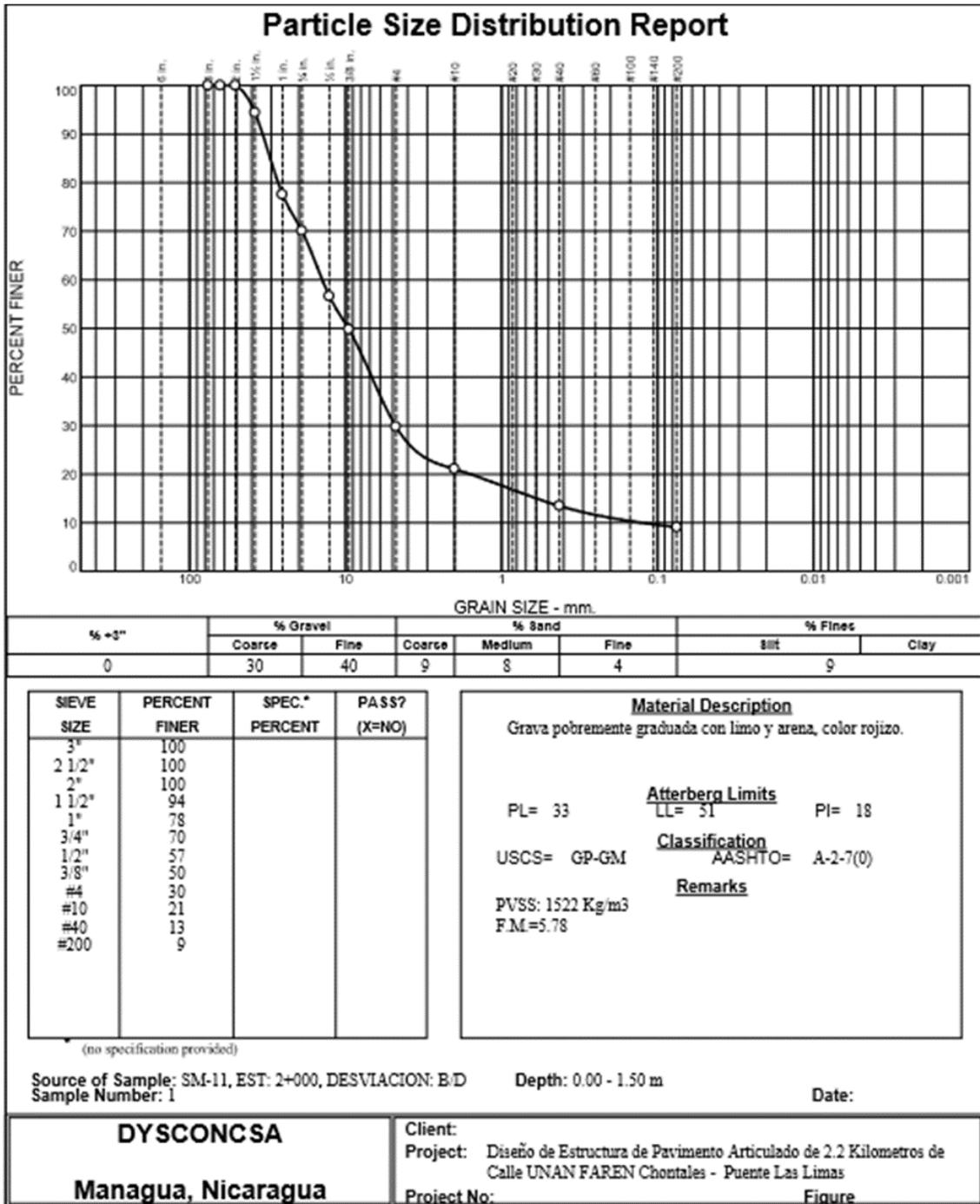
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 29. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



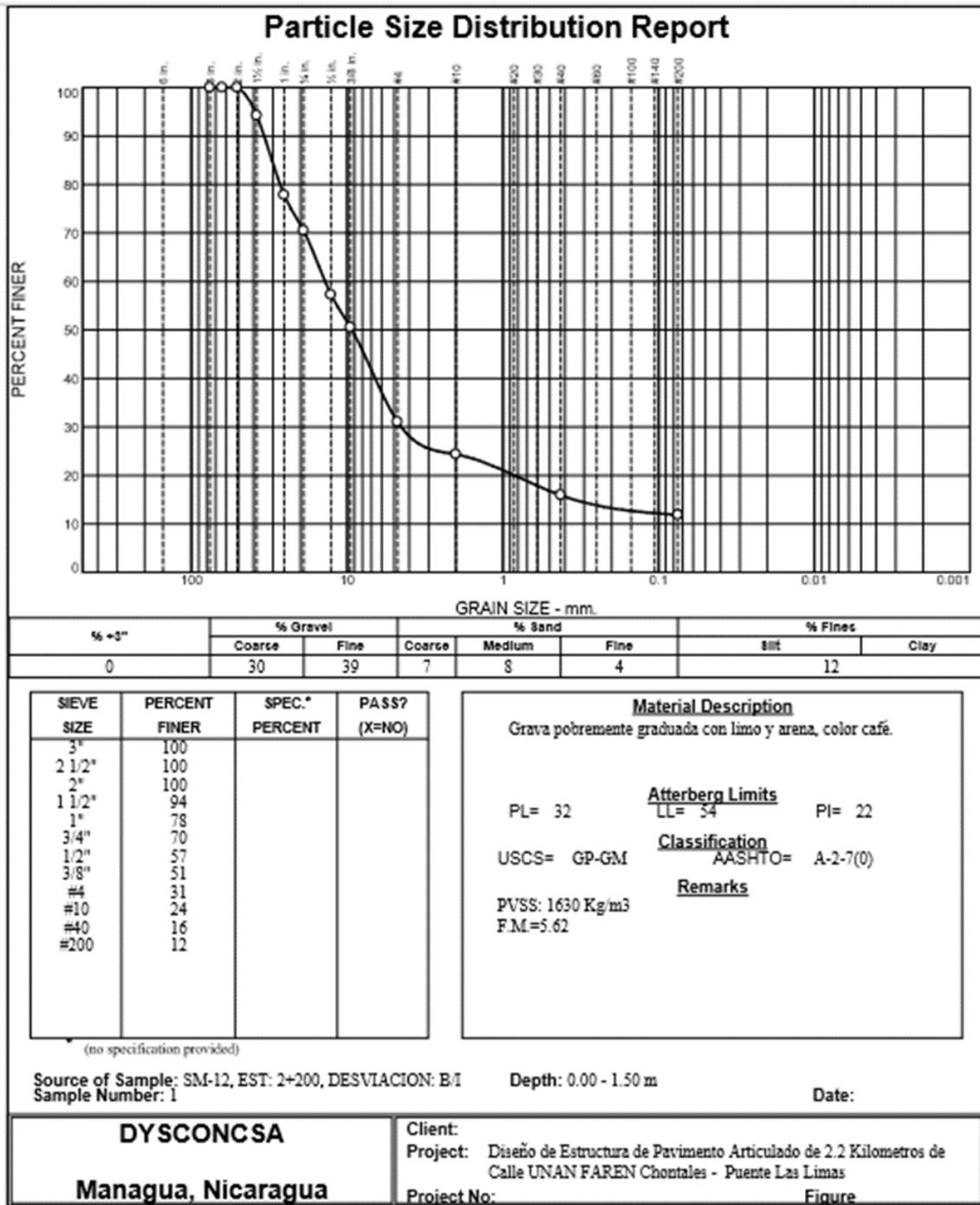
Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 30. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Ilustración 31. Ensayes de laboratorio de los sondeos de línea realizados.



Fuente: Diseños y Supervisión, Control de Calidad, S.A. (DYSCONCSA)

Tabla 45. Índice de soporte para diseño

| <b>Índice de grupo (IG)</b> | <b>Índice de soporte (IS)</b> |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 0                           | 20                            |
| 1                           | 18                            |
| 2                           | 15                            |
| 3                           | 13                            |
| 4                           | 12                            |
| 5                           | 10                            |
| 6                           | 9                             |
| 7                           | 8                             |
| 8                           | 7                             |
| 9 a 10                      | 6                             |
| 11 a 12                     | 5                             |
| 13 a 14                     | 4                             |
| 15 a 17                     | 3                             |
| 18 a 20                     | 2                             |

Fuente: Guía diseño de pavimento Método Murillo López de Souza -Laboratorio de Suelos - UNI-Managua 1994.

Tabla 46. Tabla de diseño de espesores de pavimentos flexibles para carga máxima por rueda de 5 toneladas (espesores en centímetros)

|           |           | <b>Tránsito liviano:<br/>9000 lb. / Rueda &lt;<br/>250 vehículos<br/>comerciales por día.<br/>Máximo 20 % con<br/>carga máxima.</b> |          |          | <b>Tránsito medio:<br/>11000 lb. / Rueda &lt;<br/>750 vehículos<br/>comerciales por<br/>día. Máximo 20 %<br/>con carga máxima.</b> |          |          | <b>Tránsito pesado:<br/>14000 lb. / Rueda &gt;<br/>750 vehículos<br/>comerciales por<br/>día.</b> |          |          |
|-----------|-----------|---|----------|----------|--|----------|----------|---|----------|----------|
| <b>IG</b> | <b>IS</b> | <b>A</b>  | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>A</b>   | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>A</b>  | <b>B</b> | <b>C</b> |
| 18-20     | 2         | 61  | 67       | 73       | 68   | 75       | 82       | 76  | 84       | 91       |
| 15-17     | 3         | 50  | 55       | 60       | 55   | 61       | 66       | 60  | 66       | 72       |
| 13-14     | 4         | 43  | 47       | 52       | 47   | 52       | 57       | 51  | 56       | 61       |
| 11-12     | 5         | 38  | 42       | 46       | 42   | 46       | 50       | 46  | 51       | 55       |
| 9-10      | 6         | 35  | 39       | 42       | 38   | 42       | 46       | 41  | 45       | 49       |
| 8         | 7         | 32  | 35       | 38       | 35   | 39       | 42       | 38  | 42       | 46       |
| 7         | 8         | 30  | 33       | 36       | 32   | 35       | 38       | 35  | 39       | 42       |
| 6         | 9         | 28  | 31       | 34       | 30   | 33       | 36       | 32  | 35       | 38       |
| 5         | 10        | 26  | 29       | 31       | 28   | 31       | 34       | 30  | 33       | 36       |
|           | 11        | 25  | 28       | 30       | 27   | 30       | 33       | 29  | 32       | 35       |
| 4         | 12        | 24  | 26       | 29       | 26   | 29       | 31       | 28  | 31       | 34       |
| 3         | 13        | 23  | 25       | 28       | 25   | 28       | 30       | 27  | 30       | 33       |
|           | 14        | 22  | 24       | 26       | 24   | 27       | 29       | 26  | 29       | 31       |
| 2         | 15        | 21  | 23       | 25       | 23   | 25       | 28       | 25  | 28       | 30       |
|           | 16        | 20  | 22       | 24       | 22   | 24       | 27       | 24  | 26       | 29       |
|           | 17        | 19  | 21       | 23       | 21   | 23       | 25       | 23  | 25       | 28       |
| 1         | 18        | 18  | 20       | 22       | 20   | 22       | 24       | 22  | 24       | 26       |
|           | 19        | 18  | 20       | 22       | 19   | 21       | 23       | 21  | 23       | 25       |
| 0         | 20        | 17  | 19       | 21       | 18   | 20       | 22       | 20  | 22       | 24       |

Fuente: Guía diseño de pavimento Método Murillo López de Souza -Laboratorio de Suelos - UNI-Managua 1994.

**Nota:**

Espesores A: Para una intensidad media anual de lluvia hasta 800 mm.

Espesores B: Para una intensidad media anual de lluvia entre 800 – 1500 mm.

Espesores C: Para una Intensidad media anual de lluvia mayor de 1500 mm.