



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**“DISEÑO GEOMETRICO VIAL Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO  
ARTICULADO DE 1.2 KM DEL TRAMO FRICCIONES HACIA CIUDADELA  
HÁBITAT, UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE MATAGALPA, POR EL  
MÉTODO AASHTO 93.”**

Para optar al Título de Ingeniero Civil

**Elaborado por**

Br. Diego Boanerges Navarrete Pineda

Br. Rebeca Esther Diaz Toledo

**Tutor**

Ing. Jimmy Sierra Mercado

Managua, Enero 2020



## *Dedicatoria*

Br. Diego Boanerge Navarrete Pineda

## *Dedicatoria*

Br. Rebeca Esther Diaz Toledo

## *Agradecimiento*

## **RESUMEN EJECUTIVO**

En el siguiente documento monográfico presenta el diseño estructural de pavimento Articulado (Adoquinado) y geométrico vial de 1.2 km de longitud del tramo Fricciones -ciudadela Hábitat, Municipio de Matagalpa departamento de Matagalpa, el tramo antes mencionado tiene las coordenadas UTM siguientes: iniciales (X 612437.68, Y 1428278.82) finales (X 613574.821, Y 1427914.601)

Estructura del contenido.

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

## **CAPÍTULO I: GENERALIDADES**

Este capítulo se aborda las generalidades del proyecto, ubicación del tramo en estudio, introducción, antecedentes, justificación sobre la importancia del diseño de 1.2 Km de adoquinado y objetivos planteados necesarios para lograr con éxito su diseño mediante el método AASHTO 93 y Las Normas Centroamericanas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA 2004.

## **CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRAFICO**

Este estudio fue realizado por la alcaldía municipal de Matagalpa a través de subcontrato con fondos propios, entre los alcances del proyecto comprendieron realizar el levantamiento de 1.2 Km de camino del tramo Fricciones hacia ciudadela Hábitat.

### **CAPÍTULO III: DISEÑO GEOMÉTRICO.**

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

#### **NORMAS, CRITERIOS Y ESPECIFICACIONES**

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

En el Diseño Geométrico en su alineamiento horizontal y vertical basados en el relieve natural del camino dio como resultado: dos curvas verticales, (1 en columpio y 1 cresta) y cuatro curvas horizontales.

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

### **CAPÍTULO IV: ESTUDIO DE TRÁFICO.**

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

El aforo vehicular se realizó durante 4 días consecutivos, sobre la vía durante 12 horas diurnas (TPD), luego se obtuvo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de **343** vehículos por día haciendo uso de los factores de ajustes de la estación de mayor cobertura EMC 101B. Se estimó una tasa de crecimiento del **3.83%**, tomando en cuenta los datos históricos del TPDA de la estación de conteo vehicular más cercana a la vía (Estación 317), se realizaron las correlaciones del TPDA-PIB y del TPDA-Población.

Al proyectar el tráfico actual, considerando un periodo de diseño de 15 años, se obtuvo el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL's)  $W_{18}=950,765 = 9.508E+05$

## **CAPÍTULO V: ESTUDIO GEOTÉCNICO.**

Se analizaron 7 sondeos manuales sobre el camino a diseñar resultando 23 muestras, con el objetivo de identificar las propiedades y clasificación de los diferentes estratos existentes hasta una profundidad máxima de 1.50 metros, de dichos resultados obtenidos los materiales que predominan superficialmente son suelos granulares del tipo A-2-4 (0), A-2-6(0).

El banco de préstamo (Roger Soza), está conformado por materiales granulares, compuestos por grava gruesa a fina con poco fino y arena con limo y arcilla color gris claro, que según el sistema de clasificación AASHTO son suelos del tipo A-2-4 con índice de grupo 0, con un CBR al 100% de 64%, según las especificaciones NIC-2000, son suelos de excelente calidad para Base y Sub-base.

La información necesaria del banco de material disponible cerca de la zona fue facilitada por la Alcaldía Municipal de Matagalpa con créditos de NicaSolum.

## **CAPÍTULO VI: DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO.**

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

Una vez conocidas las propiedades del suelo y una vez realizada las proyecciones del tráfico se procedió a calcular los espesores del paquete estructural utilizando los nomogramas.

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

# ÍNDICE

## CAPÍTULO I GENERALIDADES

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| <b>1.1 Introducción.....</b>      | <b>1</b> |
| <b>1.2 Antecedentes .....</b>     | <b>2</b> |
| <b>1.3 Justificación .....</b>    | <b>3</b> |
| <b>1.4 Objetivos .....</b>        | <b>4</b> |
| 1.4.1 Objetivo General .....      | 4        |
| 1.4.2 Objetivos Específicos ..... | 4        |

## CAPÍTULO II ESTUDIO TOPOGRÁFICO

|                                                              |          |
|--------------------------------------------------------------|----------|
| <b>2.1 Metodología empleada para procesar los datos.....</b> | <b>5</b> |
| 2.1.1. Perfil Longitudinal.....                              | 5        |
| 2.1.2. Altimetría.....                                       | 5        |
| 2.2.3. Elaboración de Planos.....                            | 6        |

## CAPÍTULO III DISEÑO GEOMÉTRICO VÍAL

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.1. Diseño Geométrico del Camino. ....</b>                      | <b>7</b>  |
| 3.1.1. Metodología.....                                             | 7         |
| 3.1.2 Uso del Software Civilcad Para el diseño geométrico vial..... | 7         |
| <b>3.2. Criterios y Normas para el Diseño Geométrico. ....</b>      | <b>8</b>  |
| <b>3.3. Distancias de visibilidad en carreteras. ....</b>           | <b>16</b> |
| 3.3.1. Distancia de visibilidad. ....                               | 16        |
| 3.3.2. Distancia de visibilidad de parada. ....                     | 17        |
| 3.3.3. Distancia de visibilidad de adelantamiento.....              | 17        |
| 3.3.4. Distancia de visibilidad en curvas horizontales. ....        | 19        |
| 3.3.5. Criterios para medir la distancia visual.....                | 19        |
| <b>3.4. Justificación de los Parámetros de diseño .....</b>         | <b>20</b> |

|                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.1. Velocidad de diseño .....                                               | 20        |
| <b>3.5. Memoria de cálculo de las curvas horizontales.....</b>                 | <b>22</b> |
| <b>3.6. Diseño del alineamiento vertical.....</b>                              | <b>27</b> |
| 3.6.1. Generalidades.....                                                      | 28        |
| 3.6.2. Rasante y pendientes.....                                               | 29        |
| 3.6.3. Carriles de ascenso.....                                                | 30        |
| 3.6.4. Tipos de curvas verticales.....                                         | 31        |
| 3.6.5. Tipos de curvas verticales.....                                         | 31        |
| 3.6.6. Longitud de curva cuando esta es mayor que distancia de visibilidad. .. | 31        |
| 3.6.7. Longitud de curva es menor que distancia de visibilidad.....            | 32        |
| 3.6.8. Criterios para determinar longitud de curva vertical en columpio.....   | 34        |
| <b>3.7. Elementos de la curva vertical.....</b>                                | <b>36</b> |
| 3.7.1. Curvas verticales simétricas.....                                       | 38        |
| 3.7.2. Curvas verticales asimétricas.....                                      | 39        |
| <b>3.8. Criterios para el diseño del alineamiento vertical.....</b>            | <b>40</b> |
| 3.8.1. Criterios para el diseño vertical según AASHTO.....                     | 41        |
| <b>3.9. Memoria de cálculo de las curvas verticales.....</b>                   | <b>42</b> |
| <b>CAPÍTULO IV ESTUDIO DE TRÁNSITO</b>                                         |           |
| <b>4.1 Generalidades.....</b>                                                  | <b>47</b> |
| <b>4.2. Clasificación de la red vial en Nicaragua .....</b>                    | <b>47</b> |
| <b>4.3. Recopilación de datos.....</b>                                         | <b>48</b> |
| 4.3.1. Tipos de vehículos.....                                                 | 49        |
| 4.3.2. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.....  | 50        |
| <b>4.4. Procesamiento de información.....</b>                                  | <b>50</b> |
| <b>4.5 Recopilación de la información.....</b>                                 | <b>50</b> |

|                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.6 Procesamiento de datos.....</b>                      | <b>51</b> |
| 4. 6. 1 Resumen del aforo vehicular.....                    | 51        |
| <b>4. 7 Composición Vehicular.....</b>                      | <b>55</b> |
| 4. 7. 1 Determinación de tasas de crecimiento.....          | 56        |
| 4. 7. 2 Tasas de crecimiento. ....                          | 56        |
| 4. 7. 3 Análisis del Producto Interno Bruto (PIB) .....     | 57        |
| 4. 7. 4 Análisis de Población (POB) .....                   | 58        |
| 4. 7. 5 Proyección de tráfico .....                         | 58        |
| 4. 7. 6 Cálculo de Proyección de tráfico. ....              | 62        |
| <b>4. 8 Análisis de la información obtenida. ....</b>       | <b>64</b> |
| <b>4. 9 Tráfico de diseño.....</b>                          | <b>65</b> |
| 4. 9. 1 Período de Diseño (PD). ....                        | 65        |
| 4. 9. 2 Factor de Crecimiento (FC) .....                    | 65        |
| 4.9.3 Factor Distribución Por Dirección (FD). ....          | 66        |
| 4. 9. 4 Factor Distribución Por Carril (FC). ....           | 66        |
| 4. 9. 5 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po).....      | 67        |
| 4. 9. 6 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt). ....       | 67        |
| 4. 9. 7 Pérdida de Serviciabilidad ( $\Delta$ PSI). ....    | 67        |
| 4. 9. 8 Número Estructural Asumido (SN). ....               | 68        |
| 4. 9. 9 Factor de Equivalencia (FESAL). ....                | 68        |
| <b>4. 10 Ejes Equivalentes (ESAL o W18).....</b>            | <b>68</b> |
| <b>CAPÍTULO V ESTUDIO GEOTÉCNICO</b>                        |           |
| <b>5.1. Generalidades.....</b>                              | <b>71</b> |
| <b>5.2. Estudio del suelo de fundación.....</b>             | <b>71</b> |
| 5.2.1. Trabajos de campo para los suelos de fundación ..... | 71        |

|                                                                   |             |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|
| 5.2.2. Trabajos de laboratorio.....                               | 71          |
| <b>5.3. Estudio de Bancos de Materiales.....</b>                  | <b>72</b>   |
| <b>5.4. Banco de materiales propuesto para la capa Base. ....</b> | <b>73</b>   |
| <b>5.5. Determinación del CBR de Diseño.....</b>                  | <b>74</b>   |
| 5.5.1. Resultados de suelos en la Subrasante. ....                | 75          |
| <b>CAPÍTULO VI DISEÑO DE PAVIMENTO</b>                            |             |
| <b>6.1. Generalidades.....</b>                                    | <b>78</b>   |
| <b>6.2. Consideraciones del Diseño AASHTO 93 .....</b>            | <b>78</b>   |
| 6.1.1. Carga de Ejes Simples Equivalentes.....                    | 78          |
| 6.1.2. Confiabilidad.....                                         | 79          |
| 6.1.3. Desviación Estándar.....                                   | 80          |
| 6.1.4. Serviciabilidad. ....                                      | 81          |
| 6.1.5. Coeficiente de drenaje.....                                | 81          |
| 6.1.6. Cálculo del CBR de diseño.....                             | 82          |
| 6.1.7. Módulo de Resiliencia (MR). ....                           | 82          |
| 6.1.8. Número Estructural.....                                    | 85          |
| <b>6.2. Cálculo de Espesores. ....</b>                            | <b>85</b>   |
| 6.2.1. Cálculo del espesor de la estructura de pavimento. ....    | 86          |
| 6.2.2. Espesores finales de Diseño. ....                          | 87          |
| <b>Conclusiones. ....</b>                                         | <b>89</b>   |
| <b>Recomendaciones.....</b>                                       | <b>91</b>   |
| <b>Bibliografía.....</b>                                          | <b>93</b>   |
| <b>Anexos. ....</b>                                               | <b>XXIV</b> |

# **CAPÍTULO I**

## **ASPECTOS GENERALES**

## 1.1 Introducción

Se ha demostrado en varios estudios, la infraestructura de transporte, y en especial las carreteras son de significativa importancia en el crecimiento y desarrollo de un país. La relación entre la disponibilidad de vías de comunicación terrestre y el nivel de desarrollo de la población ha sido objeto de un amplio número de estudios. Es claro que contar con un mayor acceso a más y mejores carreteras facilita el desplazamiento de la población más pobre hacia otros territorios.

Existe un amplio número de estudios, metodologías y conjunto de datos a través de los cuales se ha indagado el impacto que sobre el crecimiento y desarrollo de un país puede llegar a tener el aumento en la inversión en infraestructura, especialmente la de transporte.

Desde el punto de vista de las áreas rurales, que son precisamente las que menor infraestructura de transporte poseen, la carencia de vías de comunicación hace que sea muy difícil, y por lo tanto muy costoso, llevar sus productos de un lado a otro para su comercialización. En el caso de las áreas urbanas, son los barrios más rezagados los que sufren por la carencia no sólo de vías de comunicación adecuadas sino de los servicios de transporte necesarios que les permita una movilización rápida y económica, causando en muchos casos la aparición de los servicios de transporte informal.

El presente documento contempló el diseño geométrico vial y estructura de pavimento articulado del tramo Fricciones hacia la ciudadela Hábitat, ubicado en el municipio de Matagalpa, Departamento de Matagalpa por medio de las Normas para el Diseño de Carreteras Regionales (SIECA 2004) y AASHTO 93. **(ver anexos, macro y micro localización 12 y 13, pág. II y III).**

Se analizó el banco de materiales existente y las características físico mecánicas del subsuelo, tomando como referencias los resultados obtenidos en el estudio geotécnico

## **1.2 Antecedentes**

En el año 1999 se recibe una donación de la Fundación; JOHS S. Y JAMES L. KNIGHT, una donación de medio millón de dólares americanos para apoyar el financiamiento del proyecto habitacional Waswalí-Matagalpa, proyecto que surgió; después del huracán Mitch.

A partir de agosto de 1999, se oferto este proyecto que constaba de cien casas, un Centro de Salud, una Escuela y una casa de uso múltiple, y que dichas casas se construirían con esfuerzo de cada beneficiario en este caso fueron familias de maestros de la Ciudad de Matagalpa. Esta Ciudadela se encuentra ubicada a 124 km en la carretera Sébaco-Matagalpa

Desde que se formuló este proyecto se ha tenido la dificultad de poder dirigirse hacia sus hogares debido a que la vía no se encuentra en buen estado y además de verse sin los servicios de transportes necesarios, impidiendo la movilización rápida y económica,

La renovación del pavimento de las calles de los barrios rurales queda muchas veces excluida de las operaciones de inversiones de infraestructura en el país. Ante la creciente demanda por intervenciones de mejoramiento de vías no asfaltadas, han surgido en los últimos años en nuestro país, alternativas de pavimentación de bajo costo mediante la aplicación de técnicas de mejora en carpetas de rodadura no pavimentadas en caminos de bajo y mediano nivel de tráfico.

### **1.3 Justificación**

La pavimentación en realidad es sólo una parte del proyecto, el cuál como toda obra vial incluye otras especialidades complementarias entre sí, que han de ser motivo de estudio, diseño y materialización, entre las que destacan: geometría (alineamientos geométricos y sección transversal), infraestructura u obra básica, superestructura (pavimentación propiamente tal), obras de drenaje y saneamiento, elementos de control, seguridad, iluminación y señalización, estructuras y obras de protección, y finalmente obras especiales.

Con el presente trabajo se pretendió aplicar estudios adquiridos durante los años de la carrera de Ingeniería Civil, para ser tomados en cuenta en el diseño geométrico vial y de pavimento articulado, así mismo, con los resultados obtenidos dar la información necesaria de ser llevado a cabo el proyecto de la misma manera ser de ayuda para trabajos futuros.

La obra vial la cual se desea pavimentar y realizar el diseño geométrico vial es de suma importancia para el tránsito vehicular de las personas de la comunidad puesto que comunica directamente con la carretera de acceso a la ciudad, por lo que este camino debe de permanecer en buenas condiciones durante cualquier época del año

Para la ejecución del Proyecto se tomó como base la pavimentación articulada ya que es un sistema de construcción que es bastante económica y es un sistema que no daña al medio ambiente pues no se utilizan químicos solventes en el lugar.

Para determinar el tipo de proyecto a realizar se tomaron varias alternativas tales como, asfalto, pavimento articulado y pavimento rígido, tomando como mejor opción el pavimento articulado por su fácil construcción, años de durabilidad, economía, costos de operación y mantenimiento más bajos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Elaborar el diseño geométrico vial y la estructura de pavimento articulado de 1.2 km del tramo Fricciones hacia Ciudadela Hábitat, ubicado en el Departamento de Matagalpa, por el método AASHTO 93.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

1. Determinar las características del lugar y su relieve mediante el levantamiento topográfico en el sitio.
2. Realizar el diseño geométrico vial del tramo en estudio aplicando las normas del Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004).
3. Determinar las cargas de ejes simples equivalentes (ESAL) para el periodo de diseño seleccionado a partir de los datos de aforo vehicular.
4. Evaluar las características físico mecánicas de los estudios realizados en el sitio y de los posibles bancos de materiales.
5. Diseñar la estructura de pavimento articulado empleando el método de la AASHTO 93.

## **CAPÍTULO II**

# **ESTUDIO TOPOGRÁFICO**

## **2.1 Metodología empleada para procesar los datos**

El levantamiento topográfico fue realizado con estación total modelo Sokkia CX 105, durante el mes de febrero del año 2017, con el apoyo de la alcaldía municipal de Matagalpa. Para dicho levantamiento topográfico se tomó en cuenta los derechos de vías, de igual manera no se siguió una constante de distancias entre las secciones, ya que se tomó como criterio las condiciones topográficas del terreno donde se presentaban cambios considerables en los niveles del terreno natural. Los datos recolectados por la estación total se guardaron al concluir el día para tener respaldo del trabajo de campo realizado. Acto seguido se procedió en el software denominado CIVIL CAD 2015, este tiene una interface en la que se importan los puntos con las tres coordenadas x, y, z (Este, Norte y Altura) en un archivo de la extensión \*.txt luego de esto se procesaron los puntos para elaborar los alineamientos horizontales y verticales.

### **2.1.1. Perfil Longitudinal.**

Es la proyección del eje real de la vía sobre una superficie vertical paralela a la misma. Debido a este paralelismo, dicha proyección mostrará la longitud real del eje de la vía. A este eje también se le denomina rasante.

Aquí se detallan los alineamientos verticales, su gradiente longitudinal, así como las curvas verticales con sus parámetros más importantes y cotas respectivas.

Se denota la línea discontinua que representa el perfil del terreno natural sobre el que se construirá el proyecto que a su vez con una línea continua que representa la rasante de diseño. También se indican las alturas de corte y de relleno, variables a lo largo del eje del proyecto.

### **2.1.2. Altimetría.**

#### **Curvas de nivel**

Se determinaron las elevaciones de todos los puntos en todo el tramo en estudio, estos fueron procesados en el software Autocad - Civilcad 2015, generando así el

mapa de curvas de nivel que ayudan a conocer el tipo de relieve de la vía existente y que sirvió de apoyo para el diseño del alineamiento horizontal y vertical.

### **Pendientes transversales y longitudinales**

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

Basados en el levantamiento topográfico, en el sitio existen 3 curvas verticales tipo cresta y 1 curva vertical tipo columpio. Según con el levantamiento topográfico realizado y el procesamiento de las coordenadas (X, Y, Z) el tipo de terreno del camino es plano o llano, ya que predominan pendientes menores a 1% y menor o igual al 5%. **(Ver anexos – planos de proyecto, Alineamiento vertical, Laminas 01-04)**

**Tabla 1.** Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

| <b>Tipo de Terreno</b> | <b>Rangos de Pendientes (%)</b> |
|------------------------|---------------------------------|
| Llano o plano          | $G \leq 5$                      |
| Ondulado               | $5 > G \leq 15$                 |
| Montañoso              | $15 > G \geq 30$                |

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

### **2.2.3. Elaboración de Planos.**

La información del levantamiento topográfico fue utilizada para elaborar los planos finales de construcción en hojas planta - perfil los cuales muestran la línea central, límites de derecho de vía, referencias de línea central, BM's y sus referencias, el perfil longitudinal y el anteproyecto de la rasante.

En el juego de planos constructivos **(Ver anexos – planos, L-01 a L-04)**, se incluyen, además, hojas que contienen detalles constructivos de drenaje, tales como cunetas tipo rural. Todo ello fue editado en el software AUTOCAD Y CIVILCAD 2015.

Las escalas usadas en el dibujo de los perfiles longitudinales. Los planos fueron dibujados a escala 1:1000 y 1:100 en sentido horizontal y vertical respectivamente.

## **CAPÍTULO III**

# **DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL**

### **3.1. Diseño Geométrico del Camino.**

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

#### **3.1.1. Metodología.**

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

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

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

#### **3.1.2 Uso del Software Civilcad Para el diseño geométrico vial**

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

Entre las funciones más importantes que realiza CivilCad tenemos:

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

### **3.2. Criterios y Normas para el Diseño Geométrico.**

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

#### **Aspectos relevantes para el diseño de pavimentos**

- a) Ninguna norma debe sustituir el buen criterio y juicio explícito del diseñador.
- b) El mejor diseño geométrico de una carretera puede ser rechazado si, en el análisis de sus elementos justificativos, no se incorporan uniformemente los componentes ambientales de su impacto en el medio natural y social.
- c) Las normas de diseño no deben ser una camisa de fuerza, únicamente deben ser utilizadas como una guía sólida y técnicamente aceptable sobre las soluciones más deseables para el diseño geométrico.
- d) El buen funcionamiento de la red vial es crucial para el desarrollo seguro y eficiente de las actividades socio - económicas.

- e) El diseño de una carretera debe ser consistente, esto es, evitar los cambios considerables en las características geométricas de un segmento dado, manteniendo la coherencia de todos los elementos del diseño con las expectativas del conductor promedio.
- f) En el diseño debe presentarse la debida atención a las necesidades de los peatones, de los ciclistas y motociclistas que circulan por la carretera.
- g) En el diseño del pavimento de las carreteras es esencial facilitar la efectiva interacción entre la superficie de rodamiento y las llantas de los vehículos para el control y el frenado de estos.

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

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

La AASHTO identifica las tres categorías generales de terreno de la tabla siguiente, en la forma que se describe seguidamente:

**Tabla 2.** Pendientes máximas para caminos rurales según AASHTO

| Tipo de terreno | Pendientes máximas (%) para velocidades de diseño (Km/h) |    |    |    |     |     |     |     |
|-----------------|----------------------------------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
|                 | 60                                                       | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| Llano           | 5                                                        | 5  | 4  | 4  | 3   | 3   | 3   | 3   |
| Ondulado        | 6                                                        | 6  | 5  | 5  | 4   | 4   | 4   | 4   |
| Montañoso       | 8                                                        | 7  | 7  | 6  | 6   | 5   | 5   | 5   |

**Fuente:** *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 2004, pág. 450*

### 3.2.1. Elementos geométricos de una curva horizontal.

#### Puntos notables.

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

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

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

**PM:** Punto medio de la curva horizontal.

**PSC:** Indica un punto sobre la curva.

#### Puntos geométricos.

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

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

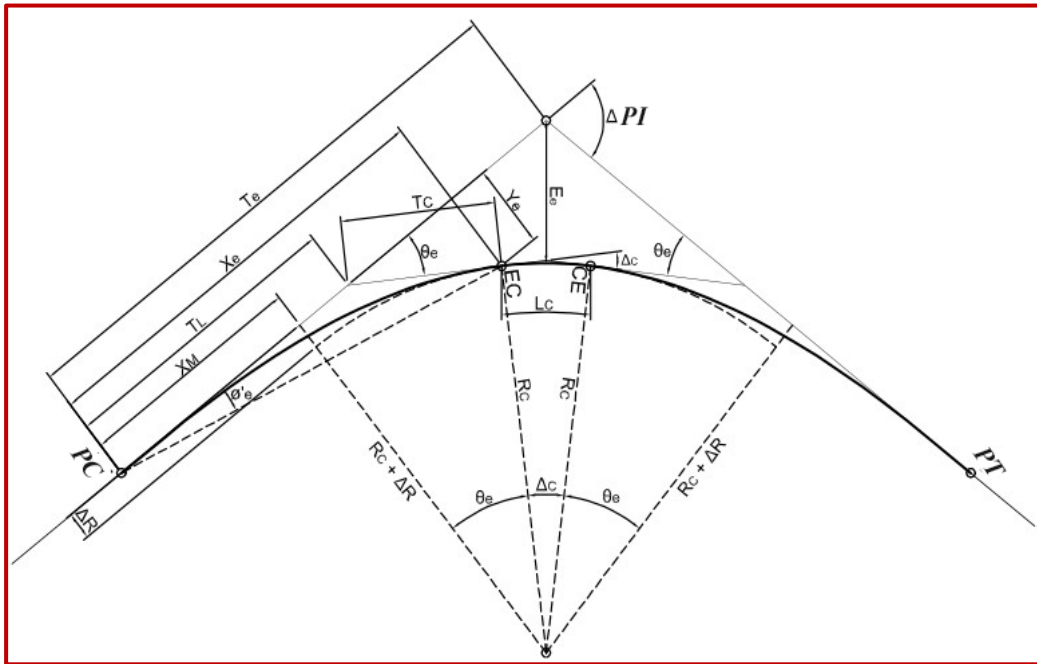
**CM:** Cuerda Máxima, es el segmento de recta que une al PC con el PT.

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

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

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

**Imagen 1.** Elementos geométricos de la curva horizontal.



*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.2.1.2. Tipos de curva horizontales.

Las curvas horizontales suelen presentarse en tres casos diferentes, aunque aquí sólo se mencionará en detalle el caso que se presenta en este proyecto. Como ejemplo podemos citar una curva que debe pasar por un *punto obligado*, en el otro el *PI es inaccesible*, hay casos en el que se debe trazar una *curva compuesta*.

Todos estos casos tienen su mecanismo de trazado y se basa en el caso más sencillo que se puede presentar, una *curva horizontal simple*.

### 3.2.1.3. Curvas de transición.

Sirven para pasar, de manera gradual, de un tramo en tangente a otro en la curva circular. De tal modo que el cambio de curvatura sea suave y que el peralte en todos los casos esté de acuerdo con el grado de curvatura.

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

Por otro lado, si el radio supera los 213m para una velocidad de diseño de 60 kph, no es necesario diseñar curvas de transición tampoco son necesarias en calles urbanas, esto se debe a las distancias cortas, a la cantidad de intersecciones y al derecho de vía, sin embargo, se utilizan para proporcionar el cambio del bombeo al peralte.

**Tabla 3.** Radios máximos para el uso de curva de transición en espiral

| Sistema Métrico                                                                                                                        |                  | Sistema Americano         |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------|-------------------|
| Velocidad de Diseño (km/h)                                                                                                             | Radio Máximo (m) | Velocidad de Diseño (mph) | Radio Máximo (ft) |
| 20                                                                                                                                     | 24               | 15                        | 114               |
| 30                                                                                                                                     | 54               | 20                        | 203               |
| 40                                                                                                                                     | 95               | 25                        | 317               |
| 50                                                                                                                                     | 148              | 30                        | 456               |
| 60                                                                                                                                     | 213              | 35                        | 620               |
| 70                                                                                                                                     | 290              | 40                        | 810               |
| 80                                                                                                                                     | 379              | 45                        | 1025              |
| 90                                                                                                                                     | 480              | 50                        | 1265              |
| 100                                                                                                                                    | 592              | 55                        | 1531              |
| 110                                                                                                                                    | 716              | 60                        | 1822              |
| 120                                                                                                                                    | 852              | 65                        | 2138              |
| 130                                                                                                                                    | 1000             | 70                        | 2479              |
|                                                                                                                                        |                  | 75                        | 2846              |
|                                                                                                                                        |                  | 80                        | 3238              |
| Nota: Es probable que los beneficios de seguridad de las curvas de transición en espiral sean insignificantes para radios más grandes. |                  |                           |                   |

*Fuente: A Policy on Geometric Design of Highway and Street, AASHTO 2004, pág. 179*

#### 3.2.1.4. Diseño de la curva de transición.

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

#### 3.2.1.5. Sobre ancho.

Es el ancho que se adiciona en el extremo interior de la calzada en una curva horizontal, la cual facilita a los conductores mantenerse dentro de su vía. Una de las razones por la cual se hace necesario diseñar el sobre ancho, es que las ruedas traseras de un vehículo describen una trayectoria más corta que las

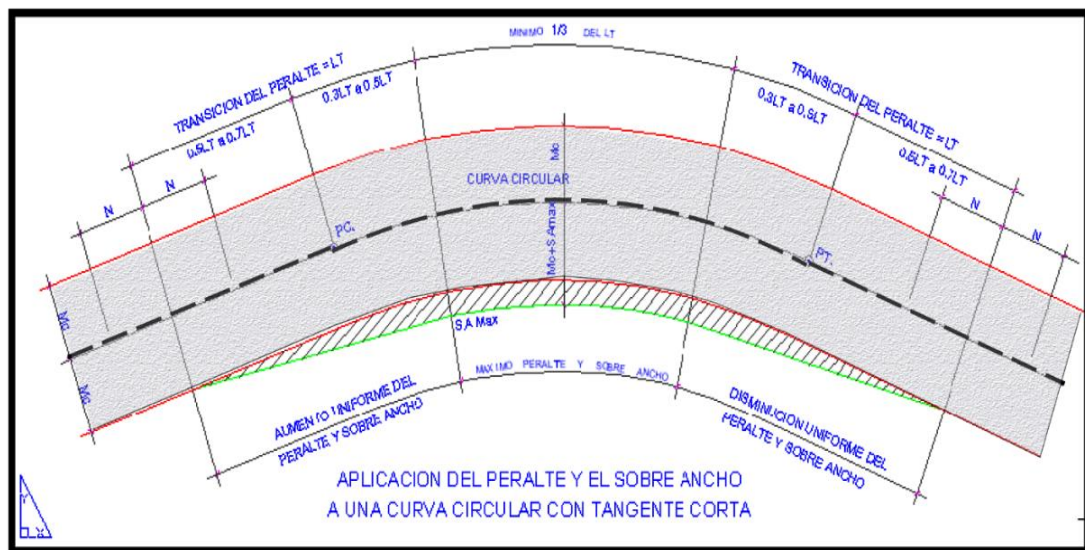
delanteras cuando se recorre una curva, no obstante, cuando los resultados de los sobreanchos son menores a 60 cm estos no son necesarios, según el manual centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA 2004, cap. 4, pág. 51)

**Tabla 4.** Tabla de sobreanchos según velocidad de diseño y radio de curva

| Ancho Calzada<br>Radio de Curva<br>(m) | 6.6 metros                 |     |     |     |     |     |     |  | 6.0 metros                 |     |     |     |     |     |     |  |
|----------------------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                        | Velocidad de diseño (Km/h) |     |     |     |     |     |     |  | Velocidad de diseño (Km/h) |     |     |     |     |     |     |  |
|                                        | 50                         | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 |  | 50                         | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 110 |  |
| 1500                                   | 0.2                        | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 |  | 0.3                        | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |  |
| 1000                                   | 0.3                        | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.5 |  | 0.4                        | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.6 |  |
| 750                                    | 0.3                        | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.6 |  | 0.6                        | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |  |
| 500                                    | 0.5                        | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |  | 0.8                        | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.1 |  |
| 400                                    | 0.6                        | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |     |  | 0.9                        | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.1 |     |  |
| 300                                    | 0.6                        | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 |     |     |  | 0.9                        | 1.0 | 1.0 | 1.1 |     |     |     |  |
| 250                                    | 0.7                        | 0.8 | 0.8 | 0.9 |     |     |     |  | 1.0                        | 1.1 | 1.1 | 1.2 |     |     |     |  |
| 200                                    | 0.9                        | 1.0 | 1.1 |     |     |     |     |  | 1.2                        | 1.3 | 1.3 | 1.4 |     |     |     |  |
| 150                                    | 1.0                        | 1.1 |     |     |     |     |     |  | 1.3                        | 1.4 |     |     |     |     |     |  |
| 140                                    | 1.0                        | 1.1 |     |     |     |     |     |  | 1.3                        | 1.4 |     |     |     |     |     |  |
| 130                                    | 1.0                        | 1.1 |     |     |     |     |     |  | 1.3                        | 1.4 |     |     |     |     |     |  |
| 120                                    | 1.0                        | 1.1 |     |     |     |     |     |  | 1.3                        | 1.4 |     |     |     |     |     |  |
| 110                                    | 1.0                        |     |     |     |     |     |     |  | 1.3                        |     |     |     |     |     |     |  |
| 100                                    | 1.1                        |     |     |     |     |     |     |  | 1.4                        |     |     |     |     |     |     |  |
| 90                                     | 1.1                        |     |     |     |     |     |     |  | 1.4                        |     |     |     |     |     |     |  |
| 80                                     | 1.3                        |     |     |     |     |     |     |  | 1.6                        |     |     |     |     |     |     |  |
| 70                                     | 1.4                        |     |     |     |     |     |     |  | 1.7                        |     |     |     |     |     |     |  |

**Fuente:** Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004, cap. 4-pág. 51

**Imagen 2.** Sobre ancho en la curva circular



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

### **3.2.1.6. Radios mínimos y grados máximos de curvas.**

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

### **3.2.1.7 Tasas de Peralte y Factor de Fricción Lateral**

De la investigación y experiencia acumuladas, se han establecido valores límites para  $e$  y  $f$ . Si en la fórmula básica se aplica el valor de  $e_{\text{máx.}}$  con un valor conservador de  $f$ , se puede obtener el radio mínimo de curva para distintas velocidades de diseño. Para una velocidad de diseño dada, el uso de radios mayores que el mínimo exige, determinar las tasas de peralte menores que el máximo a fin de mantener el equilibrio de los factores involucrados.

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas (frecuencia y cantidad de nieve y hielo); condiciones del terreno (plano o montañoso); tipo de zona (rural o urbana) y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte. Por la consideración conjunta de estos factores se concluye que no hay ninguna tasa única de peralte máxima universalmente aplicable y que debe usarse un rango de valores. Por otro lado, el uso de una sola tasa de peralte máximo, dentro de una región de condiciones climáticas y uso de la tierra similares, es una práctica que promueve un diseño consistente.

El diseño consistente se refiere a que los alineamientos de la carretera y los elementos de diseño asociados a ella deben ser uniformes. Esta uniformidad permite mejorar las habilidades de percepción-reacción, por medio de la formación o desarrollo de expectativas, a los conductores.

Si los parámetros de diseño no son uniformes en tipos similares de carreteras, se incrementa la carga emocional o psicológica del conductor, y, por lo tanto, ello impacta negativamente en la seguridad.

**Tabla 5.** Factores de sobre elevación según localización de la vía

| Tasa de Sobre elevación,<br>“ $e_{máx}$ ” | Tipo de Área    |
|-------------------------------------------|-----------------|
| 10%                                       | Rural montañosa |
| 8%                                        | Rural plana     |
| 6%                                        | Suburbana       |
| 4%                                        | Urbana          |

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

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

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

$$\text{Ec. 1} \quad R_{min} = \frac{V^2}{(127(e_{máx} + f_{máx}))}$$

**Donde:**

R : Radio mínimo de curva, en metros

e : Tasa de sobreelevación en fracción decimal

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

V : Velocidad de diseño, en kilómetros por hora

**Tabla 6.** Distancias mínimas para carreteras rurales de dos carriles

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

*Fuente:* Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004, cap. 4-pág. 30

### 3.3. Distancias de visibilidad en carreteras.

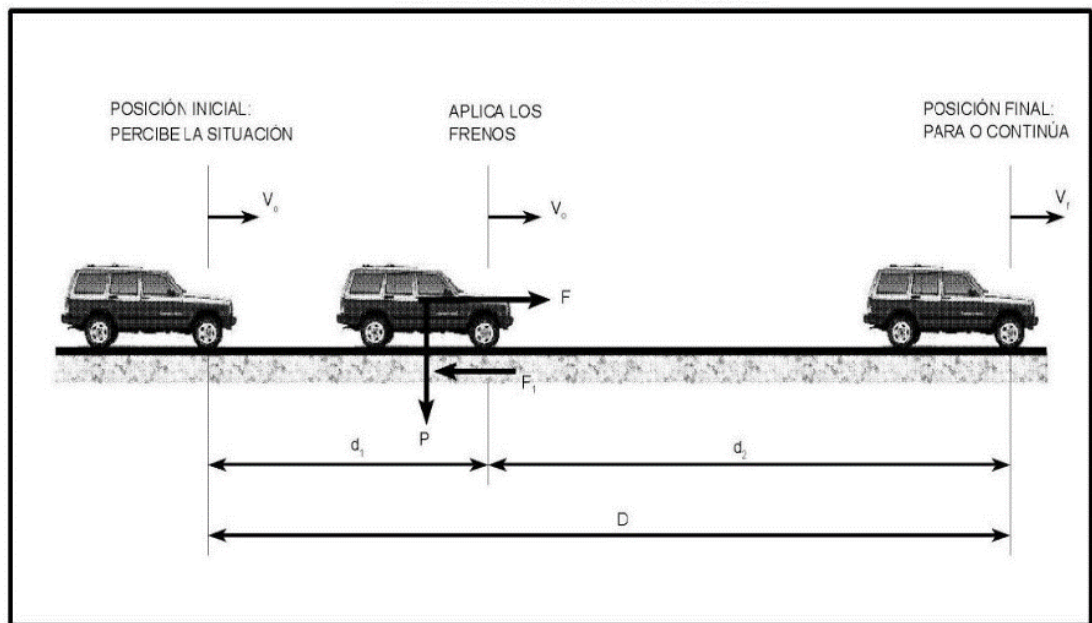
#### 3.3.1. Distancia de visibilidad.

Es la longitud máxima de la carretera que puede un conductor ver continuamente delante de él cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son favorables.

Las tres consideraciones más importantes en la distancia de visibilidad para el diseño de vías son:

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

**Imagen 3. Distancia de visibilidad de parada.**



*Fuente: Componentes del Diseño Geométrico Manual SIECA, Cap. 4, pág. 24*

### **3.3.2. Distancia de visibilidad de parada.**

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

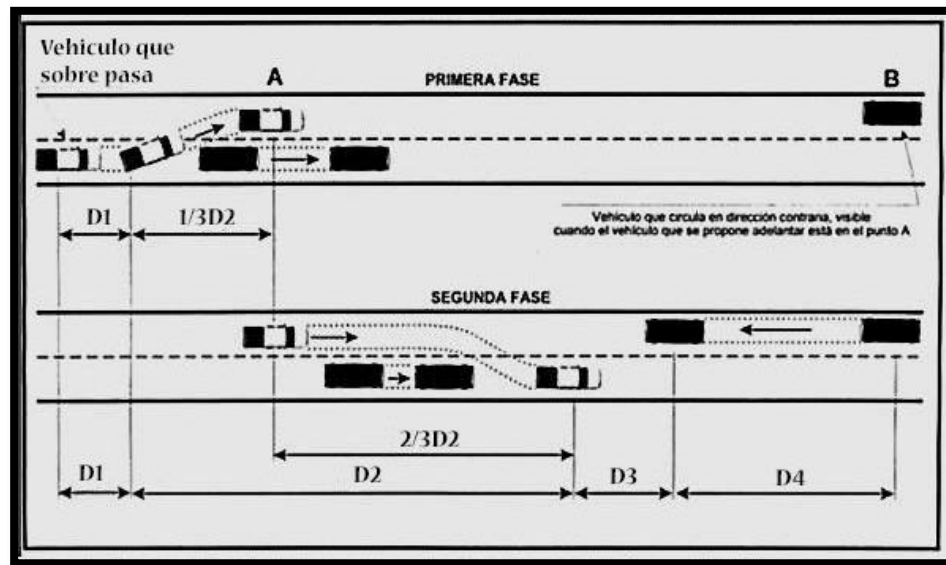
### **3.3.3. Distancia de visibilidad de adelantamiento.**

La distancia de visibilidad de adelantamiento se define como la mínima distancia de visibilidad requerida por el conductor de un vehículo para adelantar a otro vehículo que, a menor velocidad relativa, circula en su mismo carril y dirección, en condiciones cómodas y seguras, invadiendo para ello el carril contrario, pero sin afectar la velocidad del otro vehículo que se le acerca, el cual es visto por el conductor inmediatamente después de iniciar la maniobra de adelantamiento.

El conductor puede retornar a su carril si percibe, por la proximidad del vehículo opuesto, que no alcanza a realizar la maniobra completa de adelantamiento. Se hacen los siguientes supuestos simplificados para los propósitos del dimensionamiento de dicha distancia de visibilidad de adelantamiento:

- El vehículo que es rebasado viaja a una velocidad uniforme.
  - El vehículo que rebasa viaja a esta velocidad uniforme, mientras espera una oportunidad para rebasar.
  - Se toma en cuenta el tiempo de percepción y reacción del conductor que realiza las maniobras de adelantamiento.
  - Cuando el conductor está rebasando, acelera hasta alcanzar un promedio de velocidad de 15 kilómetros por hora más rápido que el otro vehículo que está siendo rebasado.
  - Debe existir una distancia de seguridad entre el vehículo que se aproxima en sentido contrario y el que efectúa la maniobra de adelantamiento.
  - El vehículo que viaja en sentido contrario y el que efectúa la maniobra de rebase van a la misma velocidad promedio.
  - Solamente un vehículo es rebasado en cada maniobra.
  - La velocidad del vehículo que es rebasado es la velocidad de marcha promedio a la capacidad de diseño de la vía.
- 
- Esta distancia de visibilidad para adelantamiento se diseña para carreteras de dos carriles de circulación, ya que esta situación no se presenta en carreteras divididas y no divididas de carriles múltiples. La distancia de visibilidad de adelantamiento o rebase es la sumatoria de las cuatro distancias separadas que se muestran en la **imagen 4**. Cada una se determina de acuerdo con las siguientes descripciones.

**Imagen 4.** Distancia de adelantamiento para carreteras de dos carriles



*Fuente: Componentes del Diseño Geométrico Manual SIECA, C a p . 4 , p á g . 27*

### 3.3.4. Distancia de visibilidad en curvas horizontales.

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

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

### 3.3.5. Criterios para medir la distancia visual.

#### Altura del ojo del conductor

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

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

**Tabla 7.** Distancia de visibilidad de parada y de decisión

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

*Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004, cap. 4-pág. 28*

### 3.4. Justificación de los Parámetros de diseño

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

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

De acuerdo con la clasificación de las carreteras regionales del Manual Centroamericano de Normas (SIECA), y basados en el **TPDA (343 vpd)** del tramo de carretera en estudio se denomina **Colectora rural (Ver tabla 14, pág.48)**.

#### 3.4.1. Velocidad de diseño

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

Tipo de área

- Rural
- Urbana

## Condiciones del terreno

- Plano
- Ondulado
- Montañoso

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

**Tabla 8. Normas para el diseño geométrico**

| Nº | DESCRIPCIÓN / PARAMETRO.                  | FORMA                  | UNIDAD.      | VALORES.             |
|----|-------------------------------------------|------------------------|--------------|----------------------|
| 1  | Clasificación Funcional.                  | <b>Colectora rural</b> |              |                      |
| 2  | Ancho del Derecho de Vía.                 | ADV                    | mt.          | 20.00                |
| 3  | Velocidad de Diseño.                      | VD                     | KPH          | 60.00                |
| 4  | Velocidad de Ruedo.                       | VR                     | KPH          | 55.00                |
| 5  | Vehículo de Proyecto.                     | Veh.                   | Tipo.        | C3                   |
| 6  | Radio de Curvatura Mínimo.                | R                      | mt.          | 123.25               |
| 7  | Grado de Curvatura Máximo.                | GC                     | G. Min. Seg. | 9°17'51"             |
| 8  | Número de Carriles de Rodamiento.         | Nc                     | Unid.        | 2.00                 |
| 9  | Ancho Carril de Rodamiento.               | AC                     | mt.          | 3.30                 |
| 10 | Ancho Total de Rodamiento.                | AR                     | mt.          | 6.30                 |
| 11 | Ancho de Hombros.                         | Hm                     | mt.          | 0.60                 |
| 12 | Ancho de Corona.                          | AC                     | mt.          | 8.10                 |
| 13 | Pendiente Transversal.(Bombeo)            | B                      | %            | 3.00                 |
| 14 | Pendiente del Hombro.                     | Hm%                    | %            | 4.00                 |
| 15 | Sobreelevación Máxima (Peralte).          | emax.                  | %            | 8.00                 |
| 16 | Pendiente Longitudinal Máxima.            | Pend%                  | %            | 5.00                 |
| 17 | Sobreancho Mínimo en Curvas Horizontales. | Smin                   | mt.          | 0.60                 |
| 18 | Coeficiente de Fricción Lateral.          | f1                     | S/U          | 0.15                 |
| 19 | Coeficiente de Fricción Longitudinal.     | f2                     | S/U          | 0.34                 |
| 20 | Longitud Mínima de Curva Vertical.        | CVmin                  | mt.          | 50.00                |
| 21 | Distancia de Visibilidad de Parada (min)  | DVP                    | mt.          | 75.00                |
| 22 | Distancia de Visibilidad de Rebase.       | DVR                    | mt.          | 410.00               |
| 23 | Distancia de Visibilidad Curv. Horiz.     | DVCH                   | mt.          | **                   |
| 24 | Superficie-carpeta de Rodamiento.         | Srod.                  | Tipo.        | Adoquín de Concreto. |
| 25 | Carga de Diseño.                          | Cd                     |              | HS-20-44+25%         |

**Fuente:** Manual para la revisión de diseños geométricos, MTI 2008. Pág. 142.

\*\* Sera determinada para cada curva horizontal proyectada.

### 3.5. Memoria de cálculo de las curvas horizontales.

**Tabla 9.** Coeficiente de fricción lateral

| Velocidad<br>De Diseño (Km/h) | Factor de<br>Fricción Máxima |
|-------------------------------|------------------------------|
| 30                            | 0.17                         |
| 40                            | 0.17                         |
| 50                            | 0.16                         |
| 60                            | 0.15                         |
| 70                            | 0.14                         |
| 80                            | 0.14                         |
| 90                            | 0.13                         |
| 100                           | 0.12                         |
| 110                           | 0.11                         |
| 120                           | 0.09                         |

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

**Terreno tipo:** llano o plano

**Velocidad de diseño=** 60 kph

**Peralte  $e_{\text{máx}}$** = 8%

**Factor de fricción máxima  $f=0.15$**

 **Radio mínimo de curvatura del proyecto**

**Ec. 1**

$$R_{\min} = \frac{v^2}{127 * (e_{\text{máx}} + f_{\text{máx}})}$$

$$R_{\min} = \frac{(60\text{kph})^2}{127 * (0.08 + 0.15)}$$

$$R_{\min} = 123.25 \text{ m}$$

 **Grado máximo de curvatura del proyecto**

**Ec. 2**

$$Gc_{\text{máx}} = \frac{1,145.92}{R_{\min}}$$

$$Gc_{\text{máx}} = \frac{1,145.92}{123.25 \text{ m}}$$

$$Gc_{\text{máx}} = 9^{\circ}17'51''$$

## Ejemplo de Diseño de la curva horizontal C-1

**Tabla 10.** Datos para cálculo de la curva C-1

| Datos de la curva C-1           |                  |
|---------------------------------|------------------|
| Ángulo de deflexión $\Delta$    | 4° 38' 1.81" izq |
| Coeficiente fricción lateral    | f= 0.15          |
| Peralte para curva C-1          | e= 3%            |
| Grado de curvatura $G^{\circ}c$ | 1                |
| Velocidad de Diseño             | V=60 kph         |
| Estacionamiento EST. PI         | 0 + 406.46       |

*Fuente: Elaboración propia*

### 1. Cálculo del radio de diseño de la curva circular C-1

**Ec. 3** 
$$R = \frac{1,145.92}{G^{\circ}c}$$
 
$$R = \frac{1,145.92}{1^{\circ}}$$
 
$$R = 1,145.92m$$

$$R_{min} < R$$
 
$$123.25 < 1,145.92$$
 
$$Ok$$

### 2. Cálculo de la Sub tangente

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

$$ST = 46.364m$$

### 3. Cálculo de longitud de la curva de diseño

**Ec. 5** 
$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$
 
$$Lc = \frac{3.1416 * 1,145.92 * 4^{\circ}38'1.81''}{180}$$

$$Lc = 92.677m$$

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

**Ec. 6**

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

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

$$Est. PC = 0 + 360.096$$

**Ec. 7**

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

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

$$Est. PT = 0 + 452.77$$

**Cálculo de la Cuerda Máxima**

**Ec. 8**

$$Cmax = 2(R * sen\left(\frac{\Delta}{2}\right))$$

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

$$Cmax = 92.652m$$

**5. Cálculo de la Externa**

**Ec. 9**

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

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

$$Ec = 0.938m$$

**6. Cálculo de la Ordenada Media**

**Ec. 10**

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

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

$$M = 0.937m$$

## 7. Cálculo del sobre ancho

Ec. 11

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

Donde:

n: número de carriles

L: distancia entre los ejes del vehículo de diseño C3= 7.90m

V: velocidad de diseño

R: radio de diseño de la curva

$$Sa = 2 \left( 1,145.92 - \sqrt{1,145.92^2 - 7.90^2} \right) + 0.10 \frac{60}{\sqrt{1,145.92}}$$

$$Sa = 0.23m$$

$$0.30 < 0.60 \text{ no es necesario Sobre ancho}$$

## 8. Calculo longitud mínima de la espiral

Ec. 12

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

Ec. 13

$$m = 1.5625V + 75$$

Donde:

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

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

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

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

$$m = 168.75m$$

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

$$Lt_{min} = 16.70m$$

$Lt_{min} = 16.70m$ , se propondrá una distancia  $L_T = 30m$

### 9. Cálculo de la distancia N ó transición de bombeo

|        |                 |                            |              |
|--------|-----------------|----------------------------|--------------|
| Ec. 14 | $N = a * b * m$ | $N = 3.30 * 0.03 * 168.75$ | $N = 16.70m$ |
|--------|-----------------|----------------------------|--------------|

|                    |
|--------------------|
| $N \approx 17.00m$ |
|--------------------|

### 10. Cálculo de estacionamiento para el peralte

|        |                                           |
|--------|-------------------------------------------|
| Ec. 15 | $Est. N = Est. PC - (\frac{2}{3} Lt + N)$ |
|--------|-------------------------------------------|

|                                                  |                       |
|--------------------------------------------------|-----------------------|
| $Est. N = (360.10) - ((\frac{2}{3} 30) + 17.00)$ | $Est. N = 0 + 397.10$ |
|--------------------------------------------------|-----------------------|

|        |                                        |
|--------|----------------------------------------|
| Ec. 16 | $Est. ET = Est. PC - (\frac{2}{3} Lt)$ |
|--------|----------------------------------------|

|                                          |                        |
|------------------------------------------|------------------------|
| $Est. ET = (452.77) - ((\frac{2}{3} 30)$ | $Est. ET = 0 + 432.77$ |
|------------------------------------------|------------------------|

|        |                         |
|--------|-------------------------|
| Ec. 17 | $Est. N2 = Est. ET + N$ |
|--------|-------------------------|

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| $Est. N2 = 432.77 + 17.00$ | $Est. N2 = 0 + 449.77$ |
|----------------------------|------------------------|

|        |                                         |
|--------|-----------------------------------------|
| Ec. 18 | $Est. D = Est. PC + (\frac{1}{3})(L_T)$ |
|--------|-----------------------------------------|

|                                       |                       |
|---------------------------------------|-----------------------|
| $Est. D = 360.10 + (\frac{1}{3})(30)$ | $Est. D = 0 + 370.10$ |
|---------------------------------------|-----------------------|

|        |                                          |
|--------|------------------------------------------|
| Ec. 19 | $Est. D' = Est. PT - (\frac{1}{3})(L_T)$ |
|--------|------------------------------------------|

|                                        |                        |
|----------------------------------------|------------------------|
| $Est. D' = 452.77 - (\frac{1}{3})(30)$ | $Est. D' = 0 + 442.77$ |
|----------------------------------------|------------------------|

**Ec. 20**

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

$$Est. N3 = 452.77 + \left( \left( \frac{2}{3} * 30 \right) - 17.00 \right)$$

$$Est. N3 = 0 + 455.77$$

**Ec. 21**

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

$$Est. TT = 455.77 + 17.00$$

$$Est. TT = 0 + 472.77$$

**Ec. 22**

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

$$Est. N4 = 472.77 + 17.00$$

$$Est. N4 = 0 + 489.77$$

- Para observar los resultados obtenidos del resto de curvas horizontales haciendo uso del software Civilcad (ver anexo, Tabla 46, pág. IV)
- Para observar los datos de entrada de curvas horizontales haciendo uso del software Civilcad (ver anexo, Imagen 14, pág. VI)

### 3.6. Diseño del alineamiento vertical.

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

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

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

### **3.6.1. Generalidades.**

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

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

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

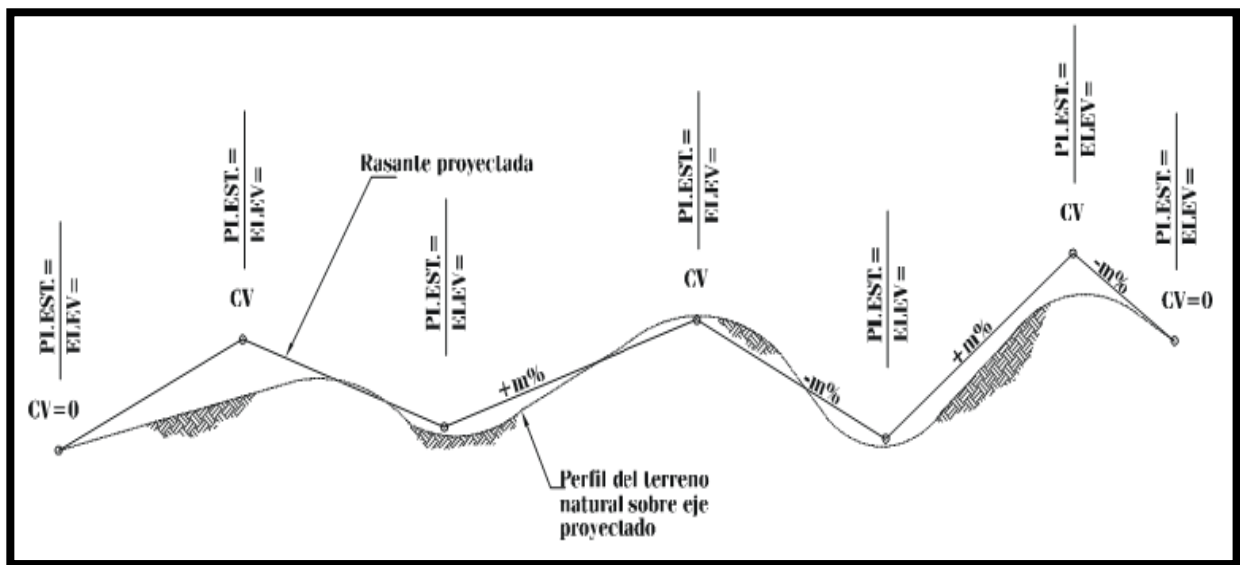
Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes con un signo positivo (+), y las bajadas con signo negativo (-), expresadas usualmente en porcentajes. Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía en los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

### 3.6.2. Rasante y pendientes.

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

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

**Imagen 5.** Rasante proyectada sobre perfil del terreno natural



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

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

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

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

**Ec. 23**

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

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

### **3.6.3. Carriles de ascenso.**

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

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

### 3.6.4. Tipos de curvas verticales.

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Se deberá de tratar el empleo de una pendiente uniforme durante el cambio de una pendiente a otra. Si a la diferencia algebraica de las pendientes es menor de 0.5 % no es necesario su empleo. Existen básicamente dos tipos de curvas verticales: en cresta o convexas y en columpio o cóncavas (Las primeras son cóncavas hacia abajo y las segundas hacia arriba). Las primeras se diseñan de acuerdo con la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño.

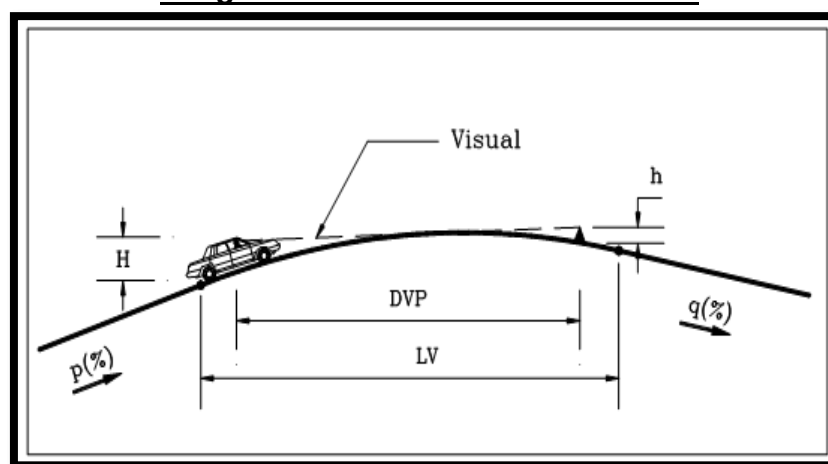
### 3.6.5. Tipos de curvas verticales.

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

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

### 3.6.6. Longitud de curva cuando esta es mayor que distancia de visibilidad.

**Imagen 6.** Casos de curvas verticales



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

$$DVP = S, LV = L$$

En el primer caso  $L > S$

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

**Ec. 24**

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

**Donde:**

G: Diferencia algebraica de pendientes (%)

S: Distancia de visibilidad

$h_1$ : Altura del ojo del conductor

$h_2$ : Altura del objeto

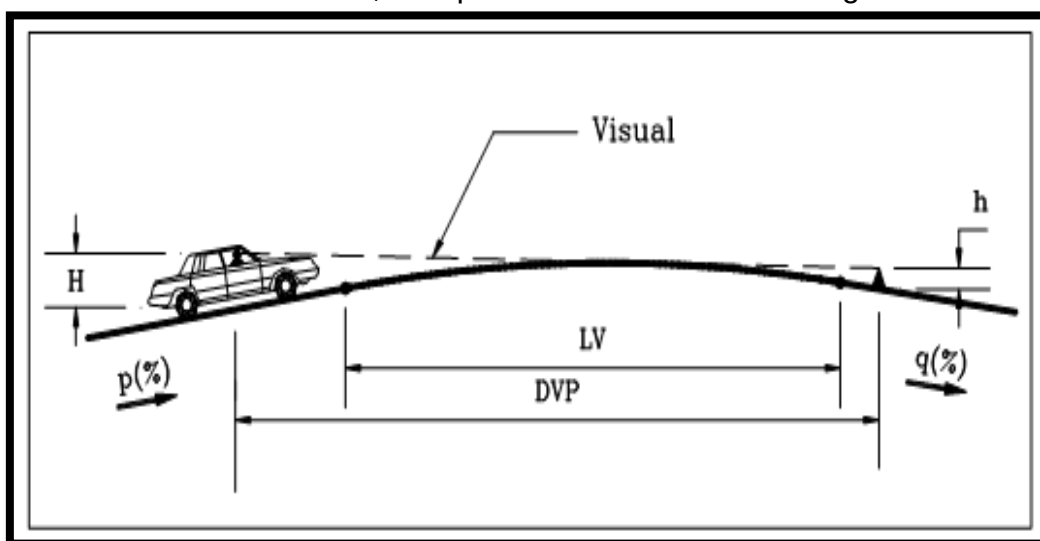
Reemplazando en esta fórmula la altura del ojo del conductor  $h_1 = 1.07$  metros y del objeto  $h_2 = 0.15$  metros. La ecuación para diseño para la longitud mínima de la curva vertical es la siguiente:

**Ec. 25**

$$L = \frac{G * S^2}{425}$$

### 3.6.7. Longitud de curva es menor que distancia de visibilidad.

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



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

**Ec. 26**

$$L = \frac{2s - 425}{G}$$

Al comparar las dos ecuaciones obtenidas

**Ec. 27**

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

 $S > L$ **Ec. 28**

$$L = \frac{G * S^2}{425}$$

 $S > L$ 

Se puede observar en la expresión  $L = 2 S - 404/G$ , para valores pequeños de G y S la longitud es negativa mientras que, para la segunda,  $L = GS^2/425$ , siempre serán positivos y si además se realiza una tabla de valores de **LV** para las diferentes velocidades y diferentes valores de G los resultados obtenidos con la segunda expresión siempre serán mayores. Con lo anterior se puede concluir que la expresión para  $S < L$  es la que se debe emplear.

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

**Ec. 29**

$$Lv = K * G$$

$Lv = K*G$  en esta lógica de simplificación, si la fórmula de cálculo es  $L = GS^2/425$  el valor de K sería  $K = S^2/425$  y así sucesivamente para las demás ecuaciones.

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

**Tabla 11.** Valores de K para curvas verticales.

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

\* Valores redondeados

**Fuente:** Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004, cap.4, pág. 69.

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

### 3.6.8. Criterios para determinar longitud de curva vertical en columpio.

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

La visibilidad diurna no representa ningún problema ya que todo conductor ubicado dentro de una curva vertical cóncava siempre tendrá la visibilidad necesaria para su seguridad a menos que dentro de la curva vertical este ubicada una curva horizontal.

En vías urbanas donde existe iluminación artificial la longitud mínima de la curva vertical se rige más bien por la comodidad en la marcha y la estética.

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

- El primero y a emplear en diseño, se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo o de seguridad. Este se aplica en curvas de cresta y cumpio la longitud de la curva debe ser tal, que toda la curva de distancia de visibilidad (L) es la longitud mínima de la curva en m y la V velocidad de proyecto en km/h.
- La siguiente toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical.
- El tercero considera requerimientos de drenaje.
- El último se basa en consideraciones estéticas.

Las expresiones que se obtienen a continuación son para la distancia de visibilidad de parada ya que, para la distancia de visibilidad de adelantamiento, no se requiere cálculo, ya que es posible observar las luces del vehículo que se desplaza en sentido contrario.

**Distancia de Visibilidad de parada > Longitud Vertical.**

**L<sub>v</sub>:** Longitud curva vertical en metros

**DVP:** Distancia de visibilidad de parada requerida en metros

**P:** Pendiente inicial en porcentaje

**q:** Pendiente final en porcentaje

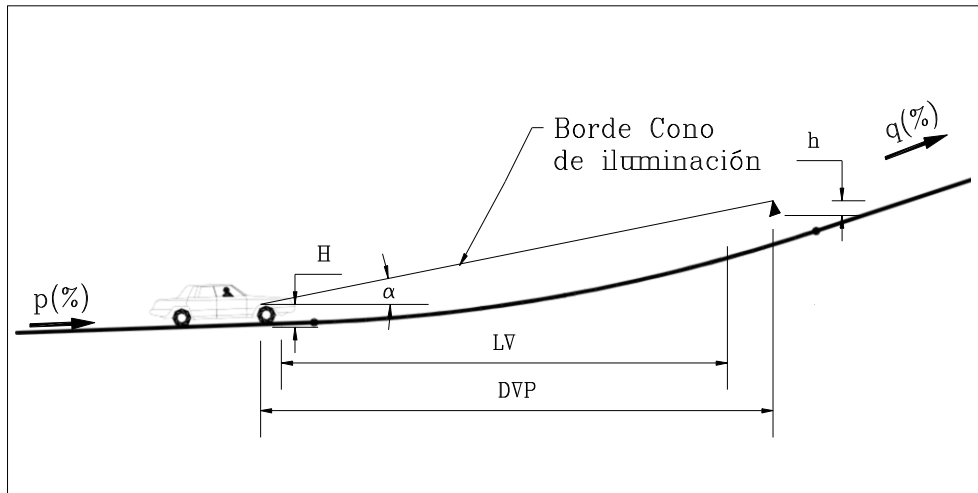
**G:** Diferencia algebraica de pendientes en porcentaje

**H:** Altura de las luces delanteras del vehículo = 0.60 m

**h:** Altura del obstáculo = 0.15 m

**α:** Angulo formado por el borde del cono de iluminación y el eje prolongado del faro = 1°

**Imagen 7. Visibilidad en curva vertical cóncava con  $DVP > L_v$**



**Fuente:** *Diseño Geométrico de vías*, Jhon Agudelo Ospina 2002, pág. 384.  $DVP = S$ ,  $L_v = L$

La expresión obtenida para la longitud vertical es la siguiente:

|               |                                         |
|---------------|-----------------------------------------|
| <b>Ec. 30</b> | $L = \frac{G * DVP^2}{120 + 3.5 * DVP}$ |
|---------------|-----------------------------------------|

### 3.7. Elementos de la curva vertical.

En la Imagen 8, pág. 39. se indican los diferentes elementos que conforman una curva vertical

**PCV:** Principio de curva vertical.

**PIV:** Punto de intersección vertical

**PTV:** Principio de tangente vertical. Final de la curva vertical

**E:** Externa. Distancia vertical entre el PIV y la curva.

**L<sub>v</sub>:** Longitud de curva vertical

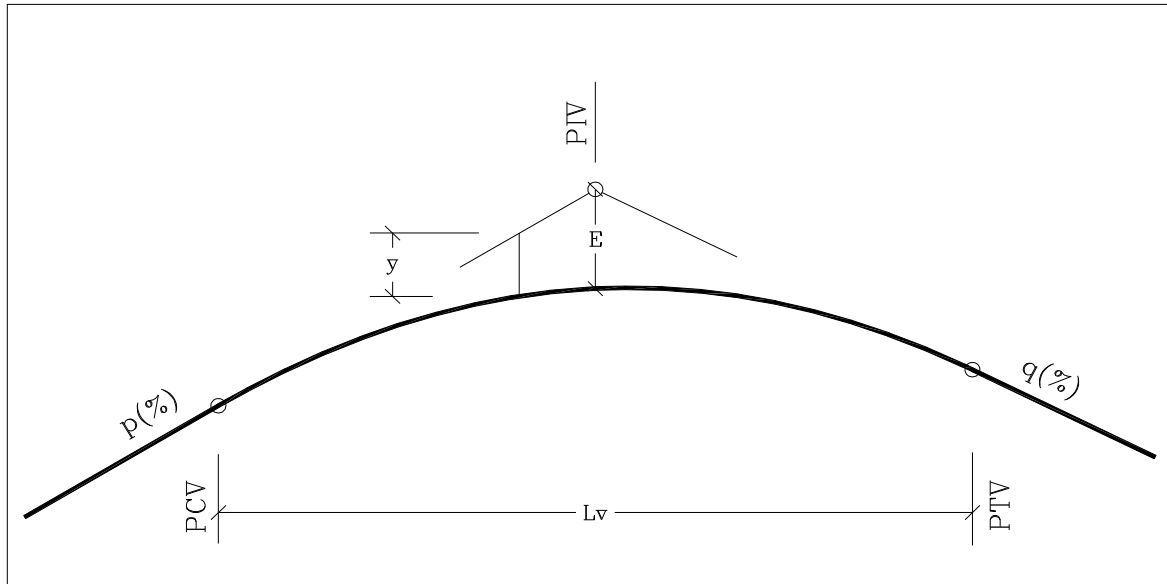
**p(%):** Pendiente inicial o de llegada expresada en porcentaje.

**q(%):** Pendiente final o de salida expresada en porcentaje.

**Y:** Corrección vertical

**G:** Diferencia algebraica de pendientes =  $q - p$

### Imagen 8. Elementos de una curva vertical



**Fuente:** *Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina 2002, pág. 402.*

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

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

**Ec. 31**

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

**Ec. 32**

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

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

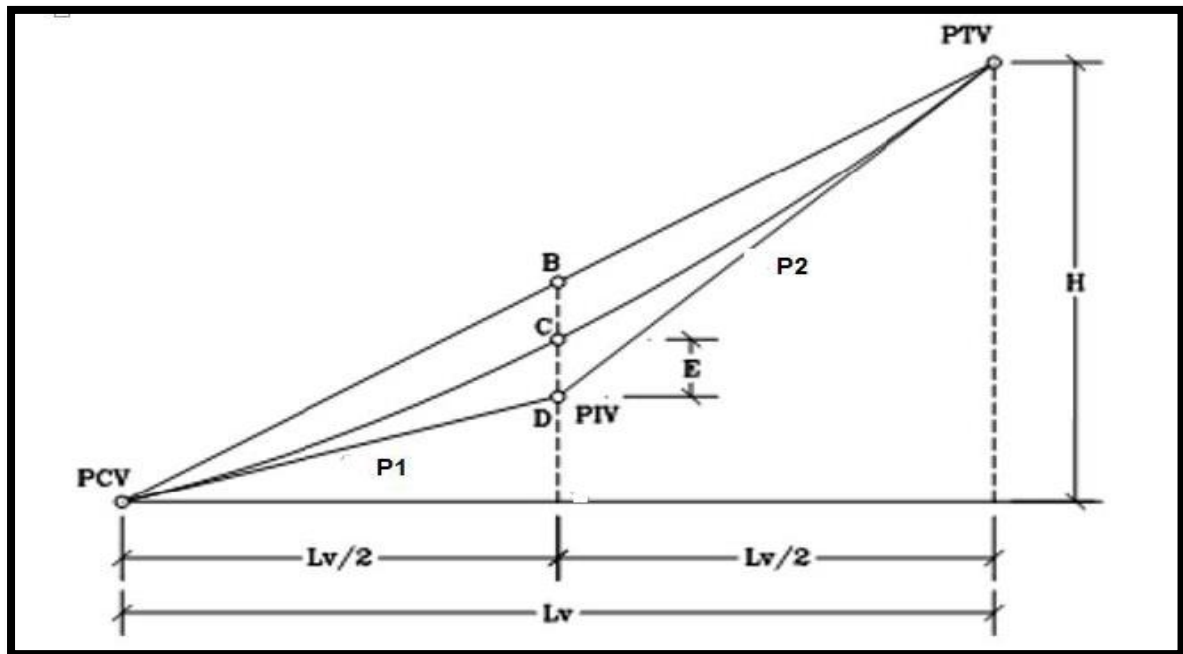
1. La primera desde el PCV hasta el PTV
2. La segunda desde el PCV hasta el PIV y luego del PTV al PIV.
3. La tercera desde el PTV al PCV.

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

### 3.7.1. Curvas verticales simétricas.

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

**Imagen 9. Elementos de una curva vertical simétrica**



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

### Ecuaciones para el cálculo de los estacionamientos

**Ec. 33**

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

**Ec. 34**

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

### Ecuación para el cálculo de la externa

**Ec. 35**

$$E = \frac{G * Lv}{8}$$

**Ec. 36**

$$E = \frac{(P2 - P1) * Lv}{800}$$

si P1 y P2 estan en porcentajes

### Ecuaciones para el cálculo de las elevaciones de los estacionamientos

**Ec. 37**

$$Elev.PCV = Elev.PIV \pm P1 \left( \frac{Lv}{2} \right)$$

**Ec. 38**

$$Elev.PTV = Elev.PIV \pm P2 \left( \frac{Lv}{2} \right)$$

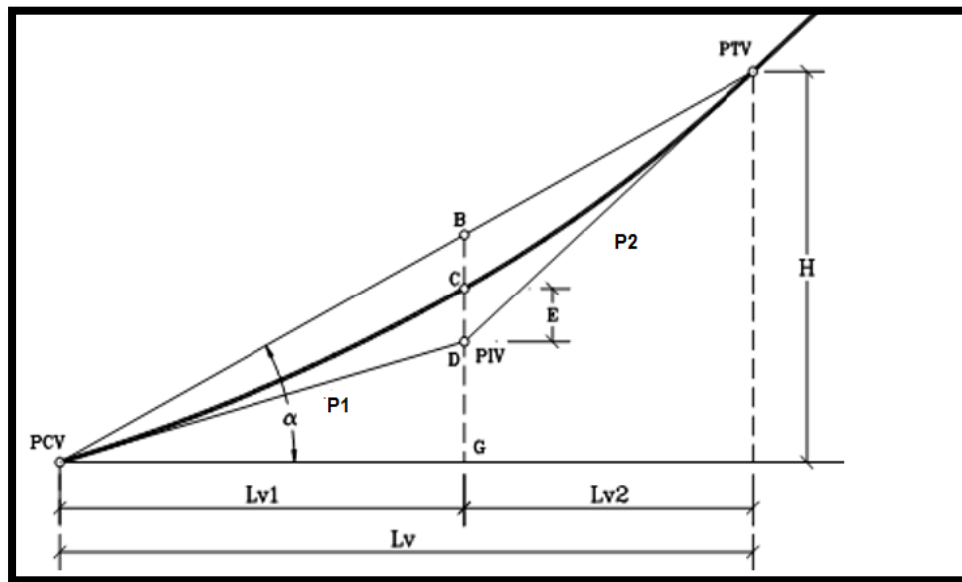
#### 3.7.2. Curvas verticales asimétricas.

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

Este tipo de curva es utilizado cuando alguna de las tangentes de la curva está restringida por algún motivo o requiere que la curva se ajuste a una superficie existente, que solo la curva asimétrica podría satisfacer esta necesidad.

La longitud total de la curva será  $L1 + L2$  y se trabaja cada longitud independiente.

**Imagen 10.** Elementos de una curva vertical asimétrica



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

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

$E = (L_{v1} * L_{v2} * G) / 2 L_v$ , donde  $G$  es la diferencia algebraica de pendientes en porcentajes.

### 3.8. Criterios para el diseño del alineamiento vertical.

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

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

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

### **3.8.1. Criterios para el diseño vertical según AASHTO.**

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

- Las curvas verticales en columpio deben evitarse en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.

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

### 3.9. Memoria de cálculo de las curvas verticales.

**Tabla 12. Coeficientes de fricción longitudinal.**

| Velocidad<br>de diseño | Coeficiente<br>de fricción Long. |
|------------------------|----------------------------------|
| Km/h                   | f                                |
| 30                     | 0.40                             |
| 40                     | 0.38                             |
| 50                     | 0.35                             |
| 60                     | 0.33                             |
| 70                     | 0.31                             |
| 80                     | 0.30                             |
| 90                     | 0.30                             |
| 100                    | 0.29                             |
| 110                    | 0.28                             |

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

**Tabla 13.** Datos para diseño de curva vertical 1

| Curva Vertical CV-1                |          |
|------------------------------------|----------|
| Pendiente entrada P1 %             | 0.816    |
| Pendiente entrada P2 %             | -1.195   |
| Coefficiente fricción longitudinal | 0.33     |
| Velocidad de Diseño                | 60kph    |
| Estacionamiento EST.PIV            | 0+482.39 |
| Estacionamiento ELEV. PIV          | 482.873  |

*Fuente: Sustentantes*

### 1. Diferencia algebraica de las pendientes

**Ec. 39**

$$G = (P1 - P2)$$

$$G = (0.816) - (-1.195)$$

$$G = 2.011$$

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

### 2. Cálculo de la distancia de visibilidad de parada

La distancia de visibilidad de parada en su primer componente, D1, se calcula involucrando la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, mediante la siguiente expresión matemática:

**Ec. 40**

$$D1 = 0.278 * V * t$$

**Donde:** v = Velocidad diseño, kilómetros por hora.

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

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

$$D1 = 41.70m$$

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

**Ec. 41**

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

**v** = velocidad inicial, 60 kilómetros por hora

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

**G**= diferencia algebraica de las pendientes

**Ec. 42**

$$DVP = D1 + D2$$

$$DVP = (0.278 * 60kph * 2.5seg) + \frac{(60kph)^2}{254 * (0.33 + 0.02011)}$$

$$DVP = 82.48m$$

### 3. Cálculo de la longitud mínima de la curva vertical

$$LV = G * K$$

$$LV = 2.011 * 14$$

$$LV = 28.15m$$

**K** = tasa de curvatura vertical (14)

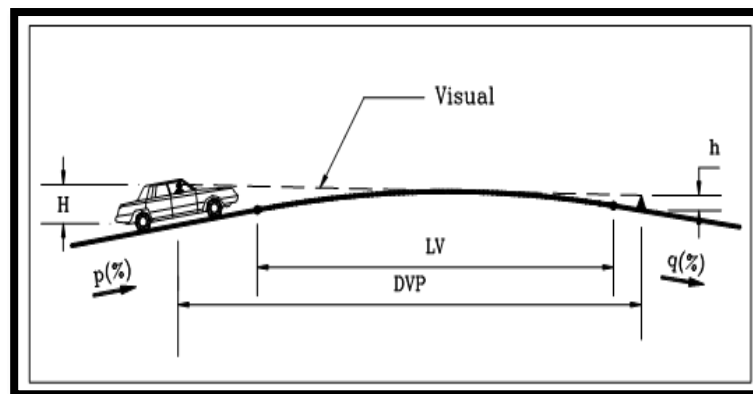
**G**= diferencia algebraica de las pendientes

$$LV = 28.15m$$

<

$$DVP = 80.48m$$

Cuando  $L_v < DVP$



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

Se propone una longitud de curva ( $L_v$ )= 30 m

#### 4. Cálculo de los Estacionamientos

$$Est. PIV = 0 + 467.22$$

La curva que se diseñará es simétrica, por tanto:

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

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

$$EST. PCV = 0 + 467.22 - \frac{30}{2}$$

$$EST. PTV = 0 + 467.22 + \frac{30}{2}$$

$$EST. PCV = 0+452.22$$

$$EST. PTV = 0+482.22$$

#### 5. Cálculo de las elevaciones

$$Elev. PIV = 482.81 \text{msnm}$$

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

$$Elev. PCV = 482.81 - (0.00816) * \frac{30}{2}$$

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

$$Elev. PCV = 482.69$$

$$Elev. PTV = 482.81 + (-0.01195) * \frac{30}{2}$$

$$Elev. PTV = 482.63$$

#### 6. Cálculo de las ordenadas

Los resultados serán iguales ya que la curva es simétrica

**Externa:**

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

$$E = \frac{(-0.01195 - (0.00816))}{2(30)} * 15 * 15$$

$$E = 0.0754m$$

- Para observar los resultados obtenidos del resto de curvas verticales haciendo uso del software Civilcad (ver anexo, Tabla 47, pág. V)
- Para observar los datos de entrada de curvas verticales haciendo uso del software Civilcad (ver anexo, Imagen 15, pág. VII)

## **CAPÍTULO IV**

### **ESTUDIO DE TRÁNSITO**

#### **4.1 Generalidades.**

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

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

#### **4.2. Clasificación de la red vial en Nicaragua**

En el año 1940, se crea en Nicaragua el Departamento de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas (Hoy Ministerio de Transporte e Infraestructura). En ese entonces existían 201 Km de carreteras, de los cuales 52 Km. eran pavimentadas. Este departamento se convirtió en el organismo oficial responsable a nivel nacional de la construcción y mantenimiento de las carreteras del país y sus obras complementarias.

En Nicaragua, los Caminos y Carreteras se clasifican de acuerdo a:

1. Tipo de Construcción
2. Por la División Política del País
3. Por su Funcionalidad

***Troncal Principal:*** Sirven como corredor para viajes a larga distancia como tráfico inter-departamental o Inter-regional. Tienen un volumen de tráfico de más de 1000 vehículos por día, y la velocidad de operación es de 100 Kph.

***Troncal Secundaria:*** Une centros urbanos con poblaciones entre los 10,000 y 50,000 habitantes. El volumen de tráfico es de 500 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 a 60 kph.

**Colectora Principal:** Une centros urbanos con 4,000 a 10,000 habitantes. Su volumen de tráfico es de 250 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 a 60 kph.

**Colectora Secundaria:** Une principalmente zonas con poblaciones inferiores a los 400 habitantes con un tipo de camino superior. Su volumen de tráfico es de 50 a 80 vehículos por día y su velocidad de operación es de 30 a 60 kph.

**Caminos Vecinales:** Conectan fincas y poblados con las carreteras de las categorías anteriores. Esta clasificación es de tipo administrativo y no tiene relación con las normas y estándares de diseño de ingeniería, los cuales están relacionados al volumen de tránsito, uso del suelo y a la topografía del terreno.

Tiene acceso a zonas poblacionales inferiores a los 300 habitantes. Su volumen de tráfico es menor de 50 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 kph.

**Tabla 14. Clasificación de las carreteras según TPDA**

| Clasificación              | TPDA                |
|----------------------------|---------------------|
| AR: Autopista Regional     | >20,000.00          |
| TS: Troncales Sub-Urbanas  | 10,000.00-20,000.00 |
| TR: Troncales Rurales      | 3,000.00-10,000.00  |
| CS: Colectoras Sub-Urbanas | 500-3,000.00        |
| CR: Colectora Rurales      | <500                |

**Fuente:** Normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2004.

#### 4.3. Recopilación de datos.

Se realizó por medio de conteo vehicular, que consiste en medir el volumen de tráfico que transita durante un período de tiempo equivalente a 12 horas diurnas.

La recolección de datos se realizó durante 4 días consecutivos durante 12 horas, a fin de evaluar las condiciones de tráfico normales, basándonos para esto en la

tipología y descripción vehicular que brinda la Revista Anuario de Tráfico del Ministerio de Transporte 2017.

Los datos de Tráfico Promedio Diario Anual, (TPDA) así como los factores de ajuste estacional, el número promedio de ejes y otros parámetros, fueron obtenidos de los datos de campo y de los cálculos de gabinete, la estación de Conteo Vehicular fue ubicada en una zona con adecuada visibilidad y con amplitud en los hombros, logrando captar el cien por ciento de los vehículos en ambos sentidos de la vía. Los resultados del conteo y clasificación por tipo de vehículo (12.0 horas) del tramo en estudio se muestran en los anexos. **(Ver Tablas 48 a 51, págs. VII a IX).**

#### **4.3.1. Tipos de vehículos.**

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

##### **4.3.1.1. Motocicletas.**

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

##### **4.3.1.2. Vehículos Livianos.**

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

##### **4.3.1.3. Vehículos Pesados de Pasajeros.**

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

#### **4.3.1.4. Vehículos Pesados de Carga.**

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

#### **4.3.2. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.**

La diversidad de vehículos que circulan sobre un pavimento durante su periodo de diseño trae como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, con diferentes distancias entre ejes, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura. Se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de sus ejes de la forma que se muestra en el diagrama de cargas permisibles. **(Ver Anexo, Tablas 52 y 53, pág. IX y X).**

#### **4.4. Procesamiento de información.**

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

#### **4.5 Recopilación de la información.**

Se realizó la ubicación de la estación de control, a fin de ejecutar los conteos de volumen de tráfico vehicular, con la finalidad de determinar el volumen vehicular en un punto específico de la vía. La estación de conteo se ubicó en la estación 0+000 del tramo en estudio que permitió captar el 100% del tráfico en el tramo en estudio. **(Ver Imagen 11)**

**Imagen 11.** Ubicación del punto de conteo vehicular Est.0+000



*Fuente: Elaboración propia, Google Earth.*

#### **4.6 Procesamiento de datos.**

La tabulación de la información corresponde directamente al trabajo de gabinete, luego de haberse realizado el trabajo de campo, siendo este procesado en el Software Microsoft Excel, mediante hojas de cálculo.

De la información recogida de los conteos, se obtuvo el volumen de tráfico en el tramo de estudio por día y tipo de vehículo.

**(En anexos tablas 48 - 51, pág. VII-IX)** se muestran los conteos de tránsito, composición vehicular; así como el promedio del período de evaluación en consolidado para ambos sentidos del tramo en estudio.

##### **4. 6. 1 Resumen del aforo vehicular.**

Para obtener resultados adecuados, se contó y clasificó el cien por ciento de los vehículos que circularon en ambas direcciones de la estación de conteo y clasificación vehicular, dicho conteo se realizó durante el mes de abril del año 2019 del sábado 27 al martes 30.

Al finalizar el conteo de tránsito de 4 días consecutivos durante 12 horas en la Est 0+000 (Inicio del tramo) y posteriormente se realizó el consolidado en Microsoft Excel, donde pudimos tener una perspectiva amplia de cómo se comporta el tránsito, obteniendo un Trafico Promedio Diurno Semanal **TPD de 264 vehículos**.

Para obtener el Tráfico Promedio Diurno (TPD) fue necesario aplicar la **ecuación 43**:

$$\text{Ec. 43} \quad \text{TPD} = \frac{\text{Total Diurno}}{4\text{días}}$$

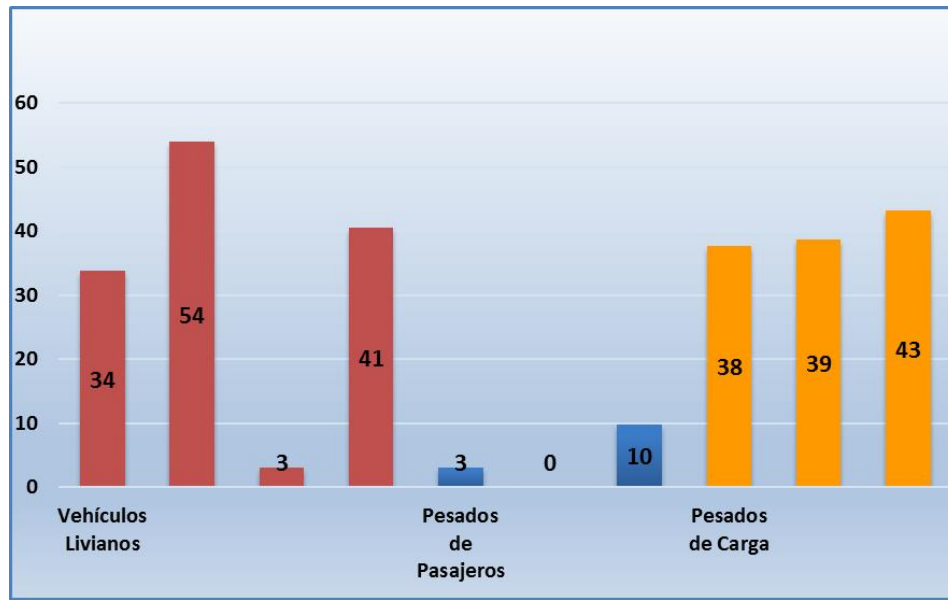
**Tabla 15. Tráfico Promedio Diurno (TPD)**

| ESTACION: FRICCIONES Est: (0+000) |                    |       |      |     |                      |     |                  |     |     |            |
|-----------------------------------|--------------------|-------|------|-----|----------------------|-----|------------------|-----|-----|------------|
| Días                              | Vehículos Livianos |       |      |     | Pesados de Pasajeros |     | Pesados de Carga |     |     | TOTAL      |
|                                   | Motos              | Autos | Jeep | Cta | Mbus                 | Bus | Liv C2           | C2  | C3  |            |
| <b>Sábado</b>                     | 46                 | 74    | 6    | 34  | 0                    | 12  | 53               | 45  | 30  | 300        |
| <b>Domingo</b>                    | 28                 | 50    | 0    | 42  | 0                    | 3   | 30               | 20  | 32  | 205        |
| <b>Lunes</b>                      | 34                 | 39    | 3    | 33  | 0                    | 12  | 41               | 62  | 40  | 264        |
| <b>Martes</b>                     | 27                 | 53    | 3    | 53  | 12                   | 12  | 27               | 28  | 71  | 286        |
| <b>Total</b>                      | 135                | 216   | 12   | 162 | 12                   | 39  | 151              | 155 | 173 | 1055       |
| <b>TPD(Vehículos/12 hrs)</b>      | 34                 | 54    | 3    | 41  | 3                    | 10  | 38               | 39  | 43  | <b>264</b> |

*Fuente: Elaboración propia*

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

**Gráfico-1. Comportamiento de la Composición del Tránsito Promedio Diurno.**



*Fuente: Elaboración propia.*

En el **Gráfico-2** se muestra el comportamiento del tránsito vehicular donde se aprecia que los días de mayor demanda son los días sábado y martes manteniendo los demás días un flujo vehicular constante, luego el día de menor demanda es el domingo.

**Gráfico-2. Comportamiento de Tránsito Promedio Diurno.**



*Fuente: Elaboración propia*

De Acuerdo con el Anuario de Tráfico 2017, para los subtramos NIC-03. Entrada Ent El Guayacan – Matagalpa, dependen de la estación permanente de conteo de mayor cobertura 101B NIC-3 (Zona Franca – La Garita), ya que tienen mucha similitud en cuanto a su composición vehicular y comportamiento de crecimiento.

La expansión de tránsito promedio diurno de 12.0 horas (TPD), se realizó en base a los factores de la estación (EMC N°.101B), se multiplicó el (TPD) por el factor día, Factor semana y luego se multiplicó por el factor expansión, para pasar de un tránsito promedio diario de 24.0 horas a tránsito promedio diario anual (TPDA). **(Ver Tabla 17, pág. 55).**

Por lo antes expuesto, se realizó el estudio del crecimiento histórico de esta estación y se usaron los factores correspondientes para determinar el Tránsito Promedio Diario Anual del tramo en estudio. **(Ver gráfico 4 – 7, pág. 60-62).**

**Tabla 16. Factores de Ajuste Utilizados Estación No. 101B**

| <b>Zona Franca-La Garita.</b>                                                                |                    |       |      |                     |                      |      |                  |            |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------|------|---------------------|----------------------|------|------------------|------------|------|------|
| <b>FACTORES DEL PRIMER CUATRIMESTRE . (ENERO -ABRIL) Anuario de tráfico del MTI AÑO 2017</b> |                    |       |      |                     |                      |      |                  |            |      |      |
| Factor / Tipo de Vehículo                                                                    | Vehículos Livianos |       |      |                     | Pesados de Pasajeros |      | Pesados de Carga |            |      | V.A. |
|                                                                                              | Moto               | Autos | Jeep | Camionetas Pick UPs | Micbus               | Bus  | C2 Liv           | C2 > 5 ton | C3   |      |
| Factor Día                                                                                   | 1.33               | 1.43  | 1.25 | 1.29                | 1.31                 | 1.57 | 1.33             | 1.43       | 1.39 | 1.00 |
| Factor Semana                                                                                | 0.94               | 0.99  | 0.96 | 0.93                | 0.97                 | 0.96 | 0.90             | 0.88       | 0.85 | 1.00 |
| Factor Expansión                                                                             | 1.00               | 1.03  | 0.98 | 0.99                | 1.00                 | 0.99 | 1.01             | 0.96       | 1.09 | 1.87 |

*Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico, (MTI 2017, pág.276).*

Para calcular el Tráfico Promedio Diario Anual se utilizó la **ecuación 44**:

$$\text{Ec. 44} \quad \text{TPDA} = \text{TPD}_{12\text{H}} * \text{Fd} * \text{Ft} * \text{Fs}$$

**Donde:**

**TPD<sub>12</sub>**:Tráfico promedio diurno 12 horas.

**Fd**: Factor día.

**Fs**: Factor semana.

**Ft**: Factor temporada (Expansión a TPDA)

**Tabla 17. Tránsito Promedio Diario Anual, Aplicando Factores de Ajuste**

| Estación: FRICCIONES (0+000) |                    |       |       |        |                      |      |                  |       |       |        |
|------------------------------|--------------------|-------|-------|--------|----------------------|------|------------------|-------|-------|--------|
| Factor / Tipo de Vehículo    | Vehículos Livianos |       |       |        | Pesados de Pasajeros |      | Pesados de Carga |       |       | Total  |
|                              | Moto               | Autos | Jeep  | Cta    | Micbus               | Bus  | Liv C2           | C2    | C3    |        |
| TPD                          | 34                 | 54    | 3     | 41     | 3                    | 10   | 38               | 39    | 43    | 264    |
| FACTOR DIA                   | 1.33               | 1.43  | 1.25  | 1.29   | 1.31                 | 1.57 | 1.33             | 1.43  | 1.39  |        |
| FACTOR SEMANA                | 0.94               | 0.99  | 0.96  | 0.93   | 0.97                 | 0.96 | 0.90             | 0.88  | 0.85  |        |
| FACTOR EXPANSION             | 1.00               | 1.03  | 0.98  | 0.99   | 1.00                 | 0.99 | 1.01             | 0.96  | 1.09  |        |
| TPDA VERANO                  | 43                 | 79    | 4     | 49     | 4                    | 15   | 46               | 47    | 56    | 343    |
| % TPDA                       | 12.5%              | 23.0% | 1.17% | 14.29% | 1.17%                | 4.4% | 13.411%          | 13.7% | 16.3% | 100.0% |
| % TPDA Veh. Livianos         | 51.0%              |       |       |        |                      |      |                  |       |       |        |
| % TPDA Veh. Pasajeros        | 5.5%               |       |       |        |                      |      |                  |       |       |        |
| % TPDA Veh. Pesados          | 43.4%              |       |       |        |                      |      |                  |       |       |        |

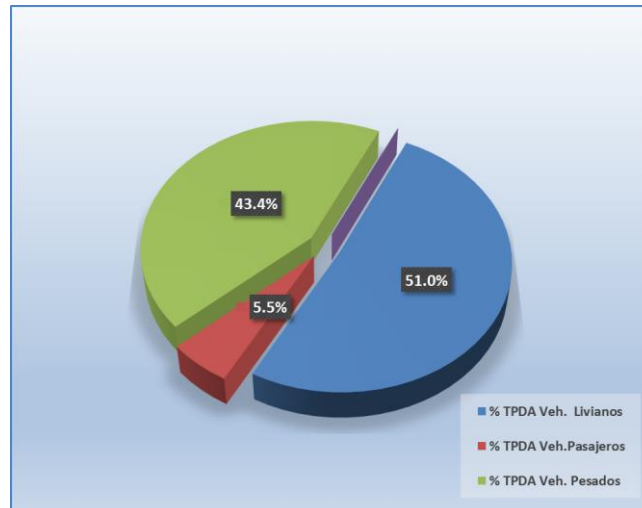
*Fuente: Elaboración propia*

El cálculo para el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) correspondiente al tramo de estudio resulta de **343** vehículos por día

#### 4. 7 Composición Vehicular.

A partir de los resultados obtenidos de clasificación vehicular de campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra la cual está conformada de la siguiente manera: vehículos livianos **51.0%**, vehículos pesados **43.4%**, de vehículos de pasajeros **5.5%**. (Ver Gráfico 3 a continuación)

**Gráfico3. Composición Vehicular del Tránsito Diario Anual (TPDA).**



*Fuente: Elaboración propia*

#### 4. 7. 1 Determinación de tasas de crecimiento

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

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del Producto interno Bruto (PIB) de los últimos 14 años (**Ver Tabla 18**), donde se aprecia el comportamiento histórico del PIB, desde el año 2004 al año 2017.

**Tabla 18. Registros históricos del PIB, TPDA y Población**

| AÑO  | TPDA   | PIB (Miles \$) | POB(miles) |
|------|--------|----------------|------------|
| 2004 | 14,252 | 5796.00        | 5380.5     |
| 2005 | -      | 6321.00        | 5450.4     |
| 2006 | -      | 6786.30        | 5638.0     |
| 2007 | 16,481 | 7458.10        | 5707.9     |
| 2008 | -      | 8491.40        | 5778.8     |
| 2009 | -      | 8380.70        | 5850.5     |
| 2010 | 16,122 | 8741.30        | 5923.1     |
| 2011 | 17,028 | 9755.60        | 5996.6     |
| 2012 | 18,637 | 10532.50       | 6071.0     |
| 2013 | 19,602 | 10983.00       | 6134.3     |
| 2014 | 20,249 | 11880.40       | 6198.2     |
| 2015 | 22,685 | 12747.70       | 6262.7     |
| 2016 | 26,585 | 13230.10       | 6327.9     |
| 2017 | 29,077 | 13814.20       | 6393.8     |

*Fuente: Banco Central de Nicaragua (año 2017).*

#### 4. 7. 2 Tasas de crecimiento.

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

Las tasas de crecimiento interanual se calcularon usando la **ecuación 45**:

$$\text{Ec. 45} \quad TC = \left[ \left( \frac{Año_n}{Año_{n-1}} \right) - 1 \right] * 100$$

**Donde:**

**TC:** Tasa de crecimiento.

**Año n:** Año actual.

**Año n– 1:** Año anterior.

#### 4. 7. 3 Análisis del Producto Interno Bruto (PIB)

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del PIB de los últimos 14 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2004 al año 2017. **Ver Tabla No. 19 a continuación.**

**Tabla 19. Datos Históricos del PIB**

| <b>AÑO</b> | <b>PIB (Miles \$)</b> | <b>T.C</b> |
|------------|-----------------------|------------|
| 2004       | 5796                  |            |
| 2005       | 6321                  | 9.06%      |
| 2006       | 6786                  | 7.36%      |
| 2007       | 7458                  | 9.90%      |
| 2008       | 8491                  | 13.85%     |
| 2009       | 8381                  | -1.30%     |
| 2010       | 8741                  | 4.30%      |
| 2011       | 9756                  | 11.60%     |
| 2012       | 10533                 | 7.96%      |
| 2013       | 10983                 | 4.28%      |
| 2014       | 11880                 | 8.17%      |
| 2015       | 12748                 | 7.30%      |
| 2016       | 13230                 | 3.78%      |
| 2017       | 13814                 | 4.41%      |

**Fuente:** Banco Central –Indicadores Económicos 2017

#### 4. 7. 4 Análisis de Población (POB)

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del POB de los últimos 14 años, donde se aprecia el comportamiento histórico. A continuación **(Ver Tabla 20)**.

**Tabla 20. Datos Históricos del POB**

| <b>AÑO</b> | <b>POB</b> | <b>T.C</b> |
|------------|------------|------------|
| 2004       | 5380.5     |            |
| 2005       | 5450.4     | 1.30%      |
| 2006       | 5638.0     | 3.44%      |
| 2007       | 5707.9     | 1.24%      |
| 2008       | 5778.8     | 1.24%      |
| 2009       | 5850.5     | 1.24%      |
| 2010       | 5923.1     | 1.24%      |
| 2011       | 5996.6     | 1.24%      |
| 2012       | 6071.0     | 1.24%      |
| 2013       | 6134.3     | 1.04%      |
| 2014       | 6198.2     | 1.04%      |
| 2015       | 6262.7     | 1.04%      |
| 2016       | 6327.9     | 1.04%      |
| 2017       | 6393.8     | 1.04%      |

*Fuente: Banco Central – Indicadores Económicos 2017.*

#### 4. 7. 5 Proyección de tráfico

El cuadro siguiente, presenta el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB), de los últimos 14 años (período 2004 – 2017), y posterior se muestra la correlación del TPDA de la Estación N° 101B (Zona Franca – La Garita), con el Producto Interno Bruto, una vez que se realizó la correlación se procede a realizar una segunda aplicando logaritmo natural.

**Tabla 21. Correlación TPDA Vs PIB**

| AÑO  | TPDA vs PIB(miles) |                | LNTPDA vs LNPIB |        |
|------|--------------------|----------------|-----------------|--------|
|      | TPDA               | PIB (Miles \$) | LNTPDA          | LN PIB |
| 2004 | 14,252             | 5,796.0        | 7.88            | 8.66   |
| 2005 | -                  | 6,321.0        | 7.89            | 8.75   |
| 2006 | -                  | 6,786.3        | 7.87            | 8.82   |
| 2007 | 16,481             | 7,458.1        | 7.87            | 8.92   |
| 2008 | -                  | 8491.4         | 7.98            | 9.05   |
| 2009 | -                  | 8380.7         | 8.13            | 9.03   |
| 2010 | 16,122             | 8741.3         | 8.17            | 9.08   |
| 2011 | 17,028             | 9755.6         | 8.22            | 9.19   |
| 2012 | 18,637             | 10532.5        | 8.34            | 9.26   |
| 2013 | 19,602             | 10983          | 8.30            | 9.30   |
| 2014 | 20,249             | 11880.4        | 8.41            | 9.38   |
| 2015 | 22,685             | 12747.7        | 8.58            | 9.45   |
| 2016 | 26,585             | 13230.1        | 8.78            | 9.49   |
| 2017 | 29,077             | 13814.2        | 8.72            | 9.53   |

*Fuente: Elaboración propia*

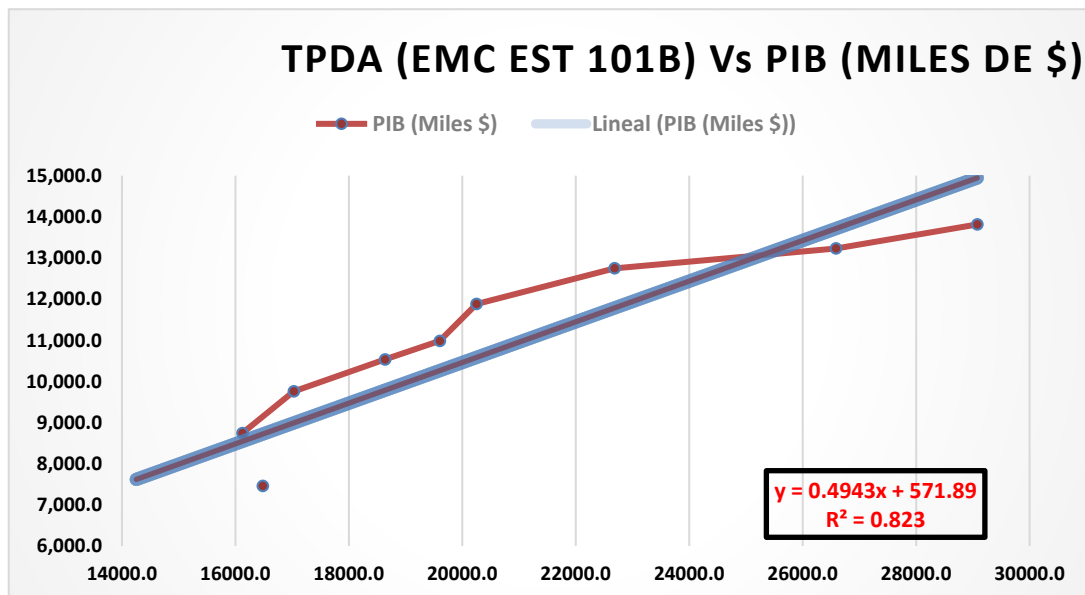
El cuadro siguiente, presenta el comportamiento del TPDA – Población, en el período 2004 – 2017 y la representación gráfica con la ecuación de correlación del TPDA vs POB de la Estación N° 101B (Zona Franca – La Garita). **Ver siguiente Tabla 22:**

**Tabla 22. Correlación TPDA Vs POB.**

| AÑO  | TPDA vs POB |             | LN TPDA vs LN POB |        |
|------|-------------|-------------|-------------------|--------|
|      | TPDA        | POB (miles) | LN TPDA           | LN POB |
| 2004 | 14,252      | 5,380.5     | 7.88              | 8.59   |
| 2005 | -           | 5,450.4     | 7.89              | 8.60   |
| 2006 | -           | 5,638.0     | 7.87              | 8.64   |
| 2007 | 16,481      | 5,707.9     | 7.87              | 8.65   |
| 2008 | -           | 5,778.8     | 7.98              | 8.66   |
| 2009 | -           | 5,850.5     | 8.13              | 8.67   |
| 2010 | 16,122      | 5,923.1     | 8.17              | 8.69   |
| 2011 | 17,028      | 5,996.6     | 8.22              | 8.70   |
| 2012 | 18,637      | 6,071.0     | 8.34              | 8.71   |
| 2013 | 19,602      | 6,134.3     | 8.30              | 8.72   |
| 2014 | 20,249      | 6,198.2     | 8.41              | 8.73   |
| 2015 | 22,685      | 6,262.7     | 8.58              | 8.74   |
| 2016 | 26,585      | 6,327.9     | 8.78              | 8.75   |
| 2017 | 29,077      | 6,393.8     | 8.72              | 8.76   |

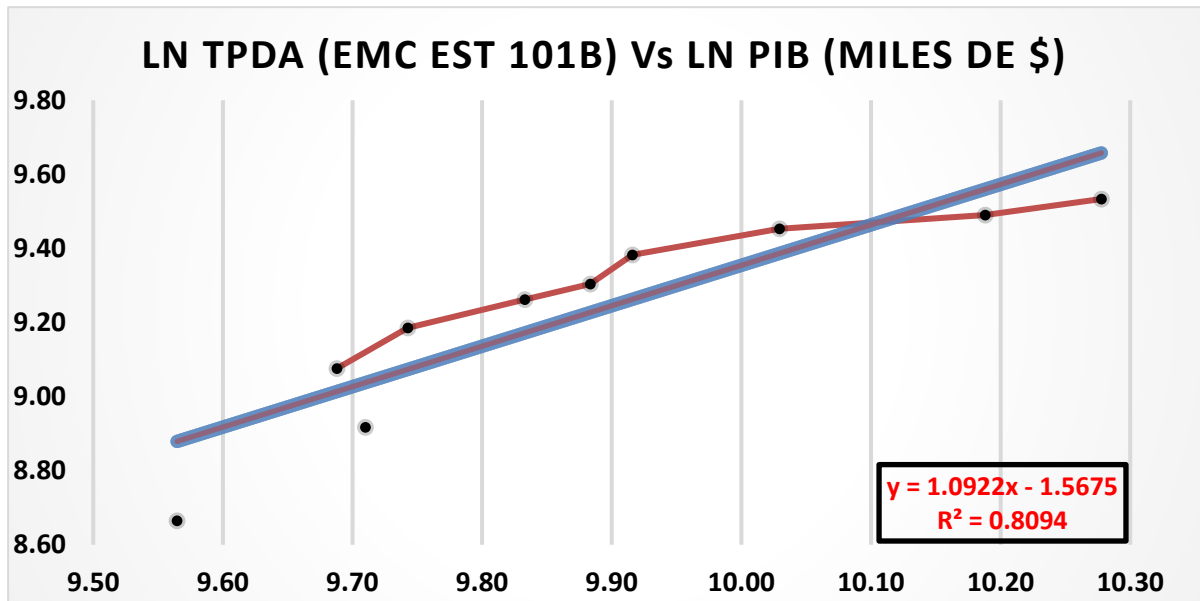
*Fuente: Elaboración propia*

**Gráfico 4. Correlación TPDA Vs PIB.**



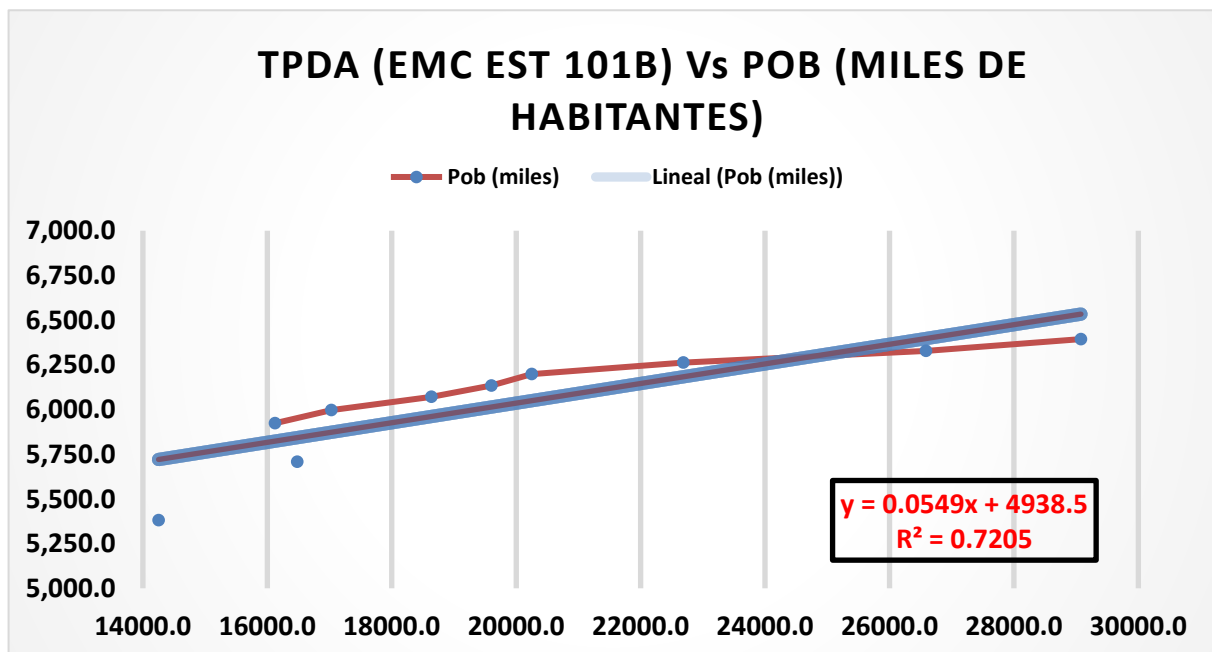
*Fuente: Elaboración propia*

Gráfico 5. Correlación LN TPDA Vs LN PIB



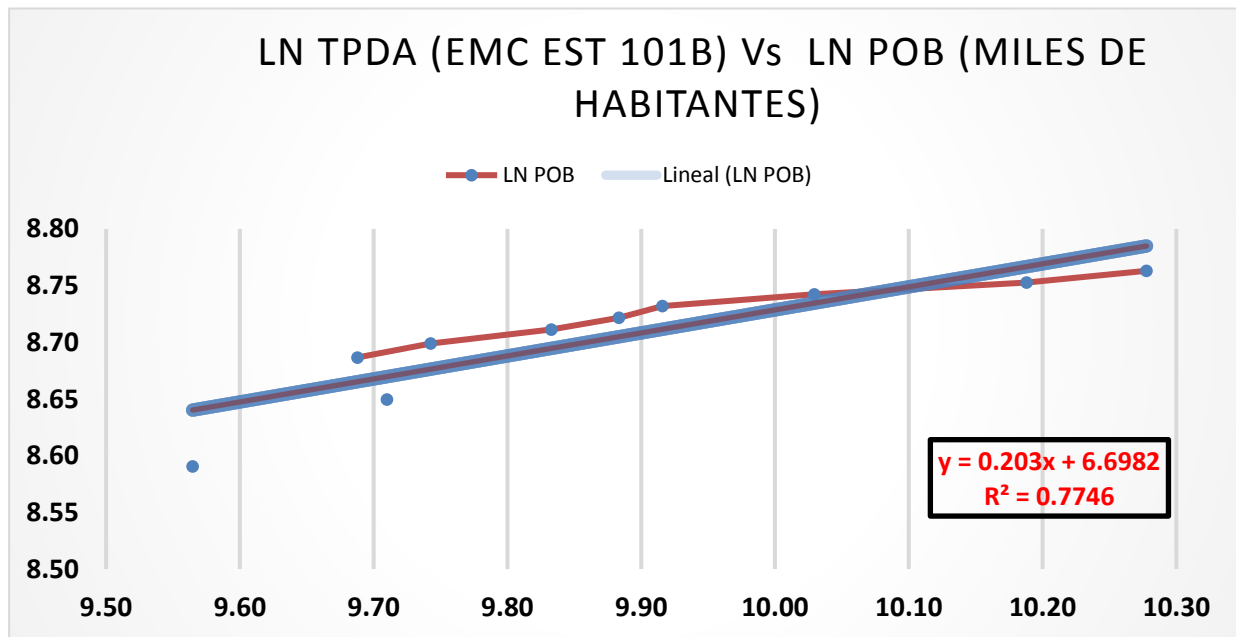
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 6. Correlación TPDA Vs POB



Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 7. Correlación LN TPDA Vs LN POB**



*Fuente: Elaboración propia*

La correlación de las variables TPDA Vs PIB genera un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a **0.823** y la correlación de las variables Logaritmo Natural TPDA Vs Logaritmo Natural PIB genera un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) igual a **0.8094**. En este caso utilizaremos el valor mayor ( $R^2$ ) igual a **0.823**. La correlación de las variables TPDA Vs POB ( $R^2$ ) igual a **0.7205**, Logaritmo Natural TPDA Vs Logaritmo Natural POB genera un coeficiente de **0.7746**, por tanto, se escoge el segundo dato por tener un valor más alto y confiable, para determinar las tasas de crecimiento del tráfico de carga, que son los vehículos de transporte que mueven la mayor cantidad de población hacia los diferentes destinos.

#### **4. 7. 6 Cálculo de Proyección de tráfico.**

Las tasas de crecimiento para PIB y POB serán afectados por las elasticidades que se escogieron de las correlaciones realizadas anteriormente, elasticidades que se tomaron en base a los ( $R^2$ ), de mayor confiabilidad.

Procedemos a calcular las tasas de crecimiento utilizando los datos históricos de TPDA, PIB, POB, para cada uno de ellos. **(Ver Tabla 23 Y 24 a continuación).**

**Tabla 23: Elasticidades Resultantes de las Correlaciones**

| CORRELACIÓN  | ELASTICIDAD  | CORRELACIÓN | ELASTICIDAD   |
|--------------|--------------|-------------|---------------|
| TPDA Vs PIB  | <b>0.823</b> | LN TPDA-PIB | 0.8094        |
| TPDA Vs POB. | 0.7205       | LN TPDA-POB | <b>0.7746</b> |

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 24. Datos Históricos (TPDA, PIB, POB).**

| AÑO         | TPDA   | PIB (Miles \$) | Pob. (miles) |
|-------------|--------|----------------|--------------|
| <b>2004</b> | 14,252 | 5796.0         | 5380.5       |
| <b>2005</b> | -      | 6321.0         | 5450.4       |
| <b>2006</b> | -      | 6786.3         | 5638.0       |
| <b>2007</b> | 16,481 | 7458.1         | 5707.9       |
| <b>2008</b> | -      | 8491.4         | 5778.8       |
| <b>2009</b> | -      | 8380.7         | 5850.5       |
| <b>2010</b> | 16,122 | 8741.3         | 5923.1       |
| <b>2011</b> | 17,028 | 9755.6         | 5996.6       |
| <b>2012</b> | 18,637 | 10532.5        | 6071.0       |
| <b>2013</b> | 19,602 | 10983.0        | 6134.3       |
| <b>2014</b> | 20,249 | 11880.4        | 6198.2       |
| <b>2015</b> | 22,685 | 12747.7        | 6262.7       |
| <b>2016</b> | 26,585 | 13230.1        | 6327.9       |
| <b>2017</b> | 29,077 | 13814.2        | 6393.8       |

*Fuente: Anuario BCN, Anuario de aforo vehicular MTI 2017*

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

$$\text{Ec. 46} \quad TC_{TPDA} = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100$$

**Donde:**

**TPDA<sub>i</sub>:** Tráfico Promedio Diario Actual.

**TPDA<sub>o</sub>:** Tráfico Promedio Diario Actual del año base.

**n:** La diferencia de años.

Las tasas de crecimiento calculadas son:

$$TC_{TPDA} = \left[ \left( \frac{29,077}{14,252} \right)^{1/14} - 1 \right] * 100 = \mathbf{5.23\%}$$

$$TC_{PIB} = \left[ \left( \frac{13,814.2}{5796.0} \right)^{1/14} - 1 \right] * 100 = \mathbf{6.40\%}$$

$$TC_{POB} = \left[ \left( \frac{6393.8}{5380.5} \right)^{1/14} - 1 \right] * 100 = \mathbf{1.24\%}$$

#### **4. 8 Análisis de la información obtenida.**

**Producto Interno Bruto:** para conocer el valor de tasa de crecimiento promedio para el producto interno bruto se obtiene multiplicándolo por su elasticidad.

$$TC_{PIB} = 6.40 \% \times 0.823(\text{Elasticidad}) = \mathbf{5.27\%}$$

**Para la población:** se multiplicó por su elasticidad quedando con una tasa de **0.96%** para el crecimiento poblacional.

$$TC_{POB} = 1.24\% \times 0.7746(\text{Elasticidad}) = \mathbf{0.96\%}$$

Para obtener la tasa de crecimiento a utilizar para todo el tráfico se decidió promediar las tasas obtenidas y así de esta manera relacionar las tres variables con sus respectivas tasas de crecimiento  $TC_{TPDA} = 5.23\%$ ,  $TC_{PIB} = 5.27\%$  y  $TC_{POB} = 0.96\%$ , dando un resultado una tasa promedio de= **3.83%**

#### 4. 9 Tráfico de diseño

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

Este se obtiene a partir de la información básica suministrada por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el Factor de Crecimiento (FC), Factor de Distribución (FD) y Factor Carril (fc). Se calcula mediante la siguiente **Ecuación47:**

$$\text{Ec. 47} \quad \text{TD} = \text{TPDA} * \text{FC} * \text{FD} * \text{fc} * 365$$

##### 4. 9. 1 Período de Diseño (PD).

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. De acuerdo con las características geométricas de la vía y al volumen actual de tránsito que circula por ella, se eligió **15 años** para su período de diseño, ya que se tiene un TPDA de **343 Vehículos/día**.

**Tabla 25. Período de Diseño.**

| Tipo de Carretera      | Periodo de Diseño |
|------------------------|-------------------|
| Autopista Regional     | 20 – 40 años      |
| Troncales Sub-Urbanas  | 15 – 30 años      |
| Troncales Rurales      |                   |
| Colectoras Sub-urbanas | 10 – 20 años      |
| Colectoras Rurales     |                   |

**Fuente:** Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2004, cap.7. pág.3.

##### 4. 9. 2 Factor de Crecimiento (FC)

Este se obtiene a partir del periodo de diseño y está en dependencia del grado de importancia de la vía, y la tasa anual de crecimiento del tránsito. Se determina mediante la siguiente **Ecuación 48:**

**Ec. 48**

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

**Donde:**

FC: Factor de Crecimiento.

i: Tasa anual de Crecimiento.

n: Periodo de Diseño.

$$FC = \frac{(1 + 0.0383)^{15} - 1}{0.0383} = 19.77$$

#### 4.9.3 Factor Distribución Por Dirección (FD).

Este valor se puede deducir del estudio de tránsito (conteo), es la relación entre la cantidad de vehículos que viajan en una dirección y la cantidad de vehículos que viajan en la dirección opuesta, por lo general es 0.5 ya que la cantidad de vehículos es la misma en ambos sentidos, aunque hay casos en que puede ser mayor en una dirección que en otra. **(Ver Tabla 26)**

**Tabla 26. Factor de Distribución por Dirección.**

| Número de carriles en ambas direcciones | LD        |
|-----------------------------------------|-----------|
| <b>2</b>                                | <b>50</b> |
| <b>4</b>                                | 45        |
| <b>6 o más</b>                          | 40        |

**Fuente:** Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2004, cap.3. pág.30.

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

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

El carril de diseño es por el que circulan el mayor número de ejes equivalentes (ESAL'S). **En la Tabla 27**, que se presenta a continuación podemos observar el factor carril.

**Tabla 27. Factor Distribución por Carril.**

| Número de carriles en una sola dirección | LC <sup>11</sup> |
|------------------------------------------|------------------|
| <b>1</b>                                 | <b>1.00</b>      |
| <b>2</b>                                 | 0.80 - 1.00      |
| <b>3</b>                                 | 0.60 - 0.80      |
| <b>4</b>                                 | 0.50 - 0.75      |

*Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, SIECA 2004, cap.3. pág.30.*

El factor de distribución por carril a usarse es 1.00.

#### **4. 9. 5 El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po).**

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

#### **4. 9. 6 El Índice de Serviciabilidad Final (Pt).**

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

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

#### **4. 9. 7 Pérdida de Serviciabilidad ( $\Delta PSI$ ).**

Es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. Entre mayor sea el  $\Delta PSI$  mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, calculado con la siguiente **Ecuación–49**:

|               |                                            |
|---------------|--------------------------------------------|
| <b>Ec. 49</b> | <b><math>\Delta PSI = P_o - P_t</math></b> |
|---------------|--------------------------------------------|

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

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

#### 4. 9. 8 Número Estructural Asumido (SN).

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

#### 4. 9. 9 Factor de Equivalencia (FESAL).

Se obtiene las tablas de la AASHTO– 93 apéndice D, para ejes Sencillos y Dobles respectivamente. Conociendo la serviciabilidad final (**Pt=2.0**), el número estructural asumido (**SN=5**) y los pesos (se encuentran en Kips), los factores de equivalencia se obtienen en **Ver Anexo, Tabla 54-55, pág. XI-XII**.

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

#### 4. 10 Ejes Equivalentes (ESAL o W18).

Este se obtiene conociendo El Tránsito de Diseño (**TD**) y los factores de equivalencia (**ESAL**). Se calcula utilizando las siguientes expresiones:

**Ec. 50**

$$T_D = TPDA \times F_C \times F_D \times f_C \times 365$$

**Ec. 51**

$$ESAL \text{ o } W18 = TD \times FESAL$$

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

En base a los datos anteriormente definidos con apoyo del software Excel se procedió a la determinación de los Ejes equivalente (ESAL) para cada eje y tipo de vehículos, tal como se muestra en la **Tabla 28**

**Tabla 28. Tránsito de Diseño.**

| Tránsito de diseño para el cálculo del ESAL'S |                        |              |              |                    |                       |                          |                                   |
|-----------------------------------------------|------------------------|--------------|--------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Tipo de vehículos                             | Tránsito Actual (2019) | F.C.         | Días del año | Tránsito de diseño | Factor por carril(Fc) | Factor de Dirección (Fs) | Tránsito para el carril de diseño |
| <b>Autos</b>                                  | 79.00                  | <b>19.78</b> | 365          | 570356.30          | 0.50                  | 1.00                     | 285179                            |
| <b>Jeep</b>                                   | 4.00                   | <b>19.78</b> | 365          | 28878.80           | 0.50                  | 1.00                     | 14440                             |
| <b>Camionetas</b>                             | 49.00                  | <b>19.78</b> | 365          | 353765.30          | 0.50                  | 1.00                     | 176883                            |
| <b>McBus&lt;15 pas</b>                        | 4.00                   | <b>19.78</b> | 365          | 28878.80           | 0.50                  | 1.00                     | 14440                             |
| <b>Bus</b>                                    | 15.00                  | <b>19.78</b> | 365          | 108295.50          | 0.50                  | 1.00                     | 54148                             |
| <b>C2 liv</b>                                 | 46.00                  | <b>19.78</b> | 365          | 332106.20          | 0.50                  | 1.00                     | 166054                            |
| <b>C2 5 +ton</b>                              | 47.00                  | <b>19.78</b> | 365          | 339325.90          | 0.50                  | 1.00                     | 169663                            |
| <b>C3</b>                                     | 56.00                  | <b>19.78</b> | 365          | 404303.20          | 0.50                  | 1.00                     | 202152                            |
| <b>Total</b>                                  |                        |              |              |                    |                       |                          | <b>1082,959</b>                   |

*Fuente: Elaboración propia*

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

$$\text{Ec. 52} \quad x = \frac{a * (d - e) + b * (c - d)}{c - e}$$

**Donde:**

**a,b:** Factores de ejes equivalentes conocidos

**x:** Factor de eje equivalente a calcular

**c,e:** Carga por ejes conocidos

**d:** Carga por eje a calcular

(Ver en anexos tablas No. 56, pág. XIII Factores de ejes Kips a interpolar)

Conocido los valores de los factores de Equivalencia (FESAL), se procede a aplicar la **Ecuación 51** para el cálculo de ESAL'S

**Tabla 29. Cálculo ESAL'S del Carril de Diseño.**

| Asumimos un número estructural (SN=5), Pt=2.0 |                      |                   |             |            |            |              |             |                |
|-----------------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------|------------|------------|--------------|-------------|----------------|
| Tipo de vehiculos                             | Peso X eje (Ton.met) | Peso X eje (Kips) | Tipo de eje | TPDA. 2019 | TD         | TD corregido | Factor ESAL | ESAL de diseño |
| Autos                                         | 1.00                 | 2.20              | Simple      | 79.00      | 285,179    | 285,179.00   | 0.00038     | 108            |
|                                               | 1.00                 | 2.20              | Simple      |            |            |              | 0.00038     | 108            |
| Jeep                                          | 1.00                 | 2.20              | Simple      | 4.00       | 14,440.00  | 14,440       | 0.00038     | 5              |
|                                               | 1.00                 | 2.20              | Simple      |            |            |              | 0.00038     | 5              |
| Camionetas                                    | 1.00                 | 2.20              | Simple      | 49.00      | 176,883.00 | 176,883      | 0.00038     | 67             |
|                                               | 2.00                 | 4.40              | Simple      |            |            |              | 0.0034      | 601            |
| McBus<15 pas                                  | 2.00                 | 4.40              | Simple      | 4.00       | 14,440.00  | 14,439.00    | 0.0034      | 49             |
|                                               | 4.00                 | 8.80              | Simple      |            |            |              | 0.0502      | 725            |
| Bus                                           | 5.00                 | 11.00             | Simple      | 15.00      | 54148.00   | 54,148.00    | 0.1265      | 2718           |
|                                               | 10.00                | 22.00             | Simple      |            |            |              | 2.35        | 49849          |
| C2 Liv                                        | 4.00                 | 8.80              | Simple      | 46.00      | 166,054.00 | 166,054.00   | 0.0502      | 8336           |
|                                               | 8.00                 | 17.60             | Simple      |            |            |              | 0.9206      | 152869         |
| C2 5 +ton                                     | 5.00                 | 11.00             | Simple      | 47.00      | 169,663.00 | 169,663.00   | 0.1265      | 21462          |
|                                               | 10.00                | 22.00             | Simple      |            |            |              | 2.35        | 458090         |
| C3                                            | 5.00                 | 11.00             | Simple      | 56.00      | 202,152.00 | 202,152.00   | 0.1265      | 25116          |
|                                               | 16.50                | 36.30             | Doble       |            |            |              | 1.433       | 283915         |
| Total, ESAL´S de Diseño(W18)                  |                      |                   |             |            |            |              |             | 950,765.00     |
|                                               |                      |                   |             |            |            |              |             | 9.508E+05      |

*Fuente: Elaboración propia*

Obteniendo un valor ESAL's de **950,765.00 equivalente = 9.508E+05**

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

# **CAPÍTULO V**

## **ESTUDIO GEOTÉCNICO**

## **5.1. Generalidades**

Este capítulo desarrolla los procedimientos preestablecidos para el estudio del suelo de fundación y los bancos de materiales, los cuales serán necesarios para el diseño estructural del pavimento.

El objetivo del estudio suelo es conocer las características físico-mecánicas del subsuelo a lo largo del camino, por medio de la realización de ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas de los sondeos y el análisis de la información resultante.

Los ensayos de laboratorio y caracterización física de los suelos fueron proporcionados por la Alcaldía municipal de Matagalpa y realizados por la empresa **NicaSolum**.

El trabajo está dividido en principalmente en tres etapas: trabajos de campo, ensayos de laboratorio y gabinete.

## **5.2. Estudio del suelo de fundación**

### **5.2.1. Trabajos de campo para los suelos de fundación**

Según los estudios de suelos se tomaron muestras representativas alternadas a uno y otro lado de la vía, a una distancia de 200 metros. Con una profundidad de hasta 1.50 metros, dicho procedimiento se inició en la estación 0+000 hasta la estación 1+200. Se efectuaron 7 sondeos manuales, en estos sondeos se tomaron 23 muestras representativas de cada estrato encontrado, marcando las profundidades respectivas.

### **5.2.2. Trabajos de laboratorio**

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

**Tabla 30.** Tipos de ensayos para estudio de suelos

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

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

### 5.3. Estudio de Bancos de Materiales.

En base en los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorios suministrados por **Nicasolum**, se analizó el Banco de Préstamo que se encuentra sobre la línea, para así poder conocer la función que puede desempeñar este, al ser usado como material base. El cual se presentan a continuación:

**Tabla 31.** Banco de materiales

| Nombre y propiedad del Banco       | Roger Soza                                                                                   |                       |       |        |        |         |
|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------|--------|--------|---------|
| Tamiz                              | 3/4"                                                                                         | 3/8"                  | No. 4 | No. 10 | No. 40 | No. 200 |
| % que Pasa                         | 46                                                                                           | 27                    | 17    | 11     | 7      | 5       |
| Limite Liquido                     | 33                                                                                           | Indice de plasticidad |       |        |        | 10      |
| Clasificacion H.R.B                | A-2-4(0)                                                                                     | Equivalente de Arena  |       |        |        |         |
| Tipo de prueba empleada            |                                                                                              | Modificado            |       |        |        |         |
| Peso vol. Seco maximo              |                                                                                              | 2,057                 |       |        |        |         |
| Humedad optima                     |                                                                                              | 10.80%                |       |        |        |         |
| Metodo compactacion empleado       | ASTM-D-1883                                                                                  |                       |       |        |        |         |
| % de compactacion                  | 90%                                                                                          |                       | 95%   |        | 100%   |         |
| Peso vol. Seco reproducido (kg/m3) | 1,843                                                                                        |                       | 1941  |        | 2,046  |         |
| C.B.R Saturado                     | 26%                                                                                          |                       | 46%   |        | 64%    |         |
| Hinchamiento (%)                   |                                                                                              |                       |       |        |        |         |
| Tipo de Saturacion (Horas)         | 96                                                                                           |                       | 96    |        | 96     |         |
| Observaciones materiales           | El material es grava gruesa a fina con poco fino y arena con limo y arcilla color gris claro |                       |       |        |        |         |

**Fuente:** NicaSolum.

### 5.3.1. Consideraciones para la Base

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

**Tabla 32.** Materiales granulares para caminos de bajo costo

| N° | Propiedad               | Limites                                                                                     | Norma de Prueba        |
|----|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| 1  | Límite líquido          | 35% Máx.                                                                                    | AASHTO T-89            |
| 2  | Índice plástico         | Min. 6% - Máx. 12%                                                                          | AASHTO T-90            |
| 3  | C.B.R                   | <b>60% Mín.</b>                                                                             | <b>AASHTO T-193</b>    |
| 4  | Desgaste de los Ángeles | 50% Máx.                                                                                    | AASHTO T-96            |
| 5  | Intemperismo Acelerado  | 12% Máx.                                                                                    | AASHTO T-104           |
| 6  | Compactación            | 95% mín. del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado. | AASHTO T-191 y/o T-238 |

*Fuente: Especificaciones Nic-2000. Sección: 1003.10 (b), pág. 531*

### 5.4. Banco de materiales propuesto para la capa Base.

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

En cuanto a las propiedades plásticas de los materiales muestreados, tenemos que este presenta Limite Liquido de 33% (AASHTO T-89) y expone el Índice de Plasticidad de 10% (AASHTO T-90).

El Peso Volumétrico Seco máximo es de 2,057 kg/m<sup>3</sup>, con una Humedad Optima de 10.80%. El resultado del ensayo CBR realizado corresponde a 100% (64%).

**Tabla 33.** Requisitos graduación de agregados

| <b>Cuadro 1003.10 de NIC 2000, Requisitos graduación de agregados.</b> |                                         |                         |                   |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| <b>Tamiz (mm)</b>                                                      | <b>% que debe pasar por los tamices</b> | <b>Bco “Roger Soza”</b> | <b>Valoración</b> |
| 75                                                                     | 100                                     | 99                      | <b>Cumple</b>     |
| 4.75                                                                   | 30-45                                   | 43                      | <b>Cumple</b>     |
| 0.075                                                                  | 5-15                                    | 5                       | <b>Cumple</b>     |

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

El ensaye de CBR para el banco de materiales con suelo (A-2-4 (0)) al 100% es de 64%, el cual cumple las Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes de la NIC–2000, ya que su CBR se ajusta a los requisitos mínimos que debe cumplir un material para poder ser utilizado como base granular para caminos de bajo costo, el cual después de colocado y compactado debe tener como mínimo un CBR de 60% al 95% de compactación.

### **5.5. Determinación del CBR de Diseño.**

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

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

- 1) Identificar los valores utilizar en el diseño del CBR, los cuales son todos los valores que se encuentran debajo de la línea de la Subrasante, para este caso todos aquellos que estén por debajo de los 30cm del terreno natural existente, el cual corresponde al espesor final de diseño del paquete estructural de pavimento.

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

#### 5.5.1. Resultados de suelos en la Subrasante.

De acuerdo a los resultados de Laboratorio, a lo largo del Camino investigado, predominan, las Arenas y Gravas Limosas, que clasifican como A-2-4, A-1-a y A-1- b; encontrándose en algunos sectores estratos de Gravas y Arenas Arcillosas, tipo A-2-6 y A-2-7, así como, Suelos Limosos, A-4 y Arcillas A-7-6.

Los Índice de Grupo (I. G.) reflejan valores de 0 para los A-2-4, A-2-6 y A-1-a; de 0 a 1 para los A-2-6 y A-2-7; de 0 a 8 para los A-4; de 1 a 2 y de 2 a 20 para los A-7-6, lo que es indicativo de una calidad que puede catalogarse de como mal material de cimentación para terraplenes o estructuras de pavimento. **ver anexos, Tabla 58-59 pág. XV-XVI**

Se puede apreciar en el perfil estratigráfico (**ver anexo gráfico No. 10, pág. XVII**) que en este tramo a nivel superficial predominan los suelos gravo areno limosos, el cual corresponde de acuerdo a la clasificación de suelos AASHTO tipo A-2-6 (0).

**Tabla 34.** Especificaciones para Terraplenes y Materiales para Sub-Rasante

| No. | Propiedad         | Terraplenes                                                                                              | Capa Sub-rasante                                                                                            | Metodología                      |
|-----|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1   | % de malla N° 200 | 40 % máx.                                                                                                | 30% máx.                                                                                                    | AASHTO T-11                      |
| 2   | Limite Líquido    | 40 % máx.                                                                                                | 30% máx.                                                                                                    | AASHTO T-89                      |
| 3   | Índice Plástico   | 15 % máx.                                                                                                | 10 % máx.                                                                                                   | AASHTO T-90                      |
| 4   | CBR               | 10 % Min.                                                                                                | 20 % Min.                                                                                                   | AASHTO T-193                     |
| 5   | Compactación      | 95 % máx. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado. (AASHTO-99) | 95 % máx. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado. (AASHTO-T-180) | AASHTO T-191 y/o T-238 (in situ) |

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

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

Tomando en cuenta que el ESAL's es de **950,765.00** y el percentil de diseño **75%** tal y como se indica en la **Tabla N°35**. Graficaremos para encontrar el CBR de diseño de la subrasante (**ver gráfico 8, pág. 77**).

**Tabla 35.** Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño

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

*Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.*

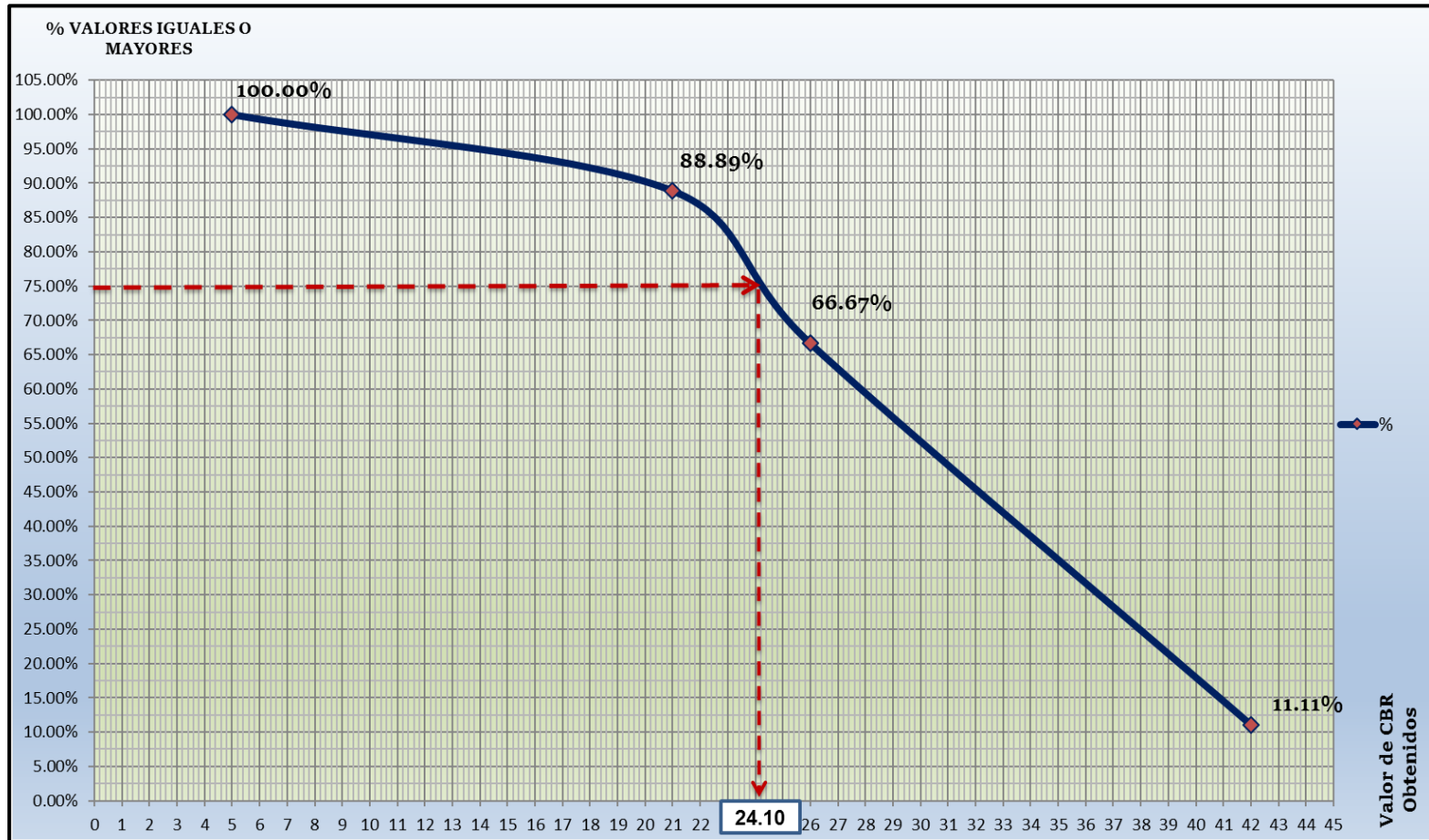
En la siguiente tabla se muestra la acumulación de los valores de CBR de diseño y el tipo de suelo al que corresponde el material existente en la sub rasante:

**Tabla 36.** Selección de CBR de Diseño para la Sub-Rasante

| <b>CLASIFICACION AASHTO</b>      | <b>CBR</b> | <b>FRECUENCIA</b> | <b>CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES</b> | <b>%</b> |
|----------------------------------|------------|-------------------|----------------------------------------------|----------|
| <b>A-7-6(2)</b>                  | 5          | 1                 | 9                                            | 100.00%  |
| <b>A-2-6(0)</b>                  | 21         | 2                 | 8                                            | 93.75%   |
| <b>A-2-4(0)</b>                  | 26         | 5                 | 6                                            | 43.75%   |
| <b>A-1-a(0)</b>                  | 42         | 1                 | 1                                            | 6.25%    |
| <b>TOTAL DE MUESTRAS DE CBR=</b> |            | <b>9</b>          |                                              |          |

*Fuente: Elaboración propia*

**Gráfico 8. Selección del CBR de Diseño**



**Fuente:** Elaboración propia

**Nota:** El CBR de diseño calculado= 24.10%

## **CAPÍTULO VI**

### **DISEÑO DE PAVIMENTO**

## **6.1. Generalidades.**

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

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

## **6.2. Consideraciones del Diseño AASHTO 93:**

### **6.1.1. Carga de Ejes Simples Equivalentes.**

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

Al realizar el estudio de tráfico, se clasifican todos los vehículos livianos y pesados según su peso por eje, encontrando así los volúmenes de tránsito, luego dichos volúmenes se proyectan a un período de diseño en concordancia a una tasa de crecimiento que se determina según las condiciones económicas y sociales de la zona, el proceso anterior nos permite determinar el tránsito de diseño (TD), posteriormente se afecta este tránsito de diseño por un factor de equivalencia de carga, la sumatoria de todos los procesos anteriores para cada vehículo clasificado se denomina ESAL de diseño. En el tramo en estudio el ESAL de diseño es **950,765.00**.

### 6.1.2. Confiabilidad.

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

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

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA 2004 recomienda diferentes niveles de confiabilidad. Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad **R** del **85%**, que corresponde a un valor recomendado para una Carretera Colectora rural lo cual se muestra en la **Tabla N°37**. Esta confiabilidad seleccionada de acuerdo con el grado funcional del tipo de la carretera presenta una desviación **Zr** de **-1.0364**, lo cual se muestra en la **Tabla N°38**.

**Tabla 37.**Niveles de Confiabilidad R en Función del Tipo de Carretera

| Tipo de Camino                      | Confiabilidad Recomendada |                |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------|
|                                     | Zona Urbana               | Zona Rural     |
| Rurales Interestatales y autopistas | 85 – 99.9                 | 80 – 99.9      |
| Arterias principales                | 80 – 99                   | 75 – 99        |
| <b>Colectoras</b>                   | 80 – 95                   | <b>75 – 95</b> |
| Locales                             | 50 – 80                   | 50 – 80        |

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

**Tabla 38.** Valores de Zr en función de la confiabilidad R

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

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

### 6.1.3. Desviación Estándar.

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

**Tabla 39.** Desviación Estándar Dependiendo de las Condiciones de Servicio

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

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

#### 6.1.4. Serviciabilidad.

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

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

**Tabla 40.** Factores de Serviciabilidad

| <b>Serviciabilidad Inicial</b>                                                     | <b>Serviciabilidad Final</b>           |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Po= 4.5 para pavimentos rígidos                                                    | Pt= 2.5 o más para caminos principales |
| <b>Po= 4.2 para pavimentos flexibles    Pt= 2.0 para caminos de Tránsito menor</b> |                                        |

*Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.*

#### 6.1.5. Coeficiente de drenaje.

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

La AASHTO 93 recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de los miembros de los paquetes estructurales, la forma de consideración de los coeficientes se demuestra en la **Tabla N° 41 – 42, pág. 82.**

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

**Tabla 41.** Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad

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

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

**Tabla 42.** Porcentaje del Tiempo que el Pavimento está Expuesto a Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación

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

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

#### 6.1.6. Cálculo del CBR de diseño.

La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193. El CBR de diseño de este tramo es de **24.10%**. Este se obtuvo con un percentil de **75%**. (Ver Gráfico 8 del cap. V, pág.77).

#### 6.1.7. Módulo de Resiliencia (MR).

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

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

**Tabla 43.** Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para Sub rasante

| Valor de CBR | Consideración               |
|--------------|-----------------------------|
| CBR < 10%    | Mr= 1500 * CBR              |
| CBR>10<20    | Mr=3000*CBR <sup>0.65</sup> |
| CBR > 20%    | Mr= 4326*Ln(CBR)+241        |

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

En este caso como se obtuvo un CBR de diseño para la subrasante de **24.10%**, utilizaremos el segundo criterio para calcular el Módulo Resiliente de la subrasante aplicando la siguiente ecuación:

**Ec. 53**

$$Mr = 4,326 * \ln(CBR) + 241$$

$$Mr = 4,326 * \ln(24.10) + 241$$

$$Mr=14,007.25 \text{ psi}$$

**El módulo Resiliente de la Sub rasante es Mr= 14,007.25 PSI**

#### **6.1.8. Coeficientes de capas**

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

**a<sub>1</sub>:** Para la carpeta de rodamiento (**Adoquín**).

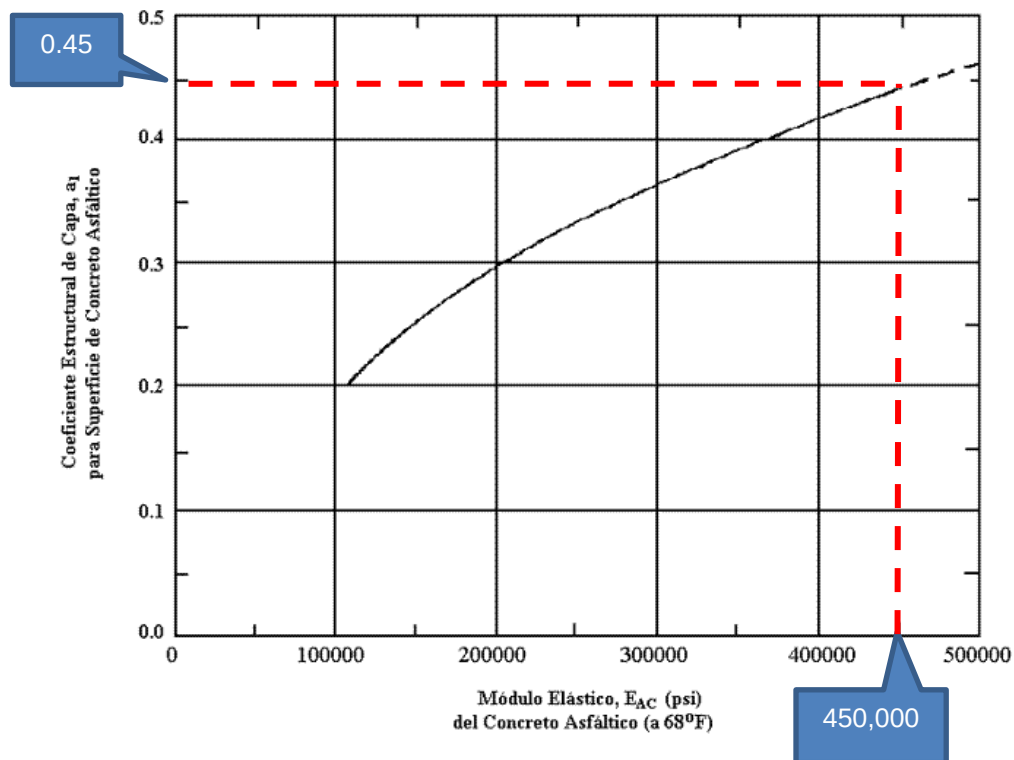
**a<sub>2</sub>:** Para la base granular

**a<sub>3</sub>:** Para la sub base granular

### Coeficiente estructural del Adoquín ( $a_1$ )

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

**Gráfico 9.** Coeficiente estructural a partir del módulo elástico concreto asfáltico



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

Los coeficientes estructurales de capas ( $a_2$  y  $a_3$ ) fueron determinados en base a la aplicación de los nomogramas proporcionados por la Guía para el diseño de estructuras de pavimento (AASHTO 1993).

Para la obtención de los coeficientes de capas (ver anexos Gráficos 11-12, pág. XVIII-XIV)

### 6.1.8. Número Estructural.

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

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

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

$$\text{Ec. 54} \quad SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_1 * m_3$$

**Donde:**

**D<sub>1,2,3</sub>**= espesores de las capas respectivamente en (pulgadas).

**a<sub>i</sub>**=coeficiente estructural de capa i, dependiente de su módulo

**m<sub>i</sub>**= coeficientes de drenaje para capas no estabilizadas, dependiente del tiempo requerido para drenar y del tiempo en que la humedad se encuentre en niveles cercanos a la saturación.

Para la obtención de los números estructurales SN (**ver anexos Gráficos 13-15, pág. XX-XXII**)

### 6.2. Cálculo de Espesores.

El espesor D1 para nuestro caso está definido, debido que utilizará adoquín como carpeta de rodamiento, por lo tanto, **D<sub>1</sub>= 4 pulgadas**.

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

$$\text{Ec. 55} \quad SN = a_1 * D_1$$

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

$$SN_1^* = 1.8$$

### 6.2.1. Cálculo del espesor de la estructura de pavimento.

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

**Cálculo del espesor para la Base (D<sub>2</sub>):**

Ec. 56

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 * m_2}$$

$$D_2 = (2.01 - 1.8) / (0.125 * 1.00)$$

$$D_2 = 1.68'' \text{ pulgadas}$$

$$D_2 = 4.27 \text{ cm}$$

Como el cálculo del espesor para la base dio como resultado **1.68 pulgadas**, el cual no cumple los espesores mínimos establecidos por el Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 93, se asumirá el espesor que se requiere para que **D<sub>2</sub>** (Base), que resista los esfuerzos que le transmitirá la carpeta de adoquín, de acuerdo con la **Tabla 44**, de espesores mínimos resulta que, para el ESAL's de diseño de **950,765.00**. El espesor mínimo de la base granular es **6.00 pulgadas** (15 centímetros).

**Tabla 44.** Espesores Mínimos Sugeridos para Base o Sub-Base.

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

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

$$\text{Ec. 57} \quad SN_2 = a_2 * D_2 * m_2$$

$$SN_2 = (0.125) * (6") * (1.00)$$

$$SN_2^* = 0.75$$

**Cálculo del espesor para la Subbase (D<sub>3</sub>):**

$$\text{Ec. 58} \quad D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1 + SN_2)}{a_3 * m_3}$$

$$D_3 = \frac{2.30 - (1.80 + 0.75)}{0.125 * 1} = -2"$$

- Dado que el resultado para subbase resultó un valor negativo (-2") esta capa no será necesaria; Según los criterios AASHTO 93

**Verificación tenemos la formula siguiente:**

**Comprobación:**

$$\text{Ec. 59} \quad SN_1^* + SN_2^* \geq SN_{requerido}$$

$$1.8 + 0.75 \geq 2.52$$

$$2.55 \geq 2.52 \quad \text{O.K}$$

### **6.2.2. Espesores finales de Diseño.**

En base al análisis y a los resultados obtenidos, la carpeta de rodamiento de los 1.2km del tramo Fricciones – Hábitat; será de **4 pulgadas** ya que este caso se utilizará adoquín, la base granular será de **6 pulgadas**, los espesores detallados son los siguientes:

**Tabla 45.** Espesores de Diseño

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

*Fuente:* Elaboración propia

A como se observa en la tabla anterior, al utilizar adoquín tráfico como carpeta de rodamiento, el espesor de 5 centímetros de arena no es tomado en cuenta en la suma total del espesor requerido, dado que se considera que el lecho de arena no tiene ningún aporte estructural.

En resumen, se ha obtenido como resultado la siguiente estructura de pavimento donde se muestran los valores de  $SN_1=1.80$ ,  $SN_2=2.01$  y  $SN_{req}=2.52$  además de los espesores es pesor de adoquín  $D_1=4"$  y espesor de la base granular  $D_2=6"$ .

## Conclusiones.

De acuerdo con los objetivos planteados se ha concluido que:

- **Estudio topográfico:** Según los datos de puntos suministrados, correspondientes a las coordenadas y la elevación de los mismos, al momento de procesarlo, los resultados topográfico-obtenidos del tramo es un terreno plano ya que las pendientes resultantes máximas obtenidas son menores a 5%.
- **Diseño Geométrico Vial** se tomaron en cuentas las Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales que rigen para los alineamientos tanto horizontal como vertical propuestas por la SIECA y AASHTO, puesto que nos proporcionan parámetros mínimos y máximos para tomarlos como puntos de partida para tales diseños y cálculos. Dichos cálculos nos generaron de acuerdo con el eje propuesto 4 curvas horizontales con deflexión máxima (**12° 24' 35"**) y mínima (**4° 38' 1"**), no obstante, si los ángulos de deflexión de los alineamientos horizontales fuesen menor a 2°15' para una velocidad de diseño de 60 kph no es necesario diseñar la curva horizontal y para las curvas verticales si la diferencia algebraica de la pendiente de entrada (P1) y la de salida (P2) fuese menor a 0,5% no es necesario diseñar y calcular dicha curva.
- **Estudio de tránsito,** se realizó un aforo vehicular de 12 horas durante 4 días consecutivos, del cual se obtuvo un TPDA de **343** vehículo/día. Para la proyección del tráfico se utilizó una tasa de crecimiento del **3.83%**, obtenida mediante las correlaciones de las tasas de crecimiento históricas de la estación de mayor cobertura EMC 101B, a partir de un periodo de diseño de 15 años se obtuvo un factor de crecimiento de **19.77**, que al proyectarlos el número de repeticiones por eje equivalente o ESAL's fue de **950,765.00**

- **Estudio geotécnico** se determinó que los suelos predominantes en la línea son **A-2-4, A-2-6**, los cuales según la clasificación AASHTO son suelos de buenos a regulares para subrasante. Se utilizó el banco de préstamos Banco (Roger Soza) y se propone que la estructura de pavimento esté compuesta por una capa de rodadura de adoquín y una capa base granular.
  
- **Diseño de pavimento**, a partir de un ESAL'S de **950,765.00** para un periodo de diseño de **15 años**, con un CBR de diseño de **24.10%**, los espesores resultantes son de **4.00 pulgadas** para la carpeta de rodamiento (adoquín), **2 pulgadas de colchón de arena** y **6 pulgadas** para la base granular. Obteniendo un total de **12 pulgadas de estructura de pavimento articulado**.

## **Recomendaciones.**

- Colocar los espesores de pavimentos indicados, los que se determinaron en función que hará uso de la vía y de acuerdo a los tipos de suelos encontrados a lo largo del camino investigado.
- Mantener la línea de la subrasante al nivel propuesto para que este tenga un nivel adecuado con respecto a los terrenos adyacentes, además, así se evitan los cambios en las pendientes, los cuales afecta directamente el diseño del drenaje longitudinal (cuneta).
- Se deberá llevar un estricto control de compactación de campo al momento de colocar el material del banco de préstamo.
- Para colocar la estructura del pavimento deberá retirarse todo el material existente hasta la profundidad de 30cm indicada en los planos del perfil longitudinal y reponerlo con el material selecto recomendado, este se debe compactar al 100% de su densidad seca máxima, luego colocar el espesor indicado.
- Se recomienda que la arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular, uniforme Su graduación será tal que pase por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. El espesor de esta capa, no deberá ser menor de 3 cm, ni mayor de 5 centímetros.
- 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, sección 502, página 273.

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

## **Bibliografía**

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

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

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

Fonseca, Rodríguez. M. (2010). Ingenieria de Pavimentos para Carreteras 2da.

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

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

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

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

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

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

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

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

# ANEXOS



**Imagen 13.** Micro localización



*Fuente: Elaboración propia, mapa de Google Earth*

**Tabla 46. Cuadro de curvas horizontales.**

| ESTACION |      | deflexión       | CUERDA INVERSA | DATOS DE CURVA 1                      | Azimuth         |
|----------|------|-----------------|----------------|---------------------------------------|-----------------|
| KM       | TIPO |                 |                |                                       |                 |
| 0+000.00 |      |                 |                |                                       |                 |
| 0+360.10 | PC   |                 | 360.101        | $\Delta = 4^{\circ} 38' 1.81''$ izq   | 120° 21' 25.93" |
| 0+452.78 | PT   | 357° 40' 59.10" | 92.651         | ST = 46.364                           | 118° 2' 25.03"  |
|          |      |                 |                | PI = 0+406.46                         |                 |
|          |      |                 |                | Gc = 1° 0' 0.00"                      |                 |
|          |      |                 |                | Lc = 92.677                           |                 |
|          |      |                 |                | Rc = 1145.916                         |                 |
| ESTACION |      | deflexión       | CUERDA INVERSA | DATOS DE CURVA 2                      | Azimuth         |
| KM       | TIPO |                 |                |                                       |                 |
| 0+551.97 | PC   |                 | 99.194         | $\Delta = 6^{\circ} 42' 48.91''$ izq  | 115° 43' 24.13" |
| 0+619.11 | PT   | 356° 38' 35.54" | 67.097         | ST = 33.606                           | 112° 21' 59.67" |
|          |      |                 |                | PI = 0+585.58                         |                 |
|          |      |                 |                | Gc = 2° 0' 0.00"                      |                 |
|          |      |                 |                | Lc = 67.136                           |                 |
|          |      |                 |                | Rc = 572.958                          |                 |
| ESTACION |      | deflexión       | CUERDA INVERSA | DATOS DE CURVA 3                      | Azimuth         |
| KM       | TIPO |                 |                |                                       |                 |
| 0+680.06 | PC   |                 | 60.949         | $\Delta = 12^{\circ} 24' 35.85''$ izq | 109° 0' 35.21"  |
| 0+742.11 | PT   | 353° 47' 42.08" | 61.929         | ST = 31.147                           | 102° 48' 17.29" |
|          |      |                 |                | PI = 0+711.20                         |                 |
|          |      |                 |                | Gc = 4° 0' 0.00"                      |                 |
|          |      |                 |                | Lc = 62.050                           |                 |
|          |      |                 |                | Rc = 286.479                          |                 |
| ESTACION |      | deflexión       | CUERDA INVERSA | DATOS DE CURVA 4                      | Azimuth         |
| KM       | TIPO |                 |                |                                       |                 |
| 0+892.54 | PI   |                 | 150.436        | $\Delta = 0^{\circ} 39' 35.25''$ der  | 96° 35' 59.37"  |
| 1+011.55 | PC   |                 | 119.003        | $\Delta = 4^{\circ} 40' 50.48''$ izq  | 95° 56' 24.12"  |
| 1+105.16 | PT   | 357° 39' 34.76" | 93.588         | ST = 46.833                           | 93° 35' 58.88"  |
|          |      |                 |                | PI = 1+058.38                         |                 |
|          |      |                 |                | Gc = 1° 0' 0.00"                      |                 |
|          |      |                 |                | Lc = 93.614                           |                 |
|          |      |                 |                | Rc = 1145.916                         |                 |

*Fuente: Elaboración propia, Civilcad 2015*

**Tabla 47. Cuadro de curvas verticales**

| Datos de curva (1)                               |             |           |           |                          |                                  |
|--------------------------------------------------|-------------|-----------|-----------|--------------------------|----------------------------------|
| Pendiente %                                      |             | PIV       |           | Longitud de curva (N)    | Intervalo entre estaciones (mts) |
| Entrada (P1)                                     | Salida (P2) | Estación  | Elevación |                          |                                  |
| 0.816                                            | -1.195      | 0+467.223 | 482.8138  | 30.00                    | 20.00                            |
| Diferencia algebraica de pendientes (A) = 2.011% |             |           |           | Tipo de curva: En cresta |                                  |

| Z (n) | Descripción | Estación  | Elev. (S/Tang.) | Elev. (S/Curva) |
|-------|-------------|-----------|-----------------|-----------------|
| 0     | PCV         | 0+452.223 | 482.691         | 482.691         |
| 1     |             | 0+472.223 | 482.754         | 482.721         |
| 2     | PTV         | 0+482.223 | 482.635         | 482.635         |

| Datos de curva (2)                                |             |           |           |                            |                                  |
|---------------------------------------------------|-------------|-----------|-----------|----------------------------|----------------------------------|
| Pendiente %                                       |             | PIV       |           | Longitud de curva (N)      | Intervalo entre estaciones (mts) |
| Entrada (P1)                                      | Salida (P2) | Estación  | Elevación |                            |                                  |
| -1.195                                            | 0.281       | 0+891.054 | 477.7505  | 20.00                      | 20.00                            |
| Diferencia algebraica de pendientes (A) = -1.476% |             |           |           | Tipo de curva: En columpio |                                  |

| Z (n) | Descripción | Estación  | Elev. (S/Tang.) | Elev. (S/Curva) |
|-------|-------------|-----------|-----------------|-----------------|
| 0     | PCV         | 0+881.054 | 477.870         | 477.870         |
| 1     | PTV         | 0+901.054 | 477.779         | 477.779         |

*Fuente: Elaboración propia*

**Imagen 14. Cuadros de curvas horizontales del programa Civilcad**

**Datos de entrada Curva Horizontal 1**

Tipo de camino:

Datos calculados por reglamento

V=30-70km/h    Sc=3.0%    Le=19.20m  
Gcmax=11°0'0.00"    Ac=30.0cm    N=19.200m

Velocidad de proyecto(km/h):

Grado de curvatura Gc:  °  '  ''  
(Gc mínimo = 0°36'49.02")

Sobreelevación al centro Sc %:

Sobreelevación al centro Sc %:

Sobreelevación al centro Sc %:

Tipo de curva: ☒ Simple ☐ Espiral

Bombeo: ☐ 2% ☒ 3%

Sobreelevación inicial %:

Sobreelevación final %:

No. de segmentos curva espiral:

Longitudes de transición

Entrada

Le:

% fuera de curva:

Le máxima = 139.01

Long. requerida en tangente = 96.36

Long. disponible en tangente = 406.46

Salida

Le:

% fuera de curva:

Le máxima = 51.90

Long. requerida en tangente = 86.36

Long. disponible en tangente = 115.56

☐ No mostrar mensajes de advertencia por reglamento.

### Datos de entrada Curva Horizontal 2

Tipo de camino: E

Datos calculados por reglamento

|                  |           |           |
|------------------|-----------|-----------|
| V=30-70km/h      | Sc=3.0%   | Le=19.20m |
| Gcmax=11°0'0.00" | Ac=40.0cm | N=19.200m |

Velocidad de proyecto(km/h): 60

Grado de curvatura Gc: 2 ° 0 ' 0 "

(Gc mínimo = 1°46'26.18")

Sobreelevación al centro Sc %: 3

Sobrealcho Ac(cm): 40

Tipo de curva

☒ Simple ☐ Espiral

Bombeo

☐ 2% ☒ 3%

Sobreelevación inicial %: -3 Gráfica de sobre-elevaciones...

Sobreelevación final %: -3 Gráfica de sobrealchos...

No. de segmentos curva espiral: 10

Longitudes de transición

| Entrada                                                                          | Salida                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Le: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">20</span>               | Le: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">20</span>               |
| % fuera de curva: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">50</span> | % fuera de curva: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">50</span> |
| Le máxima = 36.13                                                                | Le máxima = 22.86                                                                |
| Long. requerida en tangente = 63.61                                              | Long. requerida en tangente = 63.61                                              |
| Long. disponible en tangente = 87.80                                             | Long. disponible en tangente = 67.89                                             |

☐ No mostrar mensajes de advertencia por reglamento.

Aceptar
Cancelar
Ayuda...

### Datos de entrada Curva Horizontal 3

Tipo de camino: E

Datos calculados por reglamento

|                  |           |           |
|------------------|-----------|-----------|
| V=30-70km/h      | Sc=3.6%   | Le=19.20m |
| Gcmax=11°0'0.00" | Ac=50.0cm | N=15.798m |

Velocidad de proyecto(km/h): 60

Grado de curvatura Gc: 4 ° 0 ' 0 "

(Gc mínimo = 3°30'59.36")

Sobreelevación al centro Sc %: 3.6

Sobrealcho Ac(cm): 50

Tipo de curva

☒ Simple ☐ Espiral

Bombeo

☐ 2% ☒ 3%

Sobreelevación inicial %: -3 Gráfica de sobre-elevaciones...

Sobreelevación final %: -3 Gráfica de sobrealchos...

No. de segmentos curva espiral: 10

Longitudes de transición

| Entrada                                                                          | Salida                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Le: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">20</span>               | Le: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">20</span>               |
| % fuera de curva: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">50</span> | % fuera de curva: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">50</span> |
| Le máxima = 23.21                                                                | Le máxima = 62.05                                                                |
| Long. requerida en tangente = 57.81                                              | Long. requerida en tangente = 57.81                                              |
| Long. disponible en tangente = 62.10                                             | Long. disponible en tangente = 181.58                                            |

☐ No mostrar mensajes de advertencia por reglamento.

Aceptar
Cancelar
Ayuda...

**Fuente: Elaboración propia, Civilcad 2015**

**Imagen 15. Cuadros de curvas verticales del programa Civilcad**

*Fuente: Elaboración propia, Civilcad 2015*

**Tabla 48. Conteo de Tráfico Vehicular por Día**

| HORA  |       | Fecha del aforo: Sábado 27 de abril de 2019 |       |      |      |                |          |                    |         |       |    |    |       |       |       |               |      |       |       |
|-------|-------|---------------------------------------------|-------|------|------|----------------|----------|--------------------|---------|-------|----|----|-------|-------|-------|---------------|------|-------|-------|
|       |       | Vehículos de Livianos                       |       |      |      | Veh. Pasajeros |          | Vehículos de Carga |         |       |    |    |       |       |       | Equipo Pesado |      |       | Total |
|       |       | Motos                                       | Autos | Jeep | Cam. | McBus          | MnBus    | Bus                | C2 Liv. | C2    | C3 | C4 | C2-R2 | C2-R3 | T3-S2 | V.A.          | V.C. | Otros |       |
|       |       |                                             |       |      |      | <15 s.         | 15-30 s. | 30+ s.             | 2-5 t.  | 5+ t. |    |    |       |       |       |               |      |       |       |
| 06:00 | 07:00 | 5                                           | 4     | 0    | 4    | 0              | 0        | 2                  | 5       | 4     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 24    |       |
| 07:00 | 08:00 | 3                                           | 5     | 0    | 3    | 0              | 0        | 0                  | 4       | 0     | 6  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 21    |       |
| 08:00 | 09:00 | 7                                           | 4     | 0    | 8    | 0              | 0        | 0                  | 5       | 0     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 24    |       |
| 09:00 | 10:00 | 6                                           | 8     | 0    | 5    | 0              | 0        | 3                  | 6       | 4     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 32    |       |
| 10:00 | 11:00 | 8                                           | 2     | 3    | 3    | 0              | 0        | 0                  | 7       | 0     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 23    |       |
| 11:00 | 12:00 | 2                                           | 5     | 1    | 2    | 0              | 0        | 0                  | 6       | 6     | 5  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 27    |       |
| 12:00 | 13:00 | 0                                           | 9     | 2    | 2    | 0              | 0        | 1                  | 5       | 9     | 2  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 30    |       |
| 13:00 | 14:00 | 1                                           | 6     | 0    | 0    | 0              | 0        | 0                  | 3       | 5     | 6  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 21    |       |
| 14:00 | 15:00 | 6                                           | 10    | 0    | 0    | 0              | 0        | 0                  | 5       | 6     | 7  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 34    |       |
| 15:00 | 16:00 | 8                                           | 4     | 0    | 2    | 0              | 0        | 0                  | 7       | 9     | 4  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 34    |       |
| 16:00 | 17:00 | 0                                           | 6     | 0    | 5    | 0              | 0        | 2                  | 0       | 0     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 13    |       |
| 17:00 | 18:00 | 0                                           | 11    | 0    | 0    | 0              | 0        | 4                  | 0       | 2     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 17    |       |
| TOTAL |       | 46                                          | 74    | 6    | 34   | 0              | 0        | 12                 | 53      | 45    | 30 | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 300   |       |

*Fuente: Elaboración propia*

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

| HORA  |       | Fecha del aforo: Domingo 28 de abril de 2019 |       |      |      |                |          |                    |        |       |    |    |       |       |       |               |      |       | Total |
|-------|-------|----------------------------------------------|-------|------|------|----------------|----------|--------------------|--------|-------|----|----|-------|-------|-------|---------------|------|-------|-------|
|       |       | Vehículos de Livianos                        |       |      |      | Veh. Pasajeros |          | Vehículos de Carga |        |       |    |    |       |       |       | Equipo Pesado |      |       |       |
|       |       |                                              |       |      |      |                |          |                    |        |       |    |    |       |       |       |               |      |       |       |
|       |       | Motos                                        | Autos | Jeep | Cam. | McBus          | MnBus    | Bus                | Liv.   | C2    | C3 | C4 | C2-R2 | C2-R3 | T3-S2 | V.A.          | V.C. | Otros |       |
|       |       |                                              |       |      |      | <15 s.         | 15-30 s. | 30+ s.             | 2-5 t. | 5+ t. |    |    |       |       |       |               |      |       |       |
| 06:00 | 07:00 | 0                                            | 3     | 0    | 0    | 0              | 0        | 1                  | 0      | 0     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 4     |       |
| 07:00 | 08:00 | 2                                            | 6     | 0    | 3    | 0              | 0        | 0                  | 1      | 0     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 12    |       |
| 08:00 | 09:00 | 0                                            | 3     | 0    | 1    | 0              | 0        | 0                  | 4      | 0     | 8  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 16    |       |
| 09:00 | 10:00 | 3                                            | 4     | 0    | 3    | 0              | 0        | 1                  | 0      | 0     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 11    |       |
| 10:00 | 11:00 | 10                                           | 2     | 0    | 9    | 0              | 0        | 0                  | 2      | 0     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 23    |       |
| 11:00 | 12:00 | 0                                            | 5     | 0    | 7    | 0              | 0        | 0                  | 1      | 0     | 3  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 16    |       |
| 12:00 | 13:00 | 0                                            | 4     | 0    | 3    | 0              | 0        | 0                  | 4      | 5     | 2  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 18    |       |
| 13:00 | 14:00 | 3                                            | 3     | 0    | 5    | 0              | 0        | 1                  | 3      | 2     | 9  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 26    |       |
| 14:00 | 15:00 | 1                                            | 6     | 0    | 4    | 0              | 0        | 0                  | 6      | 7     | 4  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 28    |       |
| 15:00 | 16:00 | 9                                            | 4     | 0    | 7    | 0              | 0        | 0                  | 5      | 3     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 28    |       |
| 16:00 | 17:00 | 0                                            | 8     | 0    | 0    | 0              | 0        | 0                  | 0      | 1     | 6  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 15    |       |
| 17:00 | 18:00 | 0                                            | 2     | 0    | 0    | 0              | 0        | 0                  | 4      | 2     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 8     |       |
| TOTAL |       | 28                                           | 50    | 0    | 42   | 0              | 0        | 3                  | 30     | 20    | 32 | 0  | 0     | 0     | 0     | 0             | 0    | 205   |       |

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 50. Conteo de Tráfico Vehicular por Día.**

| HORA  |       | Fecha del aforo: Lunes 29 de abril de 2019 |       |      |      |                |          |                    |        |       |    |    |       |       |       |      |               |       | Total |  |
|-------|-------|--------------------------------------------|-------|------|------|----------------|----------|--------------------|--------|-------|----|----|-------|-------|-------|------|---------------|-------|-------|--|
|       |       | Vehículos de Livianos                      |       |      |      | Veh. Pasajeros |          | Vehículos de Carga |        |       |    |    |       |       |       |      | Equipo Pesado |       |       |  |
|       |       |                                            |       |      |      |                |          | Bus                | Liv.   | C2    | C3 | C4 | C2-R2 | C2-R3 | T3-S2 | V.A. | V.C.          | Otros |       |  |
|       |       | Motos                                      | Autos | Jeep | Cam. | McBus          | MnBus    | 30+ s.             | 2-5 t. | 5+ t. |    |    |       |       |       |      |               |       |       |  |
|       |       |                                            |       |      |      | <15 s.         | 15-30 s. |                    |        |       |    |    |       |       |       |      |               |       |       |  |
| 06:00 | 07:00 | 8                                          | 3     | 0    | 5    | 0              | 0        | 2                  | 0      | 0     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 18    |       |  |
| 07:00 | 08:00 | 4                                          | 7     | 0    | 8    | 0              | 0        | 0                  | 3      | 9     | 8  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 39    |       |  |
| 08:00 | 09:00 | 6                                          | 0     | 0    | 3    | 0              | 0        | 0                  | 4      | 7     | 7  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 27    |       |  |
| 09:00 | 10:00 | 0                                          | 8     | 3    | 1    | 0              | 0        | 3                  | 2      | 2     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 19    |       |  |
| 10:00 | 11:00 | 0                                          | 3     | 0    | 2    | 0              | 0        | 0                  | 3      | 8     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 16    |       |  |
| 11:00 | 12:00 | 9                                          | 6     | 0    | 5    | 0              | 0        | 0                  | 6      | 5     | 5  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 36    |       |  |
| 12:00 | 13:00 | 0                                          | 1     | 0    | 0    | 0              | 0        | 0                  | 1      | 3     | 3  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 8     |       |  |
| 13:00 | 14:00 | 0                                          | 3     | 0    | 0    | 0              | 0        | 1                  | 7      | 9     | 3  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 23    |       |  |
| 14:00 | 15:00 | 0                                          | 5     | 0    | 0    | 0              | 0        | 0                  | 4      | 0     | 9  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 18    |       |  |
| 15:00 | 16:00 | 0                                          | 1     | 0    | 0    | 0              | 0        | 2                  | 1      | 9     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 13    |       |  |
| 16:00 | 17:00 | 0                                          | 1     | 0    | 0    | 0              | 0        | 0                  | 9      | 5     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 15    |       |  |
| 17:00 | 18:00 | 7                                          | 1     | 0    | 9    | 0              | 0        | 4                  | 1      | 5     | 5  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 32    |       |  |
| TOTAL |       | 34                                         | 39    | 3    | 33   | 0              | 0        | 12                 | 41     | 62    | 40 | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 264   |       |  |

*Fuente: Elaboración propia*

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

| HORA  |       | Fecha del aforo: Martes 30 de abril de 2019 |       |      |      |                |          |                    |        |       |    |    |       |       |       |      |               |       | Total |  |
|-------|-------|---------------------------------------------|-------|------|------|----------------|----------|--------------------|--------|-------|----|----|-------|-------|-------|------|---------------|-------|-------|--|
|       |       | Vehículos de Livianos                       |       |      |      | Veh. Pasajeros |          | Vehículos de Carga |        |       |    |    |       |       |       |      | Equipo Pesado |       |       |  |
|       |       | Motos                                       | Autos | Jeep | Cam. | McBus          | MnBus    | Bus                | Liv.   | C2    | C3 | C4 | C2-R2 | C2-R3 | T3-S2 | V.A. | V.C.          | Otros |       |  |
|       |       |                                             |       |      |      | <15 s.         | 15-30 s. | 30+ s.             | 2-5 t. | 5+ t. |    |    |       |       |       |      |               |       |       |  |
| 06:00 | 07:00 | 0                                           | 2     | 3    | 2    | 0              | 0        | 2                  | 2      | 0     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 11    |       |  |
| 07:00 | 08:00 | 0                                           | 5     | 0    | 7    | 2              | 0        | 0                  | 1      | 7     | 10 | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 32    |       |  |
| 08:00 | 09:00 | 0                                           | 2     | 0    | 6    | 1              | 0        | 0                  | 1      | 0     | 12 | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 22    |       |  |
| 09:00 | 10:00 | 11                                          | 7     | 0    | 0    | 4              | 0        | 3                  | 4      | 0     | 22 | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 51    |       |  |
| 10:00 | 11:00 | 3                                           | 1     | 0    | 0    | 0              | 0        | 0                  | 1      | 7     | 10 | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 22    |       |  |
| 11:00 | 12:00 | 7                                           | 4     | 0    | 6    | 1              | 0        | 0                  | 1      | 2     | 9  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 30    |       |  |
| 12:00 | 13:00 | 0                                           | 5     | 0    | 8    | 1              | 0        | 0                  | 1      | 1     | 3  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 19    |       |  |
| 13:00 | 14:00 | 0                                           | 2     | 0    | 7    | 0              | 0        | 1                  | 4      | 1     | 1  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 16    |       |  |
| 14:00 | 15:00 | 6                                           | 7     | 0    | 16   | 3              | 0        | 0                  | 7      | 4     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 43    |       |  |
| 15:00 | 16:00 | 0                                           | 3     | 0    | 1    | 0              | 0        | 2                  | 2      | 5     | 1  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 14    |       |  |
| 16:00 | 17:00 | 0                                           | 11    | 0    | 0    | 0              | 0        | 0                  | 1      | 1     | 3  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 16    |       |  |
| 17:00 | 18:00 | 0                                           | 4     | 0    | 0    | 0              | 0        | 4                  | 2      | 0     | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 10    |       |  |
| TOTAL |       | 27                                          | 53    | 3    | 53   | 12             | 0        | 12                 | 27     | 28    | 71 | 0  | 0     | 0     | 0     | 0    | 0             | 286   |       |  |

*Fuente: Elaboración propia*

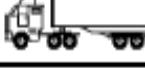
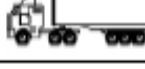
**Tabla 52. Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo.**

(Vehículos Liviano y Pasajeros)

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

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

**Tabla 53.** Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo.  
(Vehículos Pesados)

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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura vial (MTI)

**Tabla 54. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes simples.**

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

*Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.*

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

**Tabla 55. Factores Equivalentes de Cargas, Ejes Tándem.**

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

**Fuente:** Manual AASHTO-93 Design Requirements.

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

**Tabla 56.** Factores de ejes Kips a Interpolar

| FACTORES DE EJES KIPS                                         |                                                             |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Ejes Sencillos                                                | Ejes Dobles                                                 |
| 2.2,4.4,8.8,11,17.6                                           | 36.3                                                        |
| $y_{2.2} = 0.0002 + \frac{2.2 - 2}{4 - 2} (0.002 - 0.0002)$   | $y_{4.4} = 0.002 + \frac{4.4 - 4}{6 - 4} (0.009 - 0.0002)$  |
| $y_{2.2} = 0.0002 + \frac{0.2}{2} (0.0018)$                   | $y_{4.4} = 0.002 + \frac{0.4}{2} (0.007)$                   |
| <b><math>y_{2.2} = 0.00038</math></b>                         | <b><math>y_{4.4} = 0.0034</math></b>                        |
| $y_{8.8} = 0.031 + \frac{8.8 - 8}{10 - 8} (0.079 - 0.031)$    | $y_{11} = 0.079 + \frac{1}{2} (0.095)$                      |
| $y_{8.8} = 0.031 + \frac{0.8}{2} (0.048)$                     | $y_{11} = 0.079 + \frac{11 - 10}{12 - 10} (0.174 - 0.79)$   |
| <b><math>y_{8.8} = 0.0502</math></b>                          | <b><math>y_{11} = 0.1265</math></b>                         |
| $y_{17.6} = 0.603 + \frac{17.6 - 16}{18 - 16} (1.00 - 0.603)$ | $y_{36.3} = 1.38 + \frac{36.3 - 36}{38 - 36} (1.73 - 1.38)$ |
| $y_{17.6} = 0.603 + \frac{1.6}{2} (0.397)$                    | $y_{36.3} = 1.38 + \frac{0.3}{2} (0.35)$                    |
| <b><math>y_{17.6} = 0.9206</math></b>                         | <b><math>y_{36.3} = 1.4325</math></b>                       |

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 57.** Clasificación de suelos, según AASHTO.

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

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

EXPERIMENTAL SOIL MECHANICS, JEAN - PIERRE BARDET.

**Fuente:** Libro de Diseño de Pavimentos, AASHTO 93.

**Tabla 58. Resultados ensayos de sondeos de línea**

| Estación | Desviación (m) | Sondeo No. | Muestra No. | Profundidad (cm) | GRANULOMETRIA |     |      |     |    |      |     |    |    |     | Límite % |    | Clasificación H.R.B. | C.B.R. a Compact. |
|----------|----------------|------------|-------------|------------------|---------------|-----|------|-----|----|------|-----|----|----|-----|----------|----|----------------------|-------------------|
|          |                |            |             |                  | 3"            | 2"  | 1 ½" | 1"  | ¾" | 3/8" | 4   | 10 | 40 | 200 | LL       | IP |                      |                   |
| 0+000    | 2.10 Der.      | S-1        | 1           | 0-25             |               |     | 100  | 96  | 93 | 81   | 65  | 55 | 34 | 24  | 24       | 10 | A-2-4(0)             | 26                |
|          |                |            | 2           | 25-30            |               | 100 | 79   | 73  | 66 | 53   | 39  | 34 | 29 | 24  | 29       | 7  | A-2-4(0)             | 26                |
|          |                |            | 3           | 30-45            |               |     |      | 100 | 92 | 83   | 72  | 60 | 37 | 29  | 36       | 11 | A-2-6(0)             | 21                |
|          |                |            | 4           | 45-65            |               |     |      |     |    |      | 100 | 90 | 75 | 55  | 41       | 14 | A-7-6(6)             |                   |
|          |                |            | 5           | 65-85            |               |     |      |     |    |      | 100 | 96 | 78 | 66  | 31       | 9  | A-4(6)               | 16                |
|          |                |            | 6           | 85-150           |               |     |      |     |    |      | 100 | 95 | 47 | 22  | -        | NP | A-1-b(0)             | 38                |
|          |                |            |             |                  |               |     |      |     |    |      |     |    |    |     |          |    |                      |                   |
| 0+200    | 2.10 Izq.      | S-2        | 7           | 0-10             |               |     |      | 100 | 92 | 83   | 72  | 60 | 37 | 29  | 36       | 11 | A-2-6(0)             | 21                |
|          |                |            | 8           | 10-150           |               |     |      |     | 94 | 87   | 68  | 61 | 50 | 39  | 45       | 15 | A-7-6(2)             | 5                 |
|          |                |            |             |                  |               |     |      |     |    |      |     |    |    |     |          |    |                      |                   |
| 0+400    | 1.70 der.      | S-3        | 9           | 0-10             |               |     |      | 100 | 92 | 83   | 72  | 60 | 37 | 29  | 36       | 11 | A-2-6(0)             | 21                |
|          |                |            | 10          | 10-30            |               |     | 100  | 95  | 88 | 72   | 57  | 49 | 36 | 31  | 34       | 16 | A-2-6(0)             | 21                |
|          |                |            | 11          | 30-120           |               |     |      |     |    |      | 100 | 65 | 28 | 20  | 31       | 7  | A-2-4(0)             | 26                |
|          |                |            | 12          | 120-150          |               | 100 | 88   | 74  | 64 | 52   | 44  | 34 | 22 | 19  | 40       | 10 | A-2-4(0)             | 26                |

**Fuente:** NicaSolum.

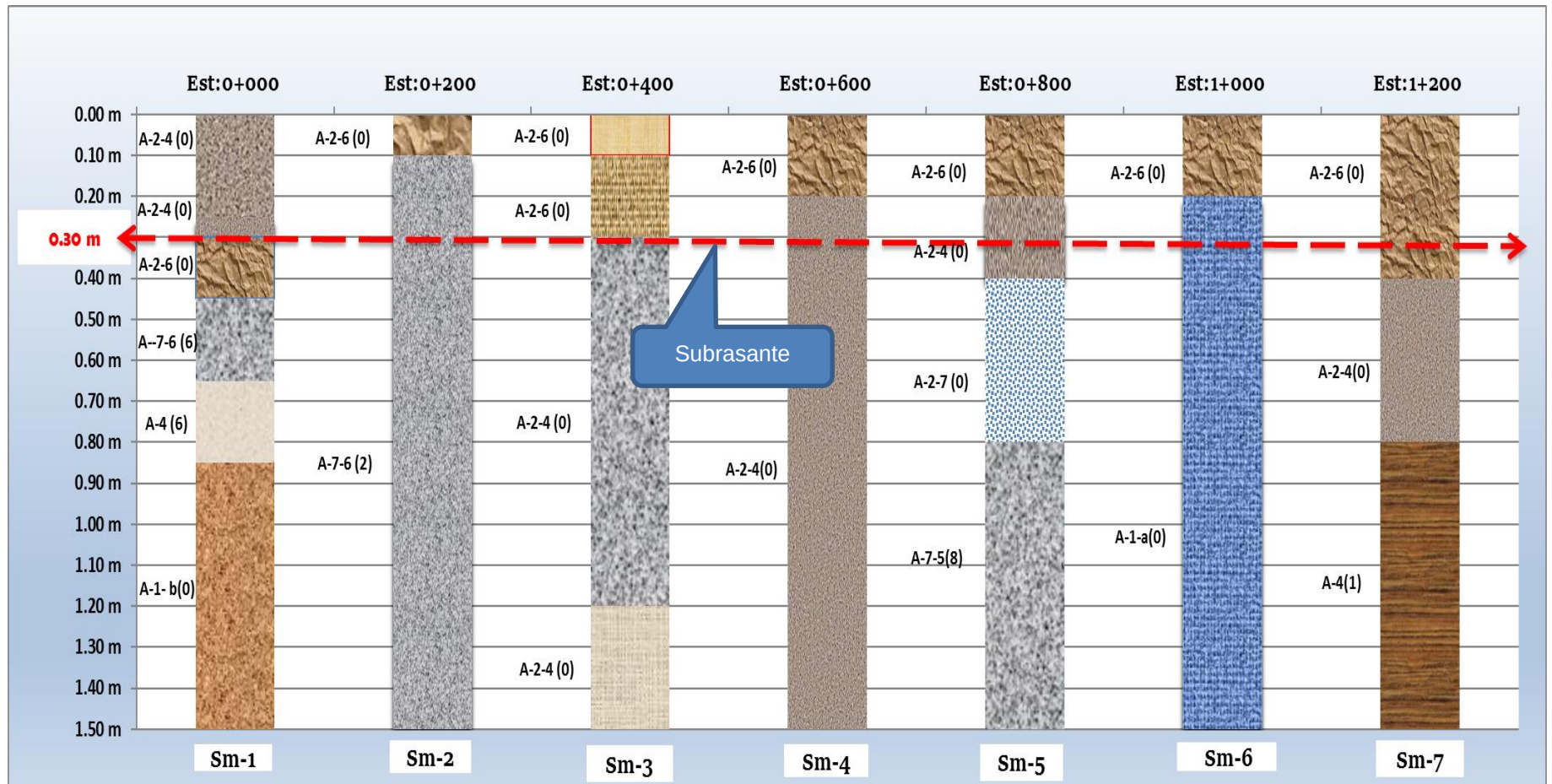
**Nota:** Las celdas coloreadas en negro son los CBR utilizar para el de diseño de subrasante.

**Tabla 59.** Resultados ensayos de sondeos de línea.

| Estación | Desviación (m) | Sondeo No. | Muestra No. | Profundidad (cm) | GRANULOMETRIA |     |        |     |      |      |     |    |    |     | Límite % |    | Clasificación H.R.B. | C.B.R. a Compact. |
|----------|----------------|------------|-------------|------------------|---------------|-----|--------|-----|------|------|-----|----|----|-----|----------|----|----------------------|-------------------|
|          |                |            |             |                  | 3"            | 2"  | 1 1/2" | 1"  | 3/4" | 3/8" | 4   | 10 | 40 | 200 | LL       | IP |                      |                   |
|          |                |            |             |                  |               |     |        | 100 | 92   | 83   | 72  | 60 | 37 | 29  | 36       | 11 |                      | 95                |
| 0+600    | 2.00 Der.      | S-4        | 13          | 0-20             |               |     |        | 100 | 92   | 83   | 72  | 60 | 37 | 29  | 36       | 11 | A-2-6(0)             | 21                |
|          |                |            | 14          | 20-150           |               |     |        |     |      |      | 100 | 63 | 22 | 16  | 32       | 8  | A-2-4(0)             | 26                |
| 0+800    | 2.10 LC        | S-5        | 15          | 0-20             |               |     |        | 100 | 92   | 83   | 72  | 60 | 37 | 29  | 36       | 11 | A-2-6(0)             | 21                |
|          |                |            | 16          | 20-40            | 100           | 72  | 65     | 60  | 48   | 41   | 36  | 27 | 16 | 12  | 33       | 8  | A-2-4(0)             | 26                |
|          |                |            | 17          | 40-80            |               | 100 | 97     | 94  | 91   | 77   | 66  | 58 | 40 | 33  | 51       | 19 | A-2-7(0)             | 20                |
|          |                |            | 18          | 80-150           |               |     |        |     |      |      | 100 | 93 | 80 | 52  | 49       | 14 | A-7-5(8)             | 3                 |
|          |                |            |             |                  |               |     |        |     |      |      |     |    |    |     |          |    |                      |                   |
| 1+000    | 2.00 LC        | S-6        | 19          | 0-20             |               |     |        | 100 | 92   | 83   | 72  | 60 | 37 | 29  | 36       | 11 | A-2-6(0)             | 21                |
|          |                |            | 20          | 20-150           | 100           | 84  | 69     | 55  | 45   | 36   | 27  | 19 | 12 | 10  | 37       | 6  | A-1-a(0)             | 42                |
|          |                |            | -           | 50-+             | Roca          |     |        |     |      |      |     |    |    |     |          |    |                      |                   |
|          |                |            |             |                  |               |     |        |     |      |      |     |    |    |     |          |    |                      |                   |
| 1+200    | 2.00 Der.      | S-7        | 21          | 0-40             |               |     |        | 100 | 92   | 83   | 72  | 60 | 37 | 29  | 36       | 11 | A-2-6(0)             | 21                |
|          |                |            | 22          | 40-80            |               |     |        |     | 100  | 90   | 80  | 66 | 40 | 33  | 30       | 7  | A-2-4(0)             | 26                |
|          |                |            | 23          | 80-150           |               |     |        | 100 | 97   | 93   | 85  | 67 | 45 | 38  | 36       | 8  | A-4(1)               | 20                |

**Fuente:** NicaSolum.

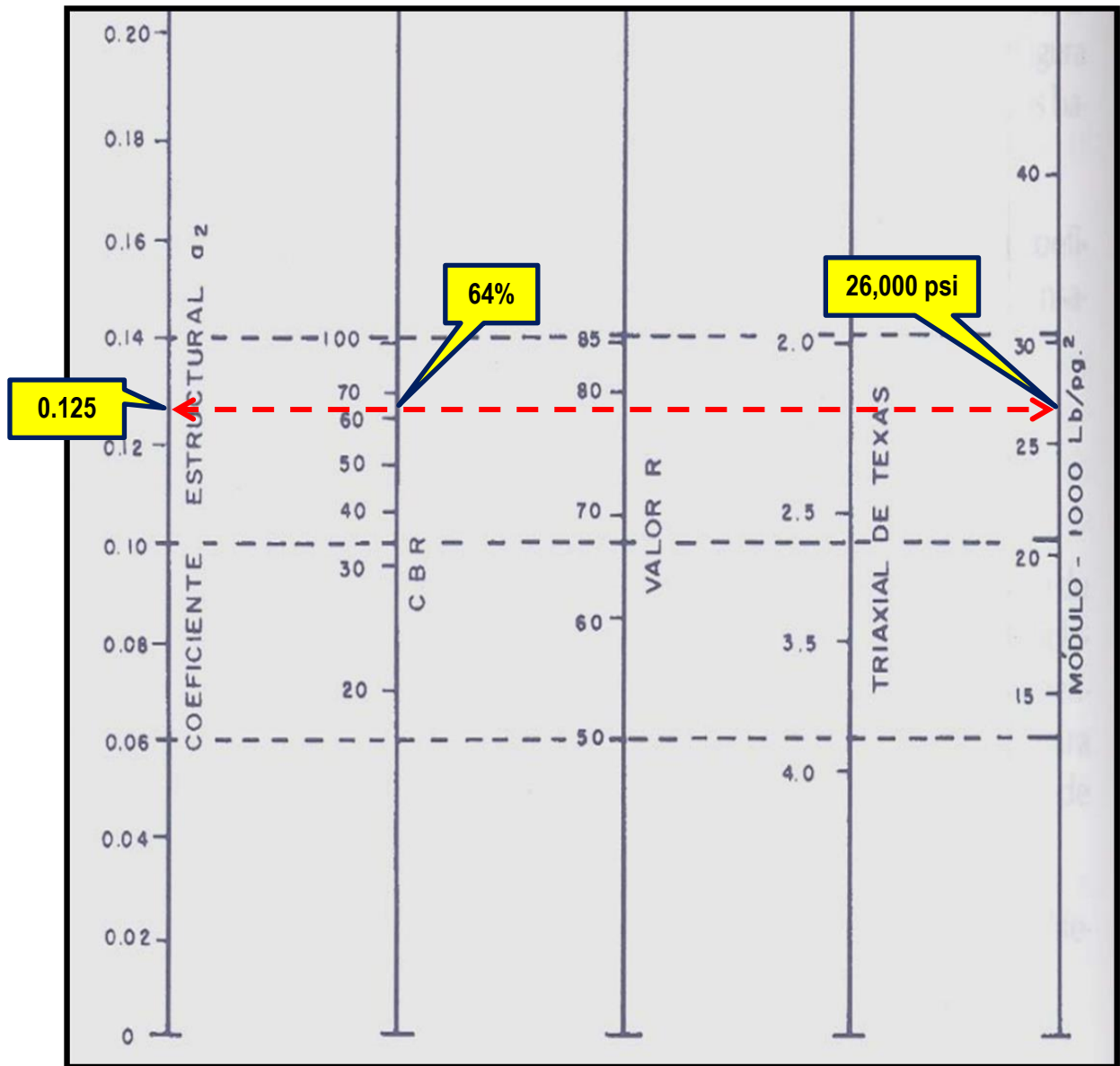
**Gráfico 10. Perfil estratigráfico**



*Fuente: Elaboración propia*

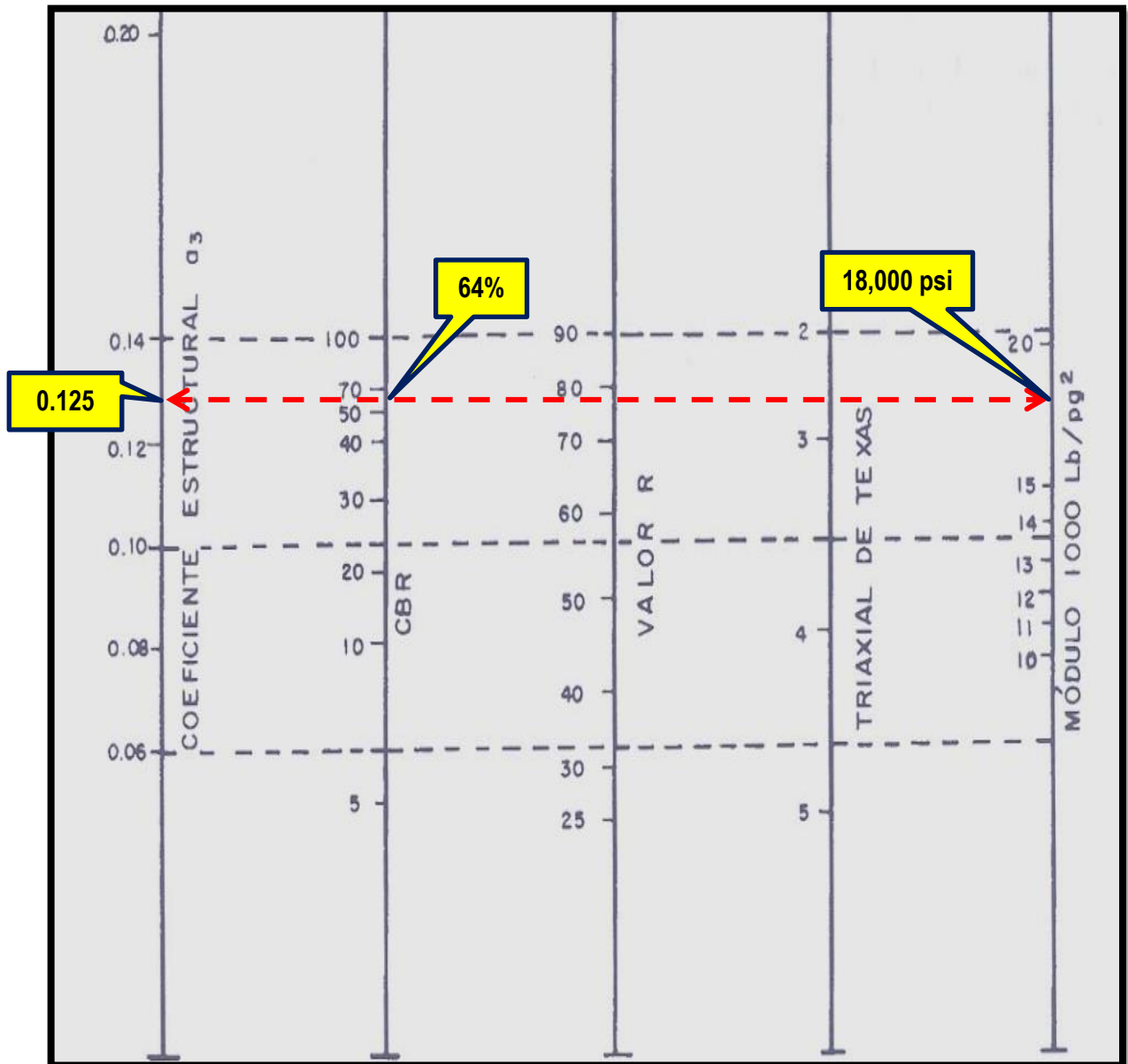
**Nota:** La línea roja refleja la de sub – rasante del terreno natural 0.30 m.

**Gráfico 11.** Obtención del Coeficiente estructural  $a_2$  y el Módulo Resiliente, para Base Granular



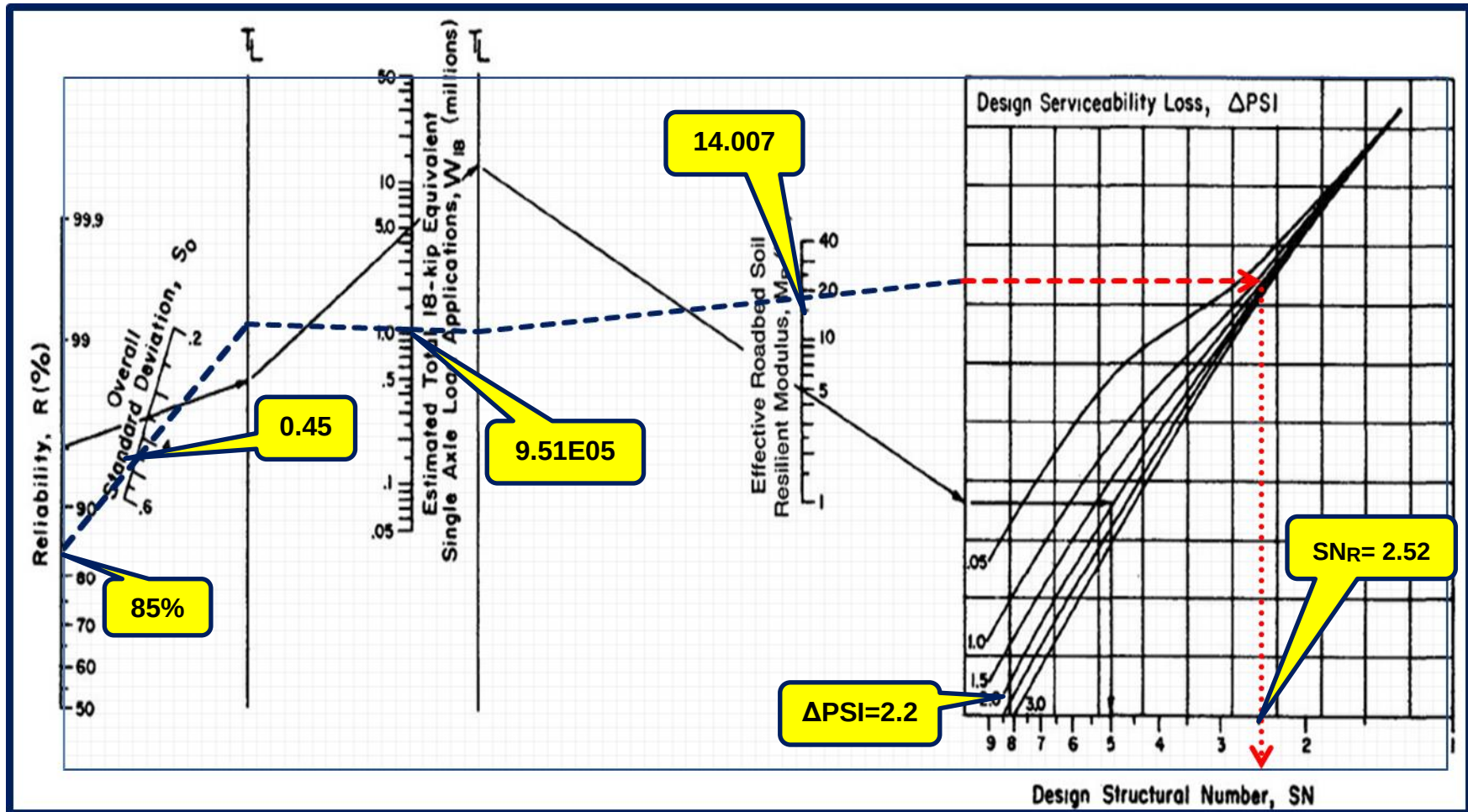
**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

**Gráfico 12.** Obtención del Coeficiente estructural  $a_3$  y el Módulo Resiliente, para Sub base Granular



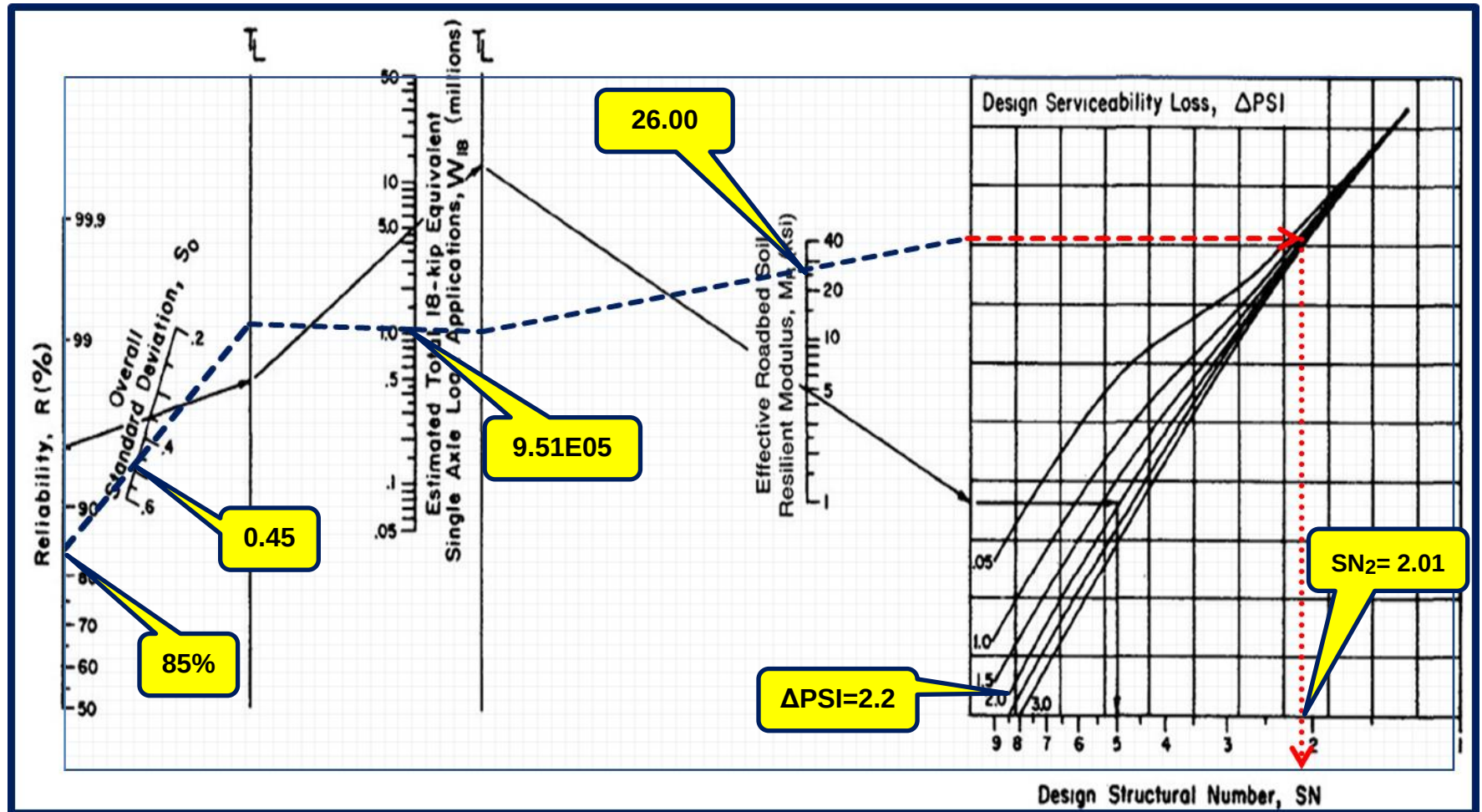
**Fuente:** Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

**Gráfico 13. Obtención del Número estructural ( $SN_{requerido}$ ) (Subrasante)**



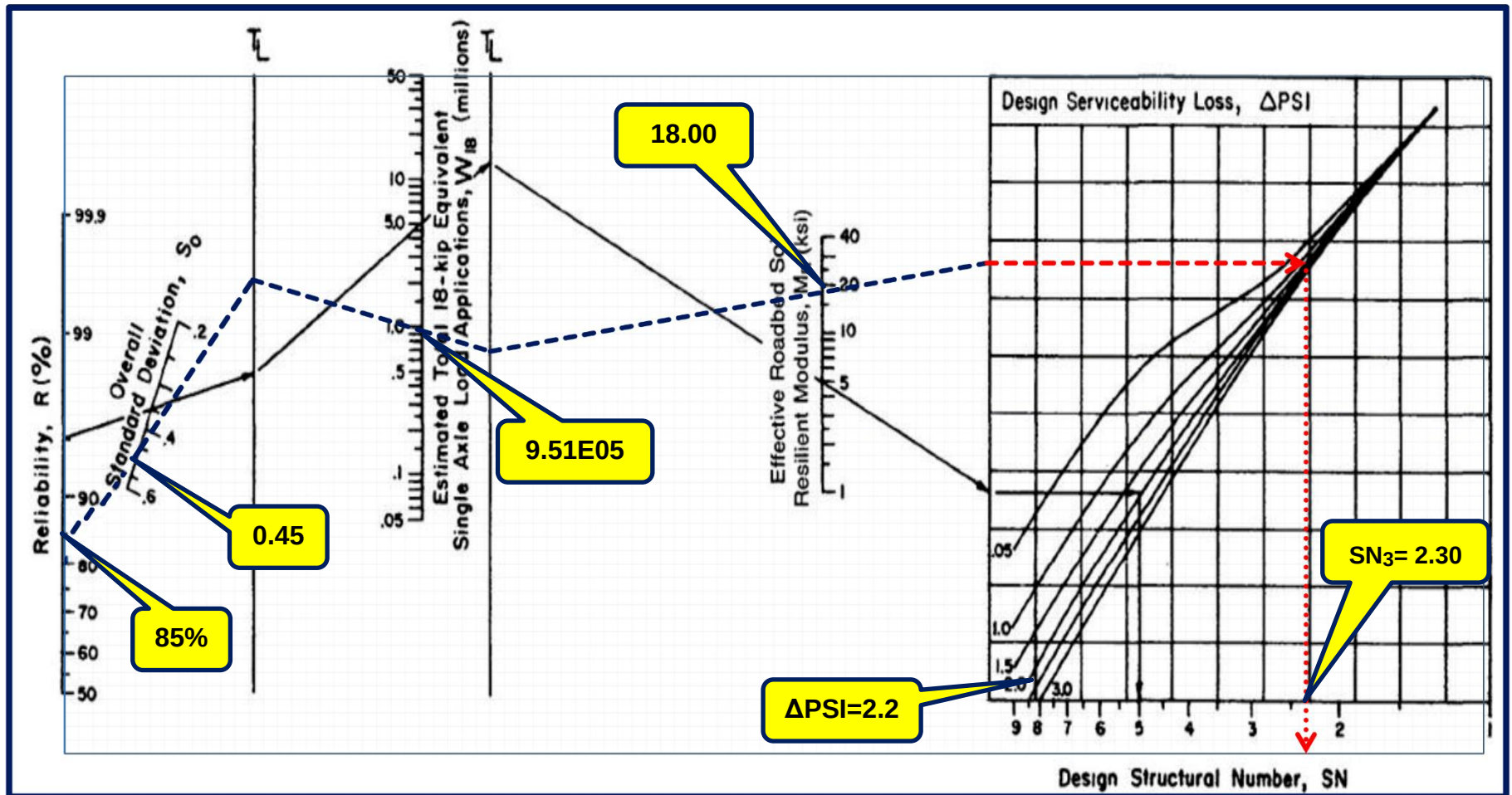
*Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993*

Gráfico 14. Obtención del Numero estructural SN<sub>2</sub> (Base)



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993

Gráfico 15. Obtención del Numero estructural  $SN_3$  (Subbase)



Fuente: Manual de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993

**Tabla 60. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Trafico.**

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

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

## **GLOSARIO.**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Pavimento articulado:** Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto prefabricado, llamados adoquines, de espesor uniforme e iguales entre sí.

Esta puede ir sobre una capa delgada de arena la cual a su vez se apoya sobre la capa de base granular o directamente sobre la sub-rasante, dependiendo de la calidad de esta y de la magnitud y frecuencia de las cargas por dicho pavimento.

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

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

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

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

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

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

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

**Tránsito:** Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras

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

# **PLANOS DEL PROYECTO**