



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

**Monografía**

**PROPUESTA DE DISEÑO GEOMETRICO Y DE ESTRUCTURA DE  
PAVIMENTO FLEXIBLE (ASFALTO) DE 2.1 KILOMETROS, CAMINO A  
EMPALME WANAWANA – BARRIO PABLO UBEDA, RIO BLANCO –  
MATAGALPA.**

Para optar al título de ingeniero civil

**Elaborado por**

Br. Acxel Fernando Bustamante Miranda.

Br. Luis Enrique Duarte Catín.

**Tutor**

MSc. Ing. Gioconda Isabel Juárez Romero.

Managua, mayo 2022

## *Agradecimiento*

*Agradezco a Dios nuestro señor por darme la bendición de estar culminando mis estudios profesionales como ingeniero civil y guiarme en esta larga caminata sobre el buen camino para lograrlo con éxito y satisfacción.*

*A mis padres especialmente a mi mamá que siempre estuvo a mi lado apoyándome cada día con amor, esfuerzo y sacrificio desde que era un niño hasta el día de hoy inculcándome los buenos valores como persona, a los familiares que de una u otra manera apoyaron a mis padres durante mis estudios y mi formación profesional para que en un futuro ponga en práctica todo este largo camino de aprendizaje.*

*A nuestra Tutora la Ingeniera Gioconda Juárez Romero por su gran apoyo en la revisión y corrección de nuestro documento monográfico, en su comprensión hacia nosotros y su disponibilidad para ayudarnos con esta meta.*

*A nuestros amigos, compañeros por su apoyo moral durante el transcurso de la carrera y sobre todo a nuestra amiga María Inés López por su apoyo incondicional en el trabajo de campo.*

*Luis Enrique Duarte Catín*

## *Agradecimiento*

*Primeramente agradezco a Dios por la vida, por la grandeza de su Bendición de permitirme culminar con este tema monográfico, aunque hubo muchos percances, es de conciencia reconocer que sin Él, no hubiese sido posible, eternamente agradecido con la misericordia de Dios Padre, Hijo y Espíritu.*

*A mis padres, eternamente agradecido por sus enseñanzas, valentía, paciencia, conductores en este camino de la vida, muy especial quiero dedicar con nombre y apellido a mi Mamá Martha Miranda, por enseñarme la bondad de su corazón y guiarme por el buen camino y siempre acercándome a la vida de un buen Cristiano, y a mi Papá José Bustamante, por ese carácter muy característico, aguerrido, profesional, ético y lleno de valores, por sus valiosas enseñanzas en el transcurso de mi vida como Universitario y perfiles profesionales, gracias a los dos seres que me dieron la vida.*

*A nuestra Tutora y amiga la Master Ingeniera Gioconda Juárez Romero, por su paciencia, sus buenos valores y enseñanzas a lo largo de la monografía y también desde el primer año en mi vida universitaria, porque no solo ha sido tutora en mi monografía si no también una tutora en la vida, grandes enseñanzas de su vida como persona integrada ante la sociedad, como madre, como esposa y como el gran profesional y docente.*

*A mis familiares, muy en especial a mis hermanas Karen y Lidieth quienes siempre me han apoyado y también forzado para que pueda salir adelante, me han alentado en todo momento para que pueda cumplir con mis propósitos en la vida.*

*A todos mis compañeros, que fueron de gran apoyo durante el trascurso de mi vida estudiantil, y eternamente agradecido con la compañera María López quien fue de gran ayuda en el trabajo de campo, sin duda una gran amiga incondicional.*

***Axcel Fernando Bustamante Miranda***

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El presente documento monográfico está compuesto por 6 capítulos los cuales se detallan a continuación.

### **Capítulo I: Generalidades**

En este capítulo se presentan aspectos básicos tanto del documento como del proyecto que contiene introducción, antecedentes, justificación y objetivos.

### **Capítulo II. Estudio Topográfico**

Se muestran los datos levantados en la zona los cuales proporcionan las coordenadas, elevaciones y curvas de nivel para llevar a cabo el diseño de las curvas horizontales, perfiles longitudinales y transversales del tramo.

### **Capítulo III: Estudio Geotécnico**

Se presenta el análisis de los resultados de las muestras levantadas en el lugar de estudio que fueron proporcionados por la empresa Ingenieros Consultores S.A. Estas fueron sometidas a ensayos de granulometría, humedad, límites de consistencia, proctor y CBR con el fin de identificar los tipos de suelos existentes en la vía y de esta forma, determinar el posible uso de este.

Se muestra también el análisis de los resultados obtenidos en los bancos de materiales, estos estudios fueron brindados por la misma empresa.

### **Capítulo IV: Estudio de Tránsito**

El aforo vehicular, el cual permite presentar el estudio de tránsito necesario para determinar el número ESAL's, describe la recopilación de datos, clasificación de vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, procesamiento de la información, tasas de crecimiento, periodo de diseño, proyección del tránsito, tránsito inicial en el año cero, factor de crecimiento, factor de distribución direccional, factor carril, tránsito en el año n y número de año en el periodo de diseño.

## **Capítulo V: Diseño geométrico**

Se presenta el diseño geométrico del tramo Emp. WanaWana – Barrio Pablo Úbeda, este se ejecuta haciendo uso del “Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras 2011 (SIECA), acompañado con algunos criterios vigentes en la actualidad con el Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de carreteras 2004 (SIECA).

## **Capítulo VI: Diseño de pavimento**

Este capítulo comprende el diseño de pavimento flexible, de forma manual (Método del Instituto del Asfalto para Pavimentos Flexibles), el cual permite el cálculo de los espesores de las capas que conforman la estructura de pavimento propuesta para este diseño. A la vez se detalla el procedimiento para seleccionar los parámetros de diseño necesarios tales como: ejes equivalentes de diseño, confiabilidad, Serviciabilidad, desviación estándar y el CBR de diseño de la zona en estudio y del banco de materiales, para determinar el módulo resiliente de la sub-rasante, base y sub-base y el valor de los coeficientes estructurales.

## **Conclusiones y Recomendaciones**

### **Anexos**

Consta de esquemas, tablas, fotografías y planos que sirven como complemento para una mejor comprensión sobre el desarrollo de este documento.

## Índice

<b>Capítulo I. Generalidades</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
<b>Capítulo II. Estudio Topográfico</b>	<b>5</b>
2.1. Introducción	5
2.2. Estudio Topográfico	5
2.2.1. Topografía	5
2.2.2. Unidades de medida empleadas en topografía	6
2.3. Levantamientos Topográficos	7
2.3.1. Tipos de Levantamientos Topográficos	7
2.4. Desarrollo de un levantamiento topográfico	8
2.5. Planimetría	9
2.5.1. Levantamiento topográfico con teodolito y cinta	9
2.5.2. Levantamiento de detalles	9
2.5.2.1. Métodos utilizados en el levantamiento de detalles	10
2.6. Altimetría	10
2.6.1. Tipos de nivelación	10
2.7. Estación Total	11
2.7.1. Propósito de la Estación Total	12
2.7.2. Procedimiento del levantamiento topográfico con Estación Total	12

2.8. Levantamiento topográfico del tramo empalme WanaWana - Barrio Pablo Úbeda. ....	13
2.8.1. Equipos utilizados para el levantamiento topográfico .....	13
2.8.2. Procedimiento empleado para el levantamiento topográfico en el tramo en estudio.....	13
2.8.2.1. Puntos generales del levantamiento .....	14
2.9. Depuración de los puntos en Excel .....	15
2.9.1. Información extraída del equipo empleado en el levantamiento .....	15
2.10. Relieve del tramo en estudio.....	15
<b>Capítulo III. Estudio Geotécnico .....</b>	<b>21</b>
3.1. Introducción.....	21
3.2. Generalidades sobre el estudio geotécnico.....	22
3.2.1. Estudio de Suelos .....	22
3.2.2. Existen dos problemas al analizar los suelos en la naturaleza: .....	22
3.3. Clasificación de los suelos .....	23
3.3.1. Clasificación AASHTO .....	23
3.4. Compactación de los suelos.....	24
3.4.1. Factores que afectan la compactación de los suelos.....	24
3.4.1.1. Contenido de Humedad. ....	24
3.5. Energía de compactación.....	25
3.6. Tipo de suelo.....	25
3.7. Trabajo de campo .....	27
3.7.1. Sondeo sobre tramo de camino .....	27
3.8. Trabajo de laboratorio .....	29
3.9. Análisis de los resultados .....	31
3.10. Ensayos de Compactación.....	31



3.10.1.	Proctor modificado.....	31
3.10.2.	Ensayo de Valor Soporte California C.B.R .....	33
3.11.	Análisis de los resultados de compactación.....	35
3.12.	Sondeo de bancos de materiales .....	36
3.12.1.	Exploración y muestreo de los bancos .....	36
3.13.	Resultados de ensayos a bancos de materiales .....	37
3.14.	Análisis de los resultados obtenidos de los diferentes bancos de material. ....	38
3.15.	Análisis de las posibles Fuentes de materiales para bases y sub-bases de pavimento. ....	38
<b>Capítulo IV.</b>	<b>Estudio de Tránsito.....</b>	<b>39</b>
4.1.	Introducción.....	39
4.1.1.	Estudio de Tránsito .....	39
4.1.1.1.	Volumen de Tránsito .....	39
4.1.1.2.	Tránsito promedio diario (TPD) .....	40
4.1.1.3.	Transito promedio diario (TPDi) .....	40
4.1.1.4.	Tránsito promedio diario semanal (TPDS) .....	40
4.1.1.5.	Tránsito promedio diario mensual (TPDM).....	40
4.1.1.6.	Tránsito promedio diario anual (TPDA) .....	41
4.1.2.	Aforos vehiculares .....	41
4.1.3.	Tipos de estaciones de conteo vehicular .....	41
4.1.4.	Clasificación vehicular .....	42
4.2.	Procesamiento y análisis de información .....	43
4.3.	Determinación del vector de correspondencia .....	46
4.4.	Estación de Mayor Cobertura.....	46
4.5.	Estación de mayor cobertura asociada al tramo en estudio .....	47

4.6. Selección de estación de corta duración asociada al flujo vehicular que circula por el empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda .....	48
4.7. Factores de ajustes para cuantificar TPDA .....	50
4.8. Cálculo del TPDA .....	50
4.9. Proyección de tráfico futuro .....	54
4.9.1. Crecimiento poblacional .....	54
4.10. Crecimiento vehicular .....	56
4.10.1. Tasa de crecimiento .....	56
4.10.1.1. Cálculo de la Tasa de Crecimiento .....	56
4.10.2. Tasa de crecimiento vehicular aplicando la media geométrica ....	57
4.11. Producto Interno Bruto (PIB) .....	59
4.12. Promedio de las tasas de crecimiento .....	61
4.13. Tránsito de diseño .....	61
4.13.1. Periodo de diseño .....	61
4.13.2. Factor Direccional (FD) .....	62
4.13.3. Factor distribución carril (FC') .....	63
4.13.4. Factor de crecimiento (FC) .....	63
4.13.5. Tránsito proyectado para el año 2040 .....	64
4.13.6. Calculo del tránsito de diseño .....	65
<b>Capítulo V. Diseño Geométrico .....</b>	<b>67</b>
5.1. Introducción .....	67
5.2. Sistemas y Clasificaciones .....	68
5.3. Clasificación Funcional .....	68
5.4. Clasificación Funcional y Servicios Provistos .....	68
5.5. Colectoras Rurales .....	69
5.6. Clasificación de las carreteras regionales SIECA 2004 .....	70

5.7.	Clasificación de las carreteras regionales SIECA 2011.....	71
5.7.1.	Vehículo de Diseño.....	73
5.7.2.	Trayectorias Mínimas de Giro de los Vehículos de Diseño.....	75
5.8.	Velocidad.....	76
5.8.1.	Velocidad de Diseño .....	77
5.9.	Alineamiento Horizontal.....	79
5.9.1.	Tasas de Peralte y Factor de fricción lateral .....	81
5.9.1.1.	Criterio para la selección del peralte máximo del proyecto de carretera Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda .....	82
5.9.2.	Radio mínimo.....	83
5.9.3.	Curvas circulares simples .....	85
5.10.	Sobre ancho.....	87
5.11.	Alineamiento Vertical .....	93
5.12.	Rasante.....	94
5.13.	Tipos de curvas verticales.....	95
5.13.1.	Curva en cresta .....	95
5.13.2.	Curvas en columpio.....	95
5.14.	Calculo de curvas verticales del tramo en estudio. ....	97
5.14.1.	Datos de la curva vertical N°1 .....	97
<b>Capítulo VI.</b>	<b>Diseño de Pavimento .....</b>	<b>101</b>
6.1.	Introducción.....	101
6.2.	Componentes estructurales de un pavimento flexible .....	101
6.2.1.	Sub-rasante .....	101
6.2.2.	Sub-base .....	101
6.2.3.	Base.....	102
6.2.4.	Capa superficial o capa de rodadura .....	102

6.3.	Variables de diseño que intervienen en el modelo AASHTO - 93 .....	102
6.3.1.	Numero estructural SN .....	102
6.3.2.	Índice de Serviciabilidad .....	102
6.3.2.1.	Serviciabilidad Inicial (Po) .....	103
6.3.2.2.	Serviciabilidad Final (Pt).....	103
6.3.3.	Perdida de Serviciabilidad .....	103
6.4.	Análisis de carga y Ejes equivalentes para el diseño de pavimento ...	104
6.4.1.	Confiabilidad (R) .....	104
6.4.2.	Desviación estándar (S0).....	105
6.4.3.	Coeficiente de Drenaje .....	105
6.5.	Análisis de Cargas y Ejes Equivalentes para el Diseño de Pavimento	106
6.6.	Determinación del CBR de diseño .....	113
6.6.1.	Metodología del instituto del asfalto para determinación del CBR de diseño	113
6.7.	Módulo Resiliente (MR) .....	117
6.7.1.	Coeficientes Estructurales de capa (ai). .....	121
6.7.2.	Coeficiente estructural de la carpeta de Rodamiento (a1). .....	121
6.7.3.	Coeficiente estructural para base granular (a2) .....	123
6.7.4.	Coeficiente estructural Sub-base granular (a3) .....	123
6.8.	Criterios de Estabilidad y Posibilidad de Construcción.....	123
6.8.1.	Calculo Manual de los Espesores de Capa (D) y del Número Estructural (SN).....	124
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>129</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>132</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>133</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>I</b>

## **Índice de Tablas**

<b>Tabla N°1.</b>	<b>Base de datos de la Estación Total, libreta digital. ....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla N°2.</b>	<b>Clasificación de los Terrenos en Función de las Pendientes Naturales. ....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla N°3.</b>	<b>Resultados de las pendientes en el tramo, a cada 200 metros ....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla N°4.</b>	<b>Relación esfuerzo – Penetración .....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla N°5.</b>	<b>Clasificación del CBR.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla N°6.</b>	<b>Ensayos realizados sobre el tramo (km 0+030 – km 2+105) y banco de material.....</b>	<b>26</b>
<b>Tabla N°7.</b>	<b>Resumen de ensayos de laboratorio de la estación 0+030 a la 0+500. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabla N°8.</b>	<b>Resultados finales de ensayos de compactación .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla N°9.</b>	<b>Carga unitaria patrón .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla N°10.</b>	<b>Tabla de valores de CBR sobre el tramo en estudio .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla N°11.</b>	<b>Lista de bancos de materiales explorados.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla N°12.</b>	<b>Resultados de ensayos de laboratorio de piedra triturada....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla N°13.</b>	<b>Resumen de datos levantados en un periodo de 12 horas, sentido Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda (6:00 am – 6:00 pm) ..</b>	<b>44</b>
<b>Tabla N°14.</b>	<b>Aforo vehicular de la estación N° 1 de 12 horas, Transito Promedio Diurno de 12 Horas (TPDi).....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla N°15.</b>	<b>Vector geográfico de correspondencia .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla N°16.</b>	<b>Estación de mayor cobertura .....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla N°17.</b>	<b>Dependencia de estaciones.....</b>	<b>48</b>

<b>Tabla N°18. Tráfico Promedio Diario Anual Histórico por Tipo de Vehículo Año 2019. Estación de corta duración asociada al tráfico que circula por la zona en estudio (Estación de Corta Duración – Empalme WanaWana – San Pedro del Norte).....</b>	<b>49</b>
<b>Tabla N°19. Cálculo del TPDA, aplicando los factores de ajuste de la EMC 300 – Sébaco – Quebrada Honda. ....</b>	<b>51</b>
<b>Tabla N°20. Porcentaje de tráfico de vehículos livianos y pesados que circulan por el Empalme WanaWana .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla N°21. Porcentaje vehicular según el TPDA que circula por el Empalme WanaWana .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla N°22. Proyección de población en el municipio de Río Blanco según INIDE. 55</b>	
<b>Tabla N°23. Estación de corta duración asociada al tráfico que circula por la zona en estudio. ....</b>	<b>56</b>
<b>Tabla N°24. Datos históricos del TPDA tramo Emp. WanaWana - San Pedro del norte. ....</b>	<b>57</b>
<b>Tabla N°25. Tasa de crecimiento a diferentes periodos de ECD tramo Emp. WanaWana – San Pedro del Norte. ....</b>	<b>58</b>
<b>Tabla N°26. PIB en millones de córdobas y su tasa de crecimiento (TC) por año, período comprendido del 2006-2019 .....</b>	<b>60</b>
<b>Tabla N°27. Resumen de las diferentes tasas de crecimiento consideras.</b>	<b>61</b>
<b>Tabla N°28. Período de diseño para pavimento según AASHTO 93.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla N°29. Factor de distribución direccional .....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla N°30. Factor de distribución por carril. ....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla N°31. Proyección del tráfico al año 2040.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabla N°32. Tránsito de diseño por tipología vehicular .....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla N°33. Sistema de Clasificación Funcional.....</b>	<b>69</b>

<b>Tabla N°34. Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de Carriles y Tipo de Superficie de Rodamiento</b>	<b>71</b>
<b>Tabla N°35. Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de Carriles y Tipo de Superficie de Rodamiento.</b>	<b>72</b>
<b>Tabla N°36. Dimensiones de vehículos de diseño .....</b>	<b>74</b>
<b>Tabla N°37. Radios mínimos de Giro según Vehículos de Diseño .....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla N°38. Velocidad de diseño en función de los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno.....</b>	<b>79</b>
<b>Tabla N°39. Tasa de sobreelevación en función del tipo de área .....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla N°40. Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño, usando valores límites de “e” y “f”.84</b>	
<b>Tabla N°41. Clasificación de la carretera y características de diseño .....</b>	<b>89</b>
<b>Tabla N°42. Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.....</b>	<b>96</b>
<b>Tabla N°43. Control de diseño para curva vertical en columpio para distancia de visibilidad de parada. ....</b>	<b>96</b>
<b>Tabla N°44. Coeficiente de fricción longitudinal según velocidad de diseño.</b>	<b>97</b>
<b>Tabla N°45. Índices de Serviciabilidad inicial.....</b>	<b>103</b>
<b>Tabla N°46. Índices de Serviciabilidad final .....</b>	<b>103</b>
<b>Tabla N°47. Niveles de confiabilidad Recomendados por la AASHTO para distintas Clasificaciones Funcionales.....</b>	<b>104</b>
<b>Tabla N°48. Desviación estándar para Pavimentos Rígidos y Flexibles.</b>	<b>105</b>
<b>Tabla N°49. Coeficientes de drenajes para pavimentos flexibles.....</b>	<b>106</b>

Tabla N°50.	Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos y pesados.	108
Tabla N°51.	Calculo de LEF para un vehículo tipo Jeep.....	109
Tabla N°52.	Resultados de interpolaciones ejes simples, tándem y trídem	110
Tabla N°53.	Resultados de interpolaciones ejes simples, tándem y tridem	111
Tabla N°54.	Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips, estimando un periodo de diseño de 20 años, $P_t=2.0$ , y $SN=5$ .....	111
Tabla N°55.	Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips, estimando un periodo de diseño de 20 años, $P_t=2.0$ , y $SN=5$ .....	112
Tabla N°56.	Resumen de datos de CBR a una profundidad mayor de 0.30 mt.	114
Tabla N°57.	Criterio del instituto del Asfalto para la selección CBR de Diseño	115
Tabla N°58.	CBR de diseño .....	116
Tabla N°59.	Clasificación de los suelos para infraestructura de Pavimentos	117
Tabla N°60.	Espesores mínimos sugeridos por la AASTHO-93 para capas de concreto Asfáltico y base en función del tránsito.....	124
Tabla N°61.	Espesores de Diseño de la Estructura de Pavimentos .....	128
Tabla N°62.	Registro del levantamiento, tramo Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda. ....	III
Tabla N°63.	Resumen de ensayos de laboratorio estación 0+600 – 1+200.	XXVII
Tabla N°64.	Resumen de ensayos de laboratorio estación 1+200 a la 2+105.	XXVIII



Tabla N°65.	Resultados obtenidos de las curvas horizontales, curva N° 1.	XXXVII
Tabla N°66.	Resultados obtenidos, curva N° 2.....	XXXVIII
Tabla N°67.	Resultados obtenidos, curva N° 3.....	XXXIX
Tabla N°68.	Resultados obtenidos, curva N° 4.....	XL
Tabla N°69.	Cálculo de Curva vertical 1, curva en columpio .....	XLI
Tabla N°70.	Cálculo de Curva vertical 2, curva en columpio. ....	XLII
Tabla N°71.	Cálculo de curva vertical 3, curva en cresta. ....	XLIII
Tabla N°72.	Calculo de curva vertical 4, curva en columpio.....	XLIV
Tabla N°73.	Calculo de curva vertical 5, curva en cresta. ....	XLV
Tabla N°74.	Factores equivalentes de cargas para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t = 2.0$ , $SN = 5$ .....	XLVI
Tabla N°75.	Factores equivalentes de cargas para pavimentos flexibles, ejes tándem, $p_t = 2.0$ , $SN = 5$ .....	XLVII
Tabla N°76.	Factores equivalentes de cargas para pavimentos flexibles, ejes tridem, $p_t = 2.0$ , $SN = 5$ .....	XLVIII

## **Índice de Gráficos**

<b>Grafico 1. Porcentaje de tráfico de vehículos livianos y pesados que circulan por el Empalme WanaWana .....</b>	<b>52</b>
<b>Grafico 2. Porcentaje vehicular según el TPDA que circula por el Empalme WanaWana .....</b>	<b>53</b>
<b>Grafico 3. Elementos geométricos de una curva circular simple .....</b>	<b>85</b>
<b>Grafico 4. CBR de diseño .....</b>	<b>116</b>
<b>Grafico 5. Nomograma variación en el coeficiente (<math>a_2</math>) de capa base granular con varios parámetros de resistencia .....</b>	<b>119</b>
<b>Grafico 6. Nomograma Variación en el Coeficiente (<math>a_3</math>) de Capa Sub-base Granular con Varios Parámetros de Resistencia de Sub-base. ....</b>	<b>120</b>
<b>Grafico 7. Coeficiente estructural para capas asfálticas (<math>a_1</math>) Relacionado con Varios Ensayos. ....</b>	<b>122</b>
<b>Grafico 8. Nomograma para Encontrar el Número de Diseño Estructural SN</b>	<b>125</b>
<b>Grafico 9. Estructura de Pavimento Flexible .....</b>	<b>128</b>

## **Índice de Figuras**

<b>Figura N°1.</b>	<b>Relación entre el relieve y su representación mediante curvas de nivel.</b>	<b>16</b>
<b>Figura N°2.</b>	<b>Perfil del Terreno Natural del Emp. WanaWana – Barrio Pablo Úbeda.</b>	<b>20</b>
<b>Figura N°3.</b>	<b>Relación Peso volumétrico - Humedad .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura N°4.</b>	<b>Factores tercer cuatrimestre del año 2019 (EMC – 300: Sébaco – Quebrada Honda) Emp. WanaWana – Barrio Pablo Úbeda.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura N°5.</b>	<b>Vehículo de diseño <math>CX-RX \leq 4</math> e. (T3-S2).....</b>	<b>74</b>
<b>Figura N°6.</b>	<b>Sección típica de la vía empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda.</b>	<b>83</b>
<b>Figura N°7.</b>	<b>Componentes del sobreancho en curvas de carreteras .....</b>	<b>88</b>
<b>Figura N°8.</b>	<b>Elementos de una curva vertical.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura N°9.</b>	<b>Macro localización del Municipio de Rio Blanco, Departamento de Matagalpa.....</b>	<b>I</b>
<b>Figura N°10.</b>	<b>Micro localización El tramo Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda, está ubicado al noreste del municipio de Rio Blanco, departamento de Matagalpa. ....</b>	<b>II</b>
<b>Figura N°11.</b>	<b>Columna estratigráfica estacionamiento 0+030 a 0+700.....</b>	<b>XXIX</b>
<b>Figura N°12.</b>	<b>Columna estratigráfica de la estación 0+840 a 1+500.....</b>	<b>XXX</b>
<b>Figura N°13.</b>	<b>Columna estratigráfica de la estación 1+600 a 2+105.....</b>	<b>XXXI</b>
<b>Figura N°14.</b>	<b>Clasificación vehicular .....</b>	<b>XXXII</b>
<b>Figura N°15.</b>	<b>Única estación de conteo en Empalme WanaWana, estación 0+000 km.</b>	<b>XXXIII</b>
<b>Figura N°16.</b>	<b>Producto Interno Bruto expresados en millones de córdobas, periodo comprendido del 2006-2019 .....</b>	<b>XXXIV</b>
<b>Figura N°17.</b>	<b>Tasa de crecimiento del PIB, periodo 2007-2019.....</b>	<b>XXXV</b>

### **Índice de Fotografías**

**Fotografía N°1. Levantamiento topográfico Emp. WanaWana – Barrio Pablo Úbeda. XXV**

**Fotografía N°2. Levantamiento topográfico Emp. WanaWana – Barrio Pablo Úbeda. XXVI**

**Fotografía N°3. Aforo vehicular en la única estación de conteo, en el Emp. WanaWana, estación 0+000 km.....XXXVI**

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES



# **Capítulo I. Generalidades**

## **1.1. Introducción**

El diseño de una carretera es esencial, una pieza clave en el desarrollo económico y social en el territorio de cualquier país, porque es el único medio que posibilita el transporte de las personas y las cargas, la red de carreteras permite satisfacer las necesidades básicas. Por ello, para un país es estratégico desarrollar su sistema vial porque es el único modo con el que logra satisfacer las necesidades básicas en el transporte.

El presente documento abordará específicamente este modo de transporte, orientado principalmente al diseño geométrico y estructura de pavimento de una carretera, para lo cual, se ha considerado realizar el diseño y el uso de las nuevas tecnologías para realizar dicho diseño vial.

El camino en estudio al cual se realizará el diseño geométrico, corresponde al Empalme WanaWana – San Pedro del Norte (Matagalpa); (longitud 2,100m), ubicado en el área rural del municipio de Rio Blanco, departamento de Matagalpa. El tramo en estudio transita por un área productiva muy importante en materia de granos básicos y particularmente de ganadería. El tramo conecta con las comunidades de WanaWana, Ubu Norte y San Pedro del Norte, con municipios de importancia como Rio Blanco y Mulukuku.

Con la realización del diseño geométrico aplicando el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras SIECA-2011, se pretende crear un documento práctico que sirva de apoyo a los interesados en el área de vialidad para usar este método de diseño, cabe destacar que también se presentará un diseño con el Software Civil 3D 2018, cumpliendo con un diseño geométrico que tome en cuenta los principales actores de las características del tránsito, usuarios, vehículos, carreteras y controles, así también que brinde las condiciones óptimas de seguridad y eficiencia en los costos de operación de los vehículos.

## **1.2. Antecedentes**

El tramo en estudio es el principal acceso a la zona Ubu Norte y San Pedro del Norte los cuales son lugares de gran movimiento ganadero y granos básicos, en torno a él están establecidas diferentes comunidades como Pablo Úbeda, Caserío La Placa, Caserío El Porvenir, El Aguacate, Caño La Piedra, entre otros. La infraestructura básica encontrada en el borde de la vía son las viviendas de los pobladores, escuela, cementerio.

La empresa Ingenieros Consultores Centroamericanos S.A. ya abordó diferentes informes del sitio en estudio, los cuales presentan estudios de tráfico, estudios geotectónicos, levantamientos topográficos, propuestas de diseño, los cuales permite elaborar con una mejor visión el documento y detallar la propuesta de diseño adecuando a las necesidades del consumidor y del tipo de tráfico y suelo en el cual se hará el diseño.

La superficie de rodamiento de la vía actual, se observa bien delimitada, revestida con material granular compacto, el que se observa en buen estado en diferentes sectores de la trayectoria, lo cual es producto del proceso de mantenimiento que con frecuencia está siendo sometida por las autoridades edilicias del municipio de Rio Blanco.

En Nicaragua las mejoras del sistema vial a través del diseño geométrico manual y asistido por computadora (Auto CAD Civil 3D) que ayuda a la elaboración de proyectos de ingeniería civil con mayor facilidad y exactitud, ha ocupado un lugar preponderante fundamentalmente en el marco de la economía nacional.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), indica a las empresas consultoras a través de los términos de referencia, que los diseños geométricos de carreteras se pueden realizar usando distintos métodos, normas y Software Civil 3D, sin embargo los informes o documentos técnicos, deberán ser entregados con su respectiva copia en archivo electrónico (archivos de Auto Cad o pdf).

### **1.3. Justificación**

El gobierno de Nicaragua, a través de diferentes instituciones ha mostrado mayor interés en el desarrollo de la infraestructura vial de municipios y comunidades con alto potencial económico y social, implementando programas para el mejoramiento de las vías terrestres, lo cual demanda agilidad y eficiencia de las actividades de gabinete y de manera especial el Diseño Geométrico de Carreteras, para crear diferentes alternativas y seleccionar la que genere mejores beneficios a las zonas de influencias de los proyectos que se pretendan ejecutar.

El tramo en estudio Empalme WanaWana – Caserío Pablo Úbeda, que se emplaza en una zona de alto potencial agrícola y de ganadería, de inversiones en desarrollo de transporte público, demanda el mejoramiento de las condiciones actuales del camino objeto de estudio.

Para dar solución a las diferentes problemáticas, se requiere un diseño geométrico que proporcione seguridad, capacidad y calidad del transporte, debido que la evaluación de la infraestructura vial y las políticas de desarrollo económico actuales, buscan conservar, mejorar, ampliar y construir nuevas carreteras que cumplan rigurosamente las normas técnicas vigentes y/o se desarrollen procedimientos y técnicas de ingeniería vial nuevas que conlleven a un desarrollo económico sostenible para las generaciones actuales y futuras.



## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Proponer el diseño geométrico y estructura de pavimento flexible (asfalto) de 2.1 kilómetros del camino, empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda; Departamento de Matagalpa.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar el relieve a partir de las coordenadas del tramo en estudio, proporcionados por la empresa Ingenieros Consultores Centroamericanos S.A.
- ✓ Analizar el estudio geotécnico que realizó la empresa Ingenieros Consultores Centroamericanos S.A.
- ✓ Realizar un Aforo Vehicular que permita cuantificar el volumen de circulación en la zona, para determinar el TPDA y las cargas de diseño.
- ✓ Diseñar geométricamente el tramo de 2.1 kilómetros de camino, aplicando el manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras SIECA-2011.
- ✓ Proyectar los espesores de pavimento flexible (asfalto), aplicando el método de la AASHTO – 93.
- ✓ Elaborar los planos topográficos, generando las secciones transversales, planta-perfil, que representen el diseño geométrico del tramo en estudio con el Software AutoCAD Civil 3D 2018.

# CAPÍTULO II

## ESTUDIO TOPOGRÁFICO



## **Capítulo II. Estudio Topográfico**

### **2.1. Introducción**

En este capítulo se muestran datos que representan la topografía del terreno del área en estudio, con los datos altiplanimétricos se puede conocer las coordenadas, ángulos, distancias y las distintas alturas que componen el terreno, lo cual permite generar curvas de nivel y con esto, realizar un diseño transversal y longitudinal.

Se pretendía realizar este estudio mediante el levantamiento que realizó la empresa Ingenieros Consultores Centroamericanos S.A. La empresa no proporcionó estos datos, porque el proyecto está activo lo cual quiere decir que está en procesos de ejecución y por políticas de la empresa no se puede proveer, por lo cual se realizó el levantamiento topográfico.

### **2.2. Estudio Topográfico**

#### **2.2.1. Topografía**

Cuando se habla de Topografía, encontramos ante una disciplina de vital importancia en todos los procesos relacionados con la ingeniería en general. A nadie pasará desapercibido que en casi cualquier tipo de proyecto o estudio, será necesario disponer de un modelo, a escala reducida, del terreno sobre el que se va a plasmar las ideas, es decir, a construir. Posteriormente, la Topografía también será la fiel aliada para materializar en el terreno todo aquello que se ha proyectado. Queda claro, por tanto, que el conocimiento de las técnicas y métodos disponibles para modelizar el terreno es necesario e imprescindible para todos los futuros ingenieros, sea cual sea la especialidad en la que estos vayan a desarrollar su futuro labor profesional.

Tradicionalmente se define la topografía como “el conjunto de métodos e instrumentos necesarios para representar el terreno con todos los detalles naturales y artificiales”.

No se debe perder de vista que la Topografía va a centrar su estudio en superficies de extensión limitada, de manera que sea posible prescindir de la esfericidad terrestre sin cometer errores apreciables. Para trabajar con grandes superficies será necesario recurrir a la Geodesia y a la Cartografía. Se podría decir que la Topografía acaba donde comienza la Geodesia, aunque hoy día, con el empleo de aparatos cada vez más sofisticados, también es difícil precisar estos límites de una forma clara. En todo caso, en la mayor parte de trabajos, la Topografía tendrá que apoyarse en la Geodesia y en la Cartografía para obtener resultados correctos.

### **2.2.2. Unidades de medida empleadas en topografía**

Una unidad de medida es una cantidad estandarizada de una determinada magnitud física, definida y adoptada por convención o por ley. Cualquier valor de una cantidad física puede expresarse como un múltiplo de la unidad de medida.

Un conjunto de unidades de medida en el que ninguna magnitud tenga más de una unidad asociada es denominado sistema de unidades.

Un sistema de unidades es un conjunto de unidades de medida consistente, normalizada y uniforme. En general definen unas pocas unidades de medida a partir de las cuales se deriva el resto. Existen varios sistemas de unidades:

**Sistema Internacional de Unidades (SI):** la versión moderna del sistema métrico y el más usado en la actualidad. Sus unidades básicas son: el metro, el kilogramo, el segundo, entre otros.

**Sistema Anglosajón de Unidades:** es el sistema anglosajón tradicional. En 1824 fue normalizado en el Reino Unido con el nombre de Sistema Imperial, cuyo uso se mantiene en la vida corriente de este país. También fue normalizado en los Estados Unidos, con algunas diferencias sobre el Sistema Imperial, y este último solo se utiliza como sistema legal en Estados Unidos y en Liberia; sus unidades básicas son el pie, pulgada, segundo, libra, entre otros.

En Centroamérica para medidas de longitud, superficie, volumen, se rige por el sistema métrico o sistema internacional, por lo tanto las unidades de medida en topografía son las siguientes.

Unidades de longitud: como puede imaginarse, la unidad de longitud más empleada en Topografía es el metro.

Unidades de superficie: las superficies las podemos trabajar de diversas maneras pero respetando la unidad de longitud se trabaja en unidades de  $m^2$ .

Unidades angulares: se trabaja con graduación sexagesimal o centesimal:

- Graduación sexagesimal: se considera como ya sabemos, una circunferencia dividida en 360 partes iguales denominadas grados. Cada grado se compone de 60 minutos y cada uno de estos en 60 segundos, por ejemplo de la siguiente manera:  $15^\circ 08' 45''$ .
- Graduación centesimal: suele ser más empleada por su sencillez. La circunferencia está dividida en 400 grados y cada uno de estos en 100 minutos. Los minutos a su vez están formados por 100 segundos. Pueden escribirse de dos formas equivalentes: 25g 68m 85s 8 o bien 25,68858g.

### **2.3. Levantamientos Topográficos**

Es el conjunto de operaciones que tiene por objeto la determinación de la posición relativa de puntos localizados en la superficie de la tierra o a poca altura sobre la misma; estas operaciones consisten en medir distancias verticales y horizontales entre diversos objetos terrestres, determinar ángulos entre alineaciones y situar puntos sobre el terreno, valiéndose de mediciones previas. (Villalba, pág. 22).

#### **2.3.1. Tipos de Levantamientos Topográficos**

- De terrenos en general - Marcan linderos o los localizan, miden y dividen superficies, ubican terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectos, obras y construcciones.
- De vías de comunicación - Estudia y construye caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, etc.

- De minas - Fija y controla la posición de trabajos subterráneos y los relaciona con otros superficiales.
- Levantamientos catastrales: Se hacen en ciudades, zonas urbanas y municipios, para fijare linderos o estudiar las obras urbanas.
- Levantamientos aéreos: Se hacen por fotografía, generalmente desde aviones y se usan como auxiliares muy valiosos de todas las otras clases de levantamientos.

#### **2.4. Desarrollo de un levantamiento topográfico.**

En los trazos para construcción, el topógrafo proporciona todas las marcas de referencia necesarias para que cada parte de la nueva obra se ubique correctamente dentro del terreno en que se construye.

El topógrafo prepara los planos del sitio de construcción en el cual muestra las relaciones entre el terreno y la obra que será creada, se encarga de marcar sus posiciones horizontales y elevaciones.

El trabajo del topógrafo debe hacerse a un ritmo tal que proporcione las marcas necesarias justo antes del momento en que las va a requerir el constructor en las operaciones de cada día. El topógrafo no debe adelantarse demasiado, ya que las marcas podrían destruirse por la misma construcción. A este proceso topográfico se denomina topografía de la construcción.

Antes de iniciar el diseño de una construcción se debe proporcionar a los Ingenieros o Arquitectos toda clase de información topográfica relativa al sitio donde se va a efectuar la obra.

1. En primer lugar, se requiere definir la forma dimensional del terreno, lo cual se logra levantando una poligonal abierta a lo largo del eje central de la carretera.
2. Se debe describir el relieve del terreno, para su configuración se efectúa una nivelación, generalmente en los puntos más relevantes y a ambos lados del eje central.

3. Se debe brindar la localización topográfica o detalles de interés tales como:

Tendido eléctrico, tendido telefónico, drenaje de aguas servidas y pluviales, red de agua potable, pozos de visita o manjoles y tragantes de aguas pluviales existentes, localización de derecho de vía, mojones, BM, árboles de gran tamaño, arroyos o cauces, vías de acceso construcciones existentes y muchos otros más detalles que podemos encontrar en un levantamiento detallado.

La manera que se acostumbra para presentar los datos topográficos es plasmándolos en un plano denominado de conjunto y dibujado a la escala solicitada, para esto se utilizan hojas de dimensiones estandarizadas, reiterando que se utiliza mayor mente en obras verticales.

## **2.5. Planimetría**

Se estudian los procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin importar sus elevaciones. Las medidas de distancias entre puntos pueden hacerse con cintas.

### **2.5.1. Levantamiento topográfico con teodolito y cinta**

En las poligonales abiertas lo primero que el topógrafo debe definir es el sentido del itinerario, el cual puede ser positivo (en sentido de las manecillas de reloj) o negativo (anti horario). Una vez definido el itinerario, se procede a hacer una descripción general del trabajo para trazar la poligonal, se debe elegir las estaciones de forma ventajosa para poder avanzar en el levantamiento.

En este tipo de poligonales no se obtiene ningún cierre, no se puede determinar el error angular acumulativo, excepto por observaciones astronómicas o empezando y cerrando en líneas establecidas con anterioridad, cuyas direcciones y posiciones se conocen.

### **2.5.2. Levantamiento de detalles**

En casi todos los levantamientos con teodolito se localizan ciertos detalles o accidentes de tipo naturales o artificiales del terreno con respecto a los vértices

de las poligonales. La cantidad de detalles puede ser pequeña (levantamiento de linderos) o grandes (levantamientos taquimétricos).

#### **2.5.2.1. Métodos utilizados en el levantamiento de detalles**

- Por ángulo y distancia de una estación del polígono.
- Por medio de los ángulos desde dos estaciones del polígono.
- Tomando medidas lineales desde dos estaciones.
- Por el ángulo de una estación y la distancia de otra.
- Por ordenadas perpendiculares levantadas de los lados del polígono establecido.

### **2.6. Altimetría**

#### **2.6.1. Tipos de nivelación.**

- Nivelación simple

Es aquella en la cual desde un punto o una sola posición del aparato se puede conocer las cotas elevaciones de los diferentes puntos que deseamos nivelar. En este se sitúa el nivel en el punto más conveniente el cual ofrezca mejores condiciones de visibilidad. La primera lectura se hace sobre el estadia colocada en el punto estable y fijo, se toma como un BM el cual podrá ser conocido o asumido.

- La nivelación compuesta.

Es la nivelación más corriente y de más frecuente uso en la práctica diaria y no es más que una sucesión de varias nivelaciones simples.

En la nivelación compuesta el aparato no permanece en un mismo sitio sino que va trasladándose a diversos puntos desde cada uno de los cuales se toman nivelaciones simples que van ligándose entre sí por los llamados Puntos de Cambio (PC) o Puntos de Liga (PL). Es de vital importancia la escogencia del PC, ya que de esto depende en gran parte la precisión del trabajo. Este debe ser estable y de fácil identificación, por lo general se utilizan pines o planchas metálicas para esto.



Se define como Punto de Cambio o de Liga (PC o PL), al punto donde se ejecutan las lecturas de frente y de espalda para calcular la nueva altura del instrumento y a la vez el enlace entre dos nivelaciones simples.

Una Lectura de Espalda (LE), es una lectura de hilo central efectuada en la mira sobre un punto de elevación conocida, como por ejemplo la lectura del BM que se toma como referencia para nivelar los puntos restantes.

Una Lectura de Frente (LF), es la lectura de hilo central efectuada en la mira sobre un punto cuya elevación se desea conocer o bien un punto de cambio.

Todos los aspectos anteriormente mencionados, ahora con las nuevas mejoras tecnológicas, los podemos elaborar con un solo instrumento capaz de medir distancias, ángulos, elevaciones, y muchas otras más aplicaciones que nos sirven para detallar al máximo un levantamiento topográfico definido como, levantamiento planialtimétrico y de detalles con el instrumento electro-óptico conocido como

## **2.7. Estación Total.**

Se denomina estación total a un instrumento electro-óptico utilizado en topografía, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales. Vienen provistas de diversos programas sencillos que permiten, entre otras capacidades, el cálculo de coordenadas en campo, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y cálculo de acimutes y distancias.

La estación total surge con la finalidad de sustituir el teodolito, antiguo instrumento utilizado para trabajos topográficos, pero además incluye otras herramientas muy

útiles para la medición de distancias y un terminal interno para la realización los cálculos oportunos con memoria para el almacenamiento de datos.

Esa multifuncionalidad permitió utilizar la Estación Total en topografía, concretamente en levantamientos topográficos referenciados con GPS.

### **2.7.1. Propósito de la Estación Total**

Una estación total alcanza su finalidad cuando se utiliza en la ingeniería de alta exactitud topográfica, como por ejemplo en la construcción de carreteras, viaductos, grandes edificaciones, canales de agua, etc.

En todas las citadas construcciones, como es lógico, la precisión es una necesidad absoluta para el correcto funcionamiento de la obra. Las dos funciones esenciales para las que se usaría la estación total son las siguientes:

Levantamiento topográfico: Medición y representación gráfica de la realidad.

Replanteo topográfico: Representación en la realidad del diseño gráfico de una obra (operación inversa a la anterior).

### **2.7.2. Procedimiento del levantamiento topográfico con Estación Total**

Para empezar con un levantamiento con Estación Total, es necesario primeramente definir nuestras coordenadas de partida, ya sean asumidas o georeferenciados con un GPS de mano o aparatos digitales de mayor precisión.

Posteriormente ya definidas nuestras coordenadas de partida, podemos empezar con el levantamiento, levantando todos los detalles posibles.

Procedimiento de un levantamiento topográfico en una carretera.

1. Definir las coordenadas de partida.
2. Estacionar el instrumento en el punto de partida.
3. Crear un trabajo en la Estación Total definiéndole nombre, coordenadas conocidas o asumidas (E, N y Elevación o X, Y y Z).

4. Se levantará lo que son las zonas del ancho de la calle, derecho de vía, cruces, postes de tendido eléctrico, cajas de registro, postes de tendido telefónico y todos los aspectos necesarios que están dentro de la vía.
5. Cambio de estaciones para levantar todo el tramo de carretera que se desea conocer.

## **2.8. Levantamiento topográfico del tramo empalme WanaWana - Barrio Pablo Úbeda.**

Se realizó una visita previa al sitio con el fin de conocer la vía, ubicando todos los puntos de referencias posibles como ancho de calle, ancho de derecho de vía, terreno natural, todo esto se realiza para recolectar la información necesaria del lugar, para posteriormente efectuar el levantamiento topográfico.

### **2.8.1. Equipos utilizados para el levantamiento topográfico**

- Estación total marca SOKKIA IM 50 Series, precisión modelo Focus 2 (5")
- Trípode de metal marca SOKKA
- Dos prismas SOKKIA
- Dos bastones para prisma marca SOKKIA
- Brújula
- GPS de mano, marca Garmin, modelo etrex 10, Precisión GPS < 10 metros, 95% típico; precisión DGPS (WAAS) < 5 metros 95% típico.
- Chapas y clavos de 4"
- Pintura en spray color rojo

### **2.8.2. Procedimiento empleado para el levantamiento topográfico en el tramo en estudio.**

1. Como primera instancia instalamos un BM, colocando el GPS de mano para ubicar el sitio con coordenadas UTM, Wgs84 en la zona 16 norte.
2. Luego de tener registro de las coordenadas de partida se procedimos a plantar la estación total, haciendo todo el proceso de nivelación y orientación del mismo.

3. Configuramos el nombre del trabajo, y se guardó las coordenadas de salida en la estación, posteriormente se orienta al norte magnético y se registra con un ángulo de salida de  $00^{\circ}00'00''$ .
4. El levantamiento que se realizamos, utilizamos el método de perfil longitudinal y sección transversal, el cual lo efectuamos de la siguiente manera: de la estación 0+000 hacia adelante, dividimos todo el tramo en sub-tramos de 20 metros aproximadamente, donde se levantaba la vía transversalmente, tomando los puntos de interés tales como ancho de vía (linderos o cercos), terreno natural (todo registro de terreno natural ya sea talud natural, drenaje pluvial natural, etc.), ancho de calle (banda izquierda y derecha).
5. El cambio de estación lo realizamos a cada 100 m. aproximadamente y en zonas de curvas horizontales donde no había mucha visibilidad se colocaron estacionamientos con menor distancia de 100 m.
6. Como trabajo de campo, a cada cambio de estación, en los enlaces verificábamos la vista atrás tratando de obtener un registro de coordenadas no mayor a  $\pm 0.005$  m, (5 mm). Considerando la precisión del equipo con el que se realizó el levantamiento.

#### **2.8.2.1. Puntos generales del levantamiento**

Para este caso una Estación Total, guarda en su memoria de datos, un orden de ejecución tales como número de puntos, coordenadas este, norte y elevación respectivamente y la descripción del punto levantado.

## 2.9. Depuración de los puntos en Excel

### 2.9.1. Información extraída del equipo empleado en el levantamiento

Luego del levantamiento, se exportaron las coordenadas de la Estación Total a una memoria USB; para depurar los puntos en un archivo Excel, lo cual se revisaría si los puntos levantados correspondían con el número y el código anotado, estos puntos deben corresponder tanto como en la libreta digital de la Estación, como en la libreta física que se hizo el día del levantamiento.

**Tabla N°1. Base de datos de la Estación Total, libreta digital.**

PTO OBSV	X (Este)	Y (Norte)	Z (Elevación)	CODIGO
1	697269.564	1430360.31	278	PI-1
2	697269.564	1430360.31	278	NORTE
3	697269.192	1430343.45	277.048	CERCO
4	697267.914	1430348.63	277.439	CALLE
5	697267.391	1430362.63	278.028	CALLE
6	697267.592	1430366.38	278.334	CERCO
7	697284.922	1430363.4	278.175	CERCO
8	697283.96	1430359.02	276.95	CALLE
9	697436.863	1430314.82	272.368	PI-2

Fuente: Elaboración propia; representación del almacenamiento de datos de la Estación Total.

Nota: Tabla N°1. Representa una parte de los puntos levantados, en anexos **pág. III a la pág. XXIV**. Se muestran todos los puntos del levantamiento.

Nota: Los códigos llamados calle, representan el borde de la misma.

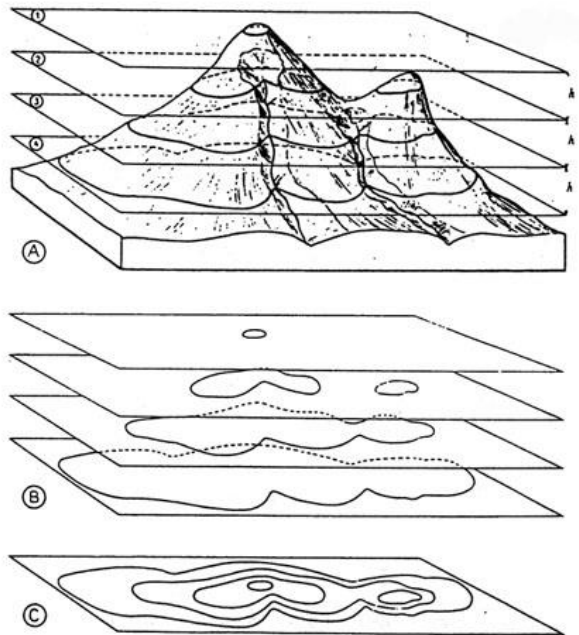
## 2.10. Relieve del tramo en estudio

El relieve es el conjunto de formas de la superficie terrestre que resalta sobre una superficie horizontal. Aprovechando esta característica, se proyectan los puntos de la superficie topográfica a la superficie de referencia, que en los casos más sencillos es el plano horizontal.

Las formas de relieve, básicamente se pueden clasificar en formaciones montañosas, llanuras y depresiones, y su génesis y evolución responden a la acción del clima, los procesos geológicos internos y externos y las acciones antrópicas.

Las curvas de nivel o isohipsas son líneas que unen puntos de la superficie topográfica que presentan la misma altitud. O lo que es igual, la intersección de la superficie topográfica con un plano horizontal como muestra la figura.

**Figura N°1. Relación entre el relieve y su representación mediante curvas de nivel.**



Fuente: Aubouin, Dercourt y Labasse, 1970; pág. 175.

La topografía del terreno, tiene influencia en el alineamiento de las calles y carreteras. Para caracterizar sus variaciones, generalmente, se clasifican en tres tipos de acuerdo con la pendiente del terreno, así:

- Terreno plano
- Terreno ondulado
- Terreno montañoso

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.

**Tabla N°2. Clasificación de los Terrenos en Función de las Pendientes Naturales.**

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011 pág. 116.

A continuación se muestra el cálculo de las pendientes a lo largo del tramo en estudio, a una distancia de 200 metros, para determinar el tipo de terreno.

$$\text{Ecuación 1. } m = \frac{Elv2 - Elv1}{DH} * 100$$

#### Datos

Estación	Elevación (m)	Distancia Horizontal (m)
0+000	276.00	200
0+200	269.77	

$$m = \frac{269.77 - 276}{200} * 100 = -3.115\%$$

En el inicio del tramo en estudio al realizar el cálculo de la pendiente a una distancia de 200 metros se puede determinar que el terreno es plano, se debe repetir el proceso para determinar cómo se comporta el terreno en toda la vía y así poder comprobar el tipo de terreno o cómo se comporta este, a continuación se muestra una tabla con los resultados obtenidos.

**Tabla N°3. Resultados de las pendientes en el tramo, a cada 200 metros**

<b>Estación</b>	<b>Elevación (m)</b>	<b>Distancia Horizontal (m)</b>	<b>Pendiente (%)</b>
<b>0+000</b>	276.000	200	-3.115
<b>0+200</b>	269.770		
<b>0+200</b>	269.770	200	-0.283
<b>0+400</b>	269.204		
<b>0+400</b>	269.204	200	-2.055
<b>0+600</b>	265.094		
<b>0+600</b>	265.094	200	6.0365
<b>0+800</b>	277.167		
<b>0+800</b>	277.167	200	3.8715
<b>1+000</b>	284.910		
<b>1+000</b>	284.910	200	5.519
<b>1+200</b>	295.948		
<b>1+200</b>	295.948	200	0.716
<b>1+400</b>	297.380		
<b>1+400</b>	297.38	200	9.767
<b>1+600</b>	316.914		
<b>1+600</b>	316.914	200	2.5
<b>1+800</b>	321.914		
<b>1+800</b>	321.914	200	-4.445
<b>1+900</b>	313.024		

Fuente: Elaboración propia.



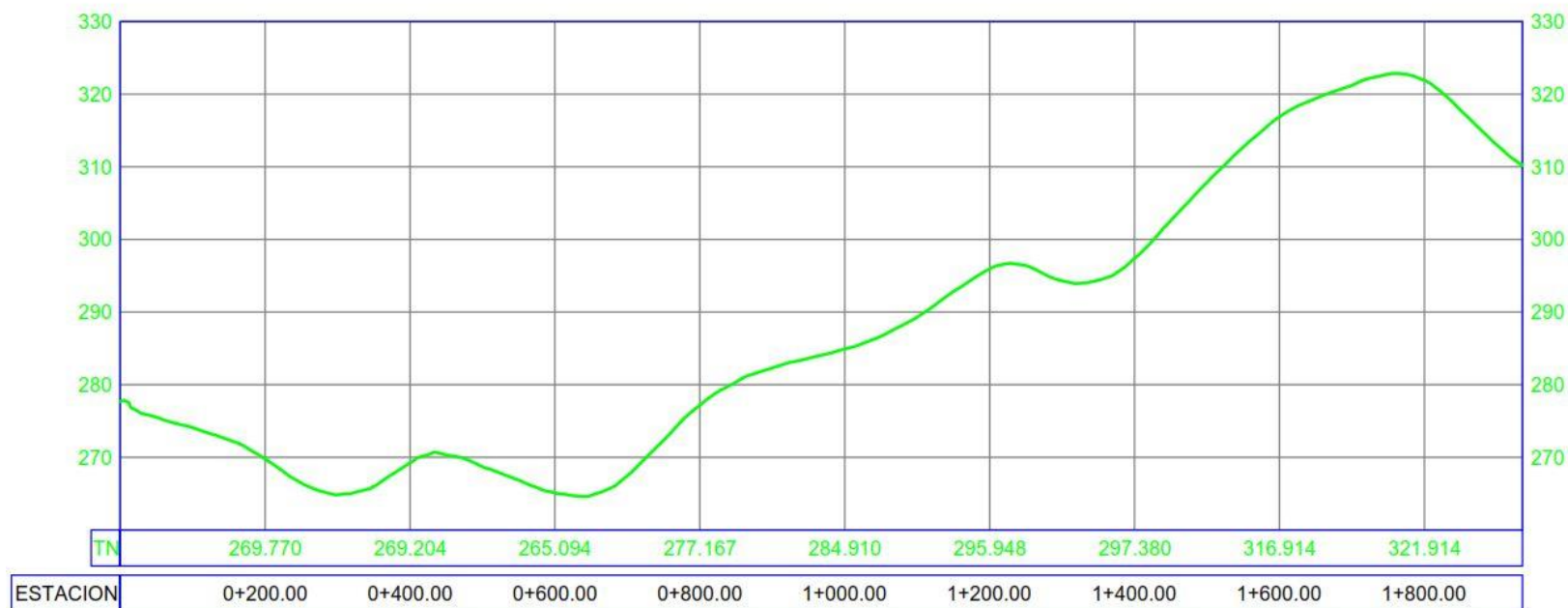
Con los resultados obtenidos, determino que el tramo en estudio las pendientes predominantes son menores que el 5%, si se ve por estacionamientos, de la estación 0+000 a la estación 0+600 el terreno es plano, de la 0+600 a la estación 1+400, el terreno es ondulado, en la estación 1+400 a la 1+600 hay una pendiente ascendente del 9%, y de la estación 1+600 a la estación 1+900 la pendiente es menor del 5%, pero esto ocurre porque el terreno, está en elevación por lo tanto el cálculo de la pendiente será menor.

La mejor forma de definir la tipología del terreno en este caso, sería un terreno ondulado ya que aunque las pendientes predominantes son menores que el 5% y según la Tabla N°3, página 18; define el terreno como plano, no podemos definir el tramo en estudio como plano, porque existen variaciones de pendientes y no son constantes, si se calculara una sola pendiente del inicio del proyecto hasta el final daría como resultado una pendiente bastante elevada y sería mucho mayor que el 5%, en conclusión se define el terreno como ondulado por el hecho de que las pendientes no siempre son menores que el 5%.

En la **Figura N° 2**, pág. 20, se puede visualizar el perfil del terreno natural de todo el tramo en estudio.

Siendo el tema monográfico de **2.1 Km.** Del cual la ubicación del tramo **Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda**, se obtuvo mediante la aplicación de **Google Maps**, al realizar el levantamiento topográfico, el inicio de dicho levantamiento se ejecutó en el empalme de WanaWana y finalizando en el Barrio Pablo Úbeda, considerando aquí que se cumplía con lo propuesto, pero en campo no fue así, ya que realizando el dibujo del perfil del terreno natural en **AutoCAD Civil 3D**, dio como resultado de 1935.24 m. o bien descrito de otra manera estación final **1+935.24 Km.**

**Figura N°2. Perfil del Terreno Natural del Emp. WanaWana – Barrio Pablo Úbeda.**



Fuente: Elaboración propia, AutoCAD Civil 3D 2018.

En anexos se muestran las fotografías del levamiento realizado por los sustentantes de la **pág. XXV a la pág. XXVI.**

# CAPÍTULO III

## ESTUDIO GEOTÉCNICO



## **Capítulo III. Estudio Geotécnico**

### **3.1. Introducción**

Las carreteras y caminos rurales son las principales formas de comunicación entre los diferentes departamentos, municipios, ciudades y zonas de producción de Nicaragua. Este factor forma parte de las principales maneras para el desarrollo económico y social del país. Los caminos y carreteras propician la creación de rutas productivas generadas por el tráfico de mercancías e impulsan la agricultura, ganadería, comercio y la producción industrial. Razones por las cuales es necesario que mantengan un Índice de Serviciabilidad adecuado.

Para obtener este índice de Serviciabilidad es importante conocer las características del suelo, es un parámetro indispensable para el diseño de una estructura de pavimento, es necesario realizar un estudio geotécnico que permita determinar las características físicas y mecánicas del terreno en donde se construirá la vía de comunicación terrestre, estos estudios se realizan ya que el suelo es totalmente variable sobre el eje de un camino y puede ser que alguno de estos estratos no sea adecuado para el diseño de la estructura de pavimento, también se deben localizar bancos de materiales cercanos en la zona del proyecto y de esta manera analizar el material para ver cuál de ellos puede adaptarse al suelo existente en el tramo, logrando de tal manera modificar sus propiedades para que sea capaz de cumplir con los requerimientos esperados.

El principal objetivo de esta sección, es presentar los resultados del estudio geotécnico sobre el eje de camino “Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda”, donde se realizaron ensayos de laboratorio a las muestras extraídas de los sondeos manuales y posteriormente los resultados de los estudios de los bancos de materiales más cercanos a la zona considerado como posible fuente de préstamo, dicho informe es proporcionado por la empresa Ingenieros Consultores Centroamericanos S.A.

## **3.2. Generalidades sobre el estudio geotécnico**

### **3.2.1. Estudio de Suelos**

Se define en ingeniería como cualquier material no consolidado compuesto de distintas partículas sólidas con gases o líquidos incluidos. El suelo contiene una amplia variedad de material tales como la grava, arena, mezclas arcillosas, limos, entre otros.

Conocer el tipo de suelo es un parámetro indispensable para el diseño de una estructura de pavimento de calidad, ante esto es necesario realizar un estudio de suelos que haga posible determinar las características físico-mecánicas del terreno en donde se construirá la vía de comunicación terrestre.

Debido a que es común encontrar suelos que no son completamente adecuados, esto por no presentar las características deseadas para el diseño de la estructura de pavimento, es necesario localizar los bancos de materiales más cercanos a la zona del proyecto, y, por lo tanto, hacer los estudios correspondientes para determinar cuál puede adaptarse mejor al suelo existente en el tramo, logrando de tal manera modificar sus propiedades para que sea capaz de cumplir con los requerimientos esperados.

### **3.2.2. Existen dos problemas al analizar los suelos en la naturaleza:**

1. Como se encuentran los suelos en la naturaleza.
2. Como se transforman estos materiales naturales en nuevos materiales estructurales.

Ante esto se hace indispensable realizar pruebas de laboratorio que consisten analizar muestras de suelo mediante procedimientos y mecanismos especiales. Las muestras pueden ser recolectadas mediante tres tipos de sondeos:

- Manuales
- A percusión
- A rotación

### **3.3. Clasificación de los suelos**

La clasificación de los suelos se basa en los resultados del ensaye de laboratorio prescrito para la determinación de las características granulométricas y de plasticidad. Aquellos que tienen propiedades similares pueden clasificarse en el grupo al que mejor encajen según los sistemas de clasificación de suelos, entre los más comunes se tienen: Sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y SUCS (Soil Unified Classification System).

Nota: Cabe destacar que para este estudio geotécnico el método que se utilizó para la clasificación de suelo es el método AASHTO M-145.

#### **3.3.1. Clasificación AASHTO**

La American Association of State Highway and Transportation Officials adopto este Sistema de clasificación de suelos (AASHTO M 145 – 87), en el que los suelos se agrupan en función de su comportamiento como capa de soporte, es utilizado como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Actualmente es muy utilizado en obras viales de la ingeniería, su objetivo es juzgar la aceptabilidad de un suelo para ser utilizado como material de subbase y base en un pavimento, esto por medio de la medición numérica de la calidad de suelo luego de determinar el índice de grupo (IG).

Según este sistema el suelo es dividido en siete grupos principales los cuales van de A-1 a A-7. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz No 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz No 200 se clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 los cuales son principalmente limo y arcilla.

La AASHTO nos indica que:

- Grava: Pasa el tamiz de 3" (75mm) y es retenida por el tamiz número 10 (2mm).
- Arena gruesa: Pasa el tamiz número 10 (2mm) y es retenida en el tamiz número 200 (0.075mm).
- Limo y arcilla: Pasa por el tamiz número 200.

### 3.4. Compactación de los suelos

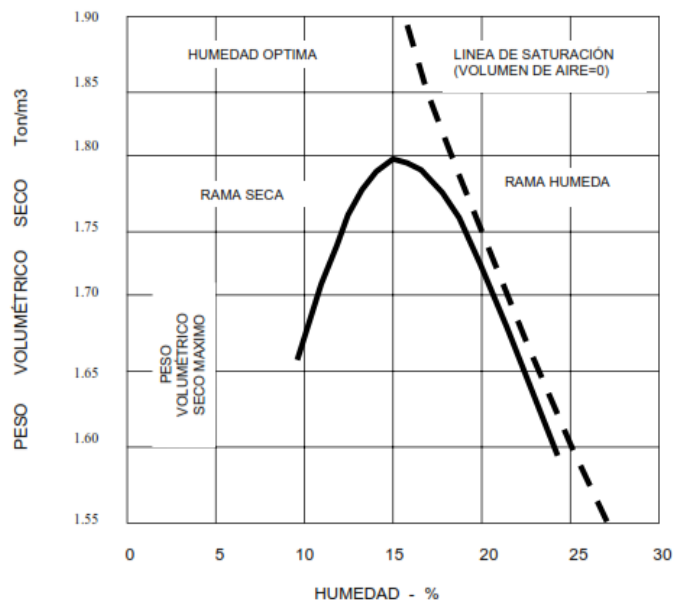
Al proceso mecánico de comprimir el suelo para reducir los vacíos, aumentar la capacidad soporte, impermeabilizar el suelo, reducir su volumen y aumentar la densidad se le llama compactación de los suelos.

#### 3.4.1. Factores que afectan la compactación de los suelos.

##### 3.4.1.1. Contenido de Humedad.

Se trata de la cantidad de agua existente en el suelo, esta tiene gran importancia en el momento de la compactación. El agua mejora la unión entre las partículas de arcilla, que es lo que da cohesividad a diversas materias, sin embargo, el exceso puede ser fatal puesto que produce el efecto de licuefacción siendo desfavorable para cualquier tipo de construcción.

**Figura N°3. Relación Peso volumétrico - Humedad**



Fuente: Crespo Villalaz, Carlos (2,008). Mecánica de suelo y cimentaciones (6ta.ed).

Se ha demostrado que para casi cualquier tipo de suelo corresponde un cierto contenido de agua, denominado grado óptimo de humedad, con el que es posible obtener la densidad máxima con una fuerza determinada de compactación.

### 3.5. Energía de compactación

Se refiere al método que se utiliza con una máquina de compactación a fin de aplicar energía mecánica en el suelo. Los compactadores se diseñan para utilizar una o varias de las formas siguientes de energía de compactación:

- Peso estático
- Acción de amasamiento
- Percusión
- Vibración

### 3.6. Tipo de suelo

Esto corresponde a la granulometría del suelo, se considera que un suelo está bien granulado si contiene una distribución buena y uniforme de tamaños de partículas. Cuanto menos espacio vacío exista entre las partículas, mejor grado de compactación tendrá.

### CBR (Californian Bearing Ratio)

Se define como la relación entre el esfuerzo requerido para introducir un pistón normalizado dentro del suelo que se ensaya y el esfuerzo requerido para introducir el pistón hasta la misma profundidad en una muestra patrón de piedra triturada.

El CBR se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 2. } CBR = \frac{\text{esfuerzo en el suelo ensayado}}{\text{esfuerzo en la muestra patrón}} * 100$$



**Tabla N°4. Relación esfuerzo – Penetración**

Relación Esfuerzo - Penetración para la muestra Patrón	
Penetración (pulg.)	Esfuerzo (Lb/pulg. <sup>2</sup> )
0.1	1,000
0.2	1,500
0.3	1,900
0.4	2,300
0.5	2,600

Fuente: Crespo Villalaz, Carlos (2,008). Mecánica de suelo y cimentaciones (6ta.ed).

Con el resultado de CBR de esta prueba se puede clasificar el suelo e indicar el empleo que puede dársele al material en lo que al CBR se refiere:

**Tabla N°5. Clasificación del CBR**

CBR	Clasificación
0 - 5	Sub-rasante, muy mala
5 - 10.	Sub-rasante, mala
10 - 20.	Sub-rasante, regular a buena
20 - 30.	Sub-rasante, muy buena
30 - 50	Sub-base, buena
50 - 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

Fuente: Crespo Villalaz, Carlos (2,008). Mecánica de suelo y cimentaciones (6ta.ed).

**Tabla N°6. Ensayos realizados sobre el tramo (km 0+030 – km 2+105) y banco de material.**

Ensayos Ejecutados	Procedimiento
Contenidos de partículas menores de 0.075 mm (Por lavado)	AASHTO T 11
Análisis granulométrico de partículas finas y gruesas	AASHTO T 27
Límite Líquido de los Suelos	AASHTO T 89
Límite Plástico e Índice de Plasticidad de los suelos	AASHTO T 90
Clasificación desde el punto de vista de vías terrestres	AASHTO M 145
Relación Densidad – Humedad de los Suelos E. Estándar de Compactación	AASHTO T 99
Relación Soporte de California	AASHTO T 193

Fuente: Informe Geotécnico, Ingenieros consultores Centroamericanos S.A.

### **3.7. Trabajo de campo**

#### **3.7.1. Sondeo sobre tramo de camino**

En el informe de estudio geotécnico los ingenieros consultores centroamericanos S.A detallan cada uno de los parámetros a tomar en cuenta para realizar el muestreo de suelos, a lo largo del eje del tramo “Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda”, Longitud de 2.1 km” se realizaron sondeos manuales a cielo abierto. La distancia entre cada sitio muestreado fue de 100 metros y la exploración se realizó hasta 1.5 metros de profundidad.

El Procedimiento utilizado para la exploración y muestreo de los suelos correspondió al descrito en el procedimiento ASTM D 420 “Standard Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction Purposes”.

A través del procedimiento ASTM D 420 se determinaron las condiciones in situ de las rocas, suelos y el agua subterránea (en caso de encontrarse).

El objetivo de la investigación fue identificar y localizar horizontal y verticalmente, los diferentes estratos de materiales. El método utilizado consistió en los siguientes pasos:

##### **a. Reconocimiento del área de estudio; ASTM D 420**

El reconocimiento del área, donde se hicieron los sondeos manuales a cielo abierto, se realizó mediante un recorrido a todo el tramo de carretera. Durante el recorrido se efectuó un levantamiento preliminar de las condiciones geotécnicas existentes, se identificaron los sitios más vulnerables, las zonas más inestables, los puntos críticos.

##### **b. Identificación Horizontal de los puntos; ASTM D 420**

La identificación horizontal, de los sitios explorados, se realizó a través de un GPS de mano que guardo las coordenadas geodésicas Este, Norte y Elevación, las cuales fueron exportada al Software Google Earth, a fin de generar un mapa de edificación de los puntos muestreados. Es importante señalar los lugares

muestreados se localizaron de forma alternada en cada una de las dos bandas (Derecha e Izquierda) y la línea central.

c. Localización Vertical de los Puntos; ASTM D 420

La Localización vertical se realizó mediante la medición manual, con cinta, de cada estrato, determinando el inicio y fin de estos, además de sus respectivos espesores el punto de referencia en todos los casos fue el nivel existente de la capa superior, Todos los sondeos se realizaron hasta 1.50 metros de profundidad, exceptuando los sitios donde antes de esta profundidad se encontrará afloramiento rocoso o nivel de agua subterránea.

d. Excavación de pozos a cielo abierto; ASTM D 420

La realización de los pozos a cielo abierto se ejecutó con equipos de excavación manual, que incluyen palas, cucharas y dispositivos de extracción de muestras.

Las dimensiones de cada uno de los pozos fueron de 40cm x 40cm x 150cm de profundidad.

e. Muestreo; ASTM D 420

Se obtuvieron muestras representativas de cada uno de los estratos encontrados, estas fueron cuidadosamente extraídas de forma tal que se evitó la contaminación con muestras de suelos adyacentes o subyacentes.

El tamaño de cada muestra fue de 40 kg aproximadamente. La identificación de las muestras de suelo se realizó inmediatamente luego de ser tomada de acuerdo al procedimiento de ICC (Ingenieros Consultores Centroamericanos), S.A. identificado con código PG-ICC-5.8.01. Todas las muestras recuperadas fueron resguardadas de forma segura y alejadas de la lluvia tanto en su almacenamiento como en el traslado hasta el laboratorio central donde se analizaron.

f. Clasificación visual de las muestras; ASTM D 420

Todas las muestras fueron identificadas visualmente, la descripción anotada incluyó, la caracterización de los materiales dentro de las gravas, arenas, limos o arcillas, de acuerdo al contenido y distribución apreciable de las partículas constituyentes, así como del contenido de material plástico. Esta clasificación visual de campo posteriormente fue verificada mediante la clasificación dentro del sistema AASHTO M145.

### **3.8. Trabajo de laboratorio**

En los laboratorios de la empresa ingenieros consultores centroamericanos S.A, se realizaron los diferentes ensayos a las muestras recuperadas del sitio para determinar las características de los suelos existentes en la calzada del tramo en estudio y de esta manera, poder obtener una clasificación de estos.

A continuación, se muestra una tabla de resumen brindada por dicha empresa que muestra los resultados obtenidos de los sondeos manuales realizados en cada estacionamiento donde se realizaron las diferentes prácticas de laboratorio para la determinación de límites de consistencia y análisis granulométrico respectivamente en estas tabla se muestra descrito el contenido de material que hay en cada espesor de capa de suelo y su clasificación por el método de la AASHTO-145; las demás tablas están mostradas en anexos, **ver pág. XXVII y XXVIII**. Las columnas estratigráficas para la muestra de la línea se detallan en anexos, **ver pág. XXIX a la XXXI**.

**Tabla N°7. Resumen de ensayos de laboratorio de la estación 0+030 a la 0+500.**

Estación	Intervalo de profundidad	Espesor del estrato cm	N° Sondeo	N° Muestra	% QUE PASA							LL	LP	IP	Clasificación AASHTO M 145	%G	%A	%F	Descripción
					3"	2"	3/4"	N°.4	N°.10	N°.40	N°.200								
<b>km 0+030</b>	0-10	10	1	1	100	93	75	58	54	48	42	58	31	27	A-7-5 (7)	42	16	42	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
km 0+030	10-150	140	1	2	100	100	100	99	98	95	91	86	51	35	A-7-5 (20)	1	8	91	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 0+100</b>	0-30	30	2	1	100	100	77	50	40	29	21	30	20	10	A-2-4 (0)	50	29	21	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 0+100	30-80	50	2	2	100	100	100	97	96	92	88	81	42	39	A-7-5 (20)	3	9	88	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
km 0+100	80-150	70	2	3	100	100	100	100	99	98	95	85	53	32	A-7-5 (20)	0	5	95	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 0+200</b>	0-45	45	3	1	100	96	75	44	32	20	14	34	18	16	A-2-6 (0)	56	30	14	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 0+200	45-125	80	3	2	100	100	100	99	97	94	86	78	50	28	A-7-5 (19)	1	13	86	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
km 0+200	125-150	25	3	3	100	100	100	99	99	97	92	80	54	26	A-7-5 (18)	1	7	92	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 0+300</b>	0-40	40	4	1	100	100	83	54	40	24	16	29	21	8	A-2-4 (0)	46	38	16	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 0+300	40-80	40	4	2	100	100	100	55	39	27	20	26	19	7	A-2-4 (0)	45	35	20	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 0+300	80-150	70	4	3	100	100	100	100	97	96	93	72	44	28	A-7-5 (19)	0	7	93	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 0+400</b>	0-25	25	5	1	100	100	73	42	32	20	12	34	23	11	A-2-6 (0)	58	30	12	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 0+400	25-105	80	5	2	100	100	100	98	97	93	75	64	48	16	A-7-5 (14)	2	23	75	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
km 0+400	105-150	45	5	3	100	100	100	100	100	97	80	72	50	22	A-7-5 (17)	0	20	80	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 0+500</b>	0-20	20	6	1	100	100	74	45	36	26	19	36	21	15	A-2-6 (0)	55	26	19	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 0+500	20-150	130	6	2	100	100	100	98	93	78	67	58	42	16	A-7-5 (12)	2	31	67	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)

Fuente: Informe Geotécnico, Ingenieros consultores Centroamericanos S.A.

Nota: En el estacionamiento 2+105 en la profundidad de 0.50-1.50 metros se encontró presencia de un manto rocoso. **Ver anexo pág. XXVIII.**

### **3.9. Análisis de los resultados**

El análisis de granulometría de los diferentes estratos permite conocer la cantidad de material fino o grueso existente en cada capa según estos resultados el suelo tanto en la capa de rodamiento como en las capas adyacentes presentan un considerable porcentaje de material fino, el tipo de suelo que más predomina en el tramo, es el A-7-5, según la AASHTO este material es arcilloso y probablemente no tenga un buen desempeño en sus propiedades mecánicas, por consiguiente en algunos estacionamientos se encuentran suelos con mejores propiedades, como se encuentra en el estacionamiento 0+900, 1+300 estratos con clasificación A-2-6 y A-2-7, que contienen presencia de grava, que aporta tenacidad a las posibles cargas de tránsito.

Más adelante se presentan los resultados de los ensayos de compactación y se observará más detalladamente como afecta la presencia de finos en el desempeño de un suelo.

### **3.10. Ensayos de Compactación**

Este proceso consiste en aplicación de carga sobre una mezcla de suelo con su consecuente reducción de volumen y aumento de densidad, con esta ampliación se reduce su compresibilidad, incrementa su resistencia al esfuerzo cortante y es más impermeable. Con los ensayos se pretende determinar cuál es la humedad que se requiere para conseguir la densidad seca máxima que puede tener el suelo con una energía de compactación.

Según la clasificación AASHTO obtenida para cada sondeo, se agrupan aquellas muestras que poseen características similares con el objetivo de simplificar la cantidad de estas, a estas se les realiza la prueba de Proctor modificado y prueba de C.B.R.

#### **3.10.1. Proctor modificado**

Esta prueba consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro con volumen conocido, consiste en dejar caer un peso (pistón) de 5 kg a una altura de aproximadamente 45 centímetros, compactando la tierra en 5 capas con 50

golpes, para determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad optima necesaria para alcanzar esta densidad.

**Tabla N°8. Resultados finales de ensayos de compactación**

Intervalo de profundidad (cm)	N° de Sondeo	Capa	Densidad Seca Máx (kg/m <sup>3</sup> )	Humedad Optima (W %)
0-10	1	Rodamiento	1353	37.2
10-150	1	Suelo Natural	1247	44.5
0-30	2	Rodamiento	1931	15.6
30-80	2	Suelo Natural	1251	44.1
80-150	2	Suelo Natural	1247	44.5
0-45	3	Rodamiento	1887	17.5
45-125	3	Suelo Natural	1353	37.2
125-150	3	Suelo Natural	1353	37.2
0-40	4	Rodamiento	1934	15.7
40-80	4	Suelo Natural	1934	15.7
80-150	4	Suelo Natural	1353	37.2
0-25	5	Rodamiento	1897	16.8
25-105	5	Suelo Natural	1326	39.1
105-150	5	Suelo Natural	1280	42.7
0-20	6	Rodamiento	1887	17.5
20-150	6	Suelo Natural	1326	39.1
0-40	7	Rodamiento	1996	13.5
40-150	7	Suelo Natural	1353	37.2
0-5	8	Rodamiento	-	-
5-150	8	Suelo Natural	1280	42.7
0-30	9	Rodamiento	1897	16.8
30-110	9	Suelo Natural	1326	39.1
110-150	9	Suelo Natural	1297	39.5
0-20	10	Rodamiento	1871	17
20-40	10	Suelo Natural	1887	17.5
40-80	10	Suelo Natural	1280	42.7
80-150	10	Suelo Natural	1247	44.5
0-30	11	Rodamiento	1897	16.8
30-90	11	Suelo Natural	1346	36.3
90-150	11	Suelo Natural	1297	39.5
0-20	12	Rodamiento	1304	41.6
20-150	12	Suelo Natural	1353	37.2
0-30	13	Rodamiento	1887	17.5
30-150	13	Suelo Natural	1326	39.1
0-30	14	Rodamiento	1843	18.1
30-50	14	Suelo Natural	1658	22.3
50-150	14	Suelo Natural	1280	42.7
0-50	15	Rodamiento	1871	17
50-150	15	Suelo Natural	1280	42.7
0-30	16	Rodamiento	1923	15.5
30-150	16	Suelo Natural	1326	39.1
0-10	17	Rodamiento	1872	17.8
10-20.	17	Suelo Natural	1353	37.2
20-150	17	Suelo Natural	1326	39.1
0-10	18	Rodamiento	-	-
10-150	18	Suelo Natural	1280	42.7
0-10	19	Rodamiento	-	-
10-150	19	Suelo Natural	1326	39.1
0-50	20	Rodamiento	1280	42.7
50-150	20	Suelo Natural	1280	42.7
0-32	21	Rodamiento	1887	17.5
32-150	21	Suelo Natural	1247	44.5
0-50	22	Rodamiento	1897	16.8

Fuente: Informe Geotécnico, Ingenieros consultores Centroamericanos S.A.

### 3.10.2. Ensayo de Valor Soporte California C.B.R

El valor Soporte de California (California Bearing Ratio, CBR) es probablemente el dato de entrada más utilizado en el diseño de pavimentos. Este método fue desarrollado por la división de autopistas de California alrededor de 1940. El CBR es una medida comparativa de la capacidad a esfuerzos cortantes (tangenciales) de los suelos. El método consiste en determinar la carga requerida para penetrar el suelo una profundidad de 0.1 pulgadas con un pistón estándar con área transversal de tres pulgadas cuadradas. El valor de CBR de sub-rasante se correlaciona con el Módulo de Resiliencia de los suelos para efecto de dato de entrada en métodos de diseños como AASHTO.

El valor del C.B.R está determinado por la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 3. C.B.R} = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100$$

Donde los valores de carga unitaria patrón se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla N°9. Carga unitaria patrón**

Penetración			Carga unitaria patrón		
Milímetros (mm)	Centímetros (cm)	Pulgadas (pulg.)	kg/cm2	MPa	PSI
2.5	0.25	0.1	70.31	6.9	1,000
5	0.5	0.2	105.46	10.3	1,500
7.5	0.75	0.3	133.58	13	1,900
10	1.0	0.4	161.71	16	2,300
12.7	1.27	0.5	182.8	18	2,600

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



A continuación, se presentan los resultados de CBR de los suelos localizados a lo largo del eje del tramo “Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda”. Los valores de capacidad de carga se determinaron en el laboratorio mediante el método estándar AASHTO T-193 “California Bearing Ratio of Laboratory Compacted Soils”.

**Tabla N°10. Tabla de valores de CBR sobre el tramo en estudio**

Estación	Intervalo de profundidad	Capa	CBR 95	Hinchamiento
km 0+030	0-10	Rodamiento	5	1.9
km 0+030	10-150	Suelo Natural	10	1.8
km 0+100	0-30	Rodamiento	15	0.2
km 0+100	30-80	Suelo Natural	10	1.5
km 0+100	80-150	Suelo Natural	10	1.8
km 0+200	0-45	Rodamiento	12	2.5
km 0+200	45-125	Suelo Natural	5	1.9
km 0+200	125-150	Suelo Natural	5	1.9
km 0+300	0-40	Rodamiento	25	0.2
km 0+300	40-80	Suelo Natural	25	0.2
km 0+300	80-150	Suelo Natural	5	1.9
km 0+400	0-25	Rodamiento	13	0.3
km 0+400	25-105	Suelo Natural	8	1.2
km 0+400	105-150	Suelo Natural	2	3.6
km 0+500	0-20	Rodamiento	12	2.5
km 0+500	20-150	Suelo Natural	8	1.2
km 0+600	0-40	Rodamiento	27	0.5
km 0+600	40-150	Suelo Natural	5	1.9
km 0+700	0-5	Rodamiento	-	-
km 0+700	5-150	Suelo Natural	2	3.6
km 0+840	0-30	Rodamiento	13	0.3
km 0+840	30-110	Suelo Natural	8	1.2
km 0+840	110-150	Suelo Natural	6	0.9
km 0+900	0-20	Rodamiento	21	2.5
km 0+900	20-40	Suelo Natural	12	2.5
km 0+900	40-80	Suelo Natural	2	3.6
km 0+900	80-150	Suelo Natural	10	1.8
km 1+000	0-30	Rodamiento	13	0.3
km 1+000	30-90	Suelo Natural	3	1.6
km 1+000	90-150	Suelo Natural	6	0.9
km 1+100	0-20	Rodamiento	7	2.9
km 1+100	20-150	Suelo Natural	5	1.9

Fuente: Informe Geotécnico, Ingenieros consultores Centroamericanos S.A.

Estación	Intervalo de profundidad	Capa	CBR 95	Hinchamiento
km 1+200	0-30	Rodamiento	12	2.5
km 1+200	30-150	Suelo Natural	8	1.2
km 1+300	0-30	Rodamiento	7	0.5
km 1+300	30-50	Suelo Natural	14	2.7
km 1+300	50-150	Suelo Natural	2	3.6
km 1+400	0-50	Rodamiento	21	2.5
km 1+400	50-150	Suelo Natural	2	3.6
km 1+500	0-30	Rodamiento	16	4.5
km 1+500	30-150	Suelo Natural	8	1.2
km 1+600	0-10	Rodamiento	12	0.5
km 1+600	44,105	Suelo Natural	5	1.9
km 1+600	20-150	Suelo Natural	8	1.2
km 1+700	0-10	Rodamiento	-	-
km 1+700	10-150	Suelo Natural	2	3.6
km 1+800	0-10	Rodamiento	-	-
km 1+800	10-150	Suelo Natural	8	1.2
km 1+900	0-50	Rodamiento	2	3.6
km 1+900	50-150	Suelo Natural	2	3.6
km 2+000	0-32	Rodamiento	12	2.5
km 2+000	32-150	Suelo Natural	10	1.8
km 2+105	0-50	Rodamiento	13	0.3

Fuente: Informe Geotécnico, Ingenieros consultores Centroamericanos S.A.

### 3.11. Análisis de los resultados de compactación

La prueba del valor soporte california CBR realizada a los diferentes tipos de suelo nos permite interpretar que tan buenas propiedades físicas y mecánicas tiene un suelo dado los resultados de esta prueba notamos que tenemos en algunas áreas del tramo suelos con poca resistencia a la penetración debido a su alto grado de material fino una de las sugerencias prácticas en este caso sería realizar una estabilización de suelo o reemplazar ese suelo con un suelo de mejor calidad.

En la determinación del CBR de diseño se podrá notar más detalladamente como se clasifica la resistencia de la sub-rasante de acuerdo con este valor mediante el Método del Instituto del Asfalto.

### **3.12. Sondeo de bancos de materiales**

Los bancos de materiales localizados por la empresa ingenieros consultores a lo largo del eje del camino que incluye este Informe Geotécnico se localizaron mediante un reconocimiento terrestre directo y las muestras se extrajeron apegándose en un 100% a los términos de referencia que rigen la Consultoría. Los pozos a cielo abierto se realizaron manualmente con dimensiones 1.5 m x 1.5 m x 3 metros de profundidad.

#### **3.12.1. Exploración y muestreo de los bancos**

Los parámetros que determinó la empresa para la exploración de las zonas más probables a utilizarse como fuente de materiales la realizaron con la finalidad de cumplir con los siguientes objetivos: a) Determinar la naturaleza de los depósitos incluyendo toda la información sobre previas explotaciones, b) Determinar profundidad, espesor, extensión y composición de los estratos de suelos o rocas que se pretenden explotar y c) Obtener una caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos y rocas.

La investigación completa de los bancos consistió en tres etapas:

- 1) El reconocimiento preliminar, que incluyó las visitas a los sitios exactos para realizar una caracterización visual de los materiales.
- 2) Sondeos manuales o Exploración a cielo abierto (1.5 m x 1.5 m x 3.0 m), en la que se obtuvo información del espesor y composición del sub-suelo, la profundidad del nivel freático etc.
- 3) Los ensayos de Laboratorio donde se definieron detalladamente las características físicas y mecánicas de los materiales encontrados.

En total se exploraron 3 potenciales fuentes de materiales, y se realizaron tres calicatas en cada banco de material explorado. Los bancos de materiales propuestos en este informe geotécnico, están distribuidos a lo largo de todo el segmento del camino. La selección de estas fuentes se coordinó con las alcaldías

de Río Blanco y San Pedro del Norte, quienes suministraron una lista de las fuentes de materiales disponibles y que previamente han sido explotadas. A continuación, se detalla la lista de los bancos de préstamos caracterizados:

**Tabla N°11. Lista de bancos de materiales explorados**

Nombre	Estación	Coordenadas		Distancia LC (m)	Tipo
		Este	Norte		
El Zompopo	Km 0+737	698772	1430881	1000	Base
El Arranque N° 1	Km 3+730	700982	1429999	80	Base
El Arranque N° 2	Km 3+730	701474	1429118	1220	Base

Fuente: Informe Geotécnico, Ingenieros consultores Centroamericanos S.A.

### **3.13. Resultados de ensayos a bancos de materiales**

Todas las potenciales fuentes de materiales propuestas en este informe fueron remitidas por la empresa ya antes mencionada, corresponden a bancos de rocas que ya han sido explotadas para el revestimiento de la carretera y para la producción de capas estructurales (Base y Sub-Base) como es el caso del banco “El Zompopo” localizado a inicios del proyecto. Las características de los materiales consisten en fragmentos de rocas las cuales fueron trituradas en laboratorio para disminuir sus tamaños y determinar propiedades mecánicas. A estos fragmentos de rocas no se les determinó granulometría ni densidades brutas (Pesos Unitarios) debido a que el resultado de estos ensayos depende directamente de procesos de trituración industrial. En el caso de la granulometría, esta es controlada y las densidades varían de acuerdo a la graduación.

**Tabla N°12. Resultados de ensayos de laboratorio de piedra triturada**

Nombre	Estación	Banda	CBR	Desgaste Ángeles (%)	Intemperismo Acelerado (%)	Absorción (%)
<u><b>El Zompopo</b></u>	<u><b>Km 0+737</b></u>	<u><b>IZQ</b></u>	<u><b>&gt;100</b></u>	<u><b>16.4</b></u>	<u><b>2.9</b></u>	<u><b>2.2</b></u>
El Arranque N° 1	Km 3+730	DCH	60	-	-	-
<u><b>El Arranque N° 2</b></u>	<u><b>Km 3+730</b></u>	<u><b>DCH</b></u>	<u><b>&gt;100</b></u>	<u><b>19.8</b></u>	<u><b>5.3</b></u>	<u><b>2.2</b></u>

Fuente: Informe Geotécnico, Ingenieros consultores Centroamericanos S.A.

#### **3.14. Análisis de los resultados obtenidos de los diferentes bancos de material.**

Previo a la realización de todos los ensayos según los ingenieros consultores centroamericanos S.A, los fragmentos de rocas fueron triturados manualmente en laboratorio hasta alcanzar un tamaño adecuado. En el caso del ensayo de Capacidad Soporte (CBR), el resultado fue por encima de 100, este es un valor normal considerando que las muestras ensayadas corresponden a fragmentos de rocas trituradas.

#### **3.15. Análisis de las posibles Fuentes de materiales para bases y sub-bases de pavimento.**

Según lo observado en la tabla N° 12 pág. 38. Resultados de ensayos de laboratorio de piedra triturada. Las fuentes de materiales que cumplen con los requerimientos de durabilidad y resistencia como materiales para base y Sub-base de pavimento (NIC-2000, sección 1003.09) corresponden a los bancos “El Zompopo”, “El Arranque #2”. Estos bancos están constituidos de rocas, que presentan pérdidas a la abrasión en la máquina de Los Ángeles, por debajo de 50%, pérdidas en el ensayo de los cinco ciclos en Sulfato de Sodio menor al 12%, además presentan valores de absorción de agua menor de 2.5%. No se considera análisis de graduación, porque la granulometría se puede ajustar mediante trituración industrial.

# CAPÍTULO IV

## ESTUDIO DE TRÁNSITO



## Capítulo IV. Estudio de Tránsito

### 4.1. Introducción

El estudio de tránsito es uno de los parámetros fundamentales para el diseño geométrico y la estructura de pavimento, de manera que al realizar el análisis de tránsito permita cuantificar, clasificar y conocer el volumen real de vehículos que se trasladan de un punto a otro en la vía en estudio, donde se pretende ejecutar la obra, arrojando datos como la intensidad de la carga y la cantidad de ejes equivalentes de harán efecto negativo sobre la estructura de pavimento.

En este capítulo se estará abordando los datos levantados en el aforo vehicular en el tramo de carretera Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda, con el propósito de ser utilizados para el diseño de pavimento flexible y las consideraciones para el cálculo del tránsito de carril de diseño, como se mencionó anteriormente, las cargas producidas por el tránsito, tomando en cuenta a la vez un periodo de diseño.

#### 4.1.1. Estudio de Tránsito

El estudio de tránsito es fundamental para el diseño de un pavimento ya que sin él no se podría analizar las cargas que generan los vehículos al pasar por la carretera y como consecuencia no fuese posible la determinación de los espesores requeridos.

##### 4.1.1.1. Volumen de Tránsito

Se define al número determinado de vehículos que circulan por una vía, tramo o punto de acceso bien sea de un carril o una calzada, mediante un periodo determinado. (G., Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas, 1998, pág. 152).

El propósito es obtener los datos reales y actuales de los vehículos que circulan dentro del sistema vial en estudio. Este se puede expresar como:

**Ecuación 4.**  $Q = \frac{N}{T}$

Dónde:

Q= Vehículos que circulan por unidad de tiempo (Vehículos/ periodo).

N= Número total de vehículos que transitan (vehículos).

T= Periodo definido (unidad de tiempo).

Debido a que el tránsito no es uniforme a través del tiempo ni con respecto al espacio, este puede presentar variaciones de horas, meses e incluso variaciones en el tránsito que circula por carril, y en dependencia de su duración se puede obtener el volumen total o absoluto:

#### **4.1.1.2. Tránsito promedio diario (TPD)**

Estos volúmenes son utilizados para analizar la capacidad, el diseño geométrico, diseño estructural, y cómputos estimados de recolección de impuesto de los usuarios de viabilidad. (G., Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas, 1998, pág. 153).

#### **4.1.1.3. Transito promedio diario (TPDi)**

Se define el volumen de transito promedio diario (TPDi), como el número total de vehículos que pasan durante un período dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del período.

$$\textbf{Ecuación 5. } TPD = \frac{\textit{Acumulado de conteo vehicular por tipo de vehiculo}}{\textit{Cantidad de dias del aforo}}$$

Según el número de días se presentan diferentes volúmenes de tránsito promedio diario, dados en vehículos por día:

#### **4.1.1.4. Tránsito promedio diario semanal (TPDS)**

$$\textbf{Ecuación 6. } TPDS = \frac{TS}{7}$$

TS= Tránsito Semanal

#### **4.1.1.5. Tránsito promedio diario mensual (TPDM)**

$$\textbf{Ecuación 7. } TPDM = \frac{TM}{30}$$

TM: Tránsito mensual



#### **4.1.1.6. Tránsito promedio diario anual (TPDA)**

El Tránsito Promedio Diario Anual, se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de un año, dividido entre los 365 días del mismo. (G., Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas, 1998, pág. 154).

$$\text{Ecuación 8. TPDA} = \frac{TA}{365}$$

TA= Tránsito Anual

#### **4.1.2. Aforos vehiculares**

Es el conteo actual de tráfico, que ayuda a determinar las condiciones presentes y predecir el volumen que será atraído en el periodo de diseño seleccionado. Para que tal estudio se puede llevar a cabo se deberá seleccionar el método de conteo, entre los principales están:

- a) Aforo manual o visual.
- b) Aforo automático o mecánico.
- c) Aforo fotográfico o en movimiento.

El más práctico es el conteo manual, este es un método que trata en obtener los datos del volumen de tránsito a partir del uso de personal de campo conocido popularmente como aforadores de tráfico, permitiendo clasificar los vehículos por tamaño, tipo, número de ocupantes, entre otras características.

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

##### **Estación de mayor cobertura (EMC)**

En las estaciones de mayor cobertura se realizan conteos clasificados durante 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, este tipo de conteo se efectúa únicamente 3 veces al año divididos en tres cuatrimestres ya que presenta un alto costo de ejecución. (MTI, 2019, pág. 8)

### **Estación de corta duración (ECD)**

Se realizan mayormente en tramos de pavimentos flexible y articulado, tiene como principal objetivo conocer las variaciones diarias, semanales, y estacionales de tal manera que permita aplicarse a un grupo de estaciones semejantes. (MTI, 2019, pág. 8).

### **Estación de conteo sumaria (ECS)**

Son realizados con un mínimo de 3 días durante 12 horas diarias (6:00 a.m. – 6:00 p.m.) presentan volúmenes de Transito Promedio Diario Anual menores a 300 vehículos. (MTI, 2019, pág. 8).

#### **4.1.4. Clasificación vehicular**

Al momento de realizar el conteo vehicular es de vital importancia tomar en cuenta las características de los vehículos que circulan por el camino, ya que presentan diferencias en su tipología, es por ello que el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) en su Anuario de Aforos de Tráfico 2019 presenta una hoja con 17 tipos de vehículos para ser utilizada en campo. **(Ver Anexos, pág. XXXII).**

Con el propósito de simplificar el estudio de dicha clasificación se designaron en cuatro categorías principales:

**Motocicletas:** Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados, con o sin transporte, esta categoría incluye scooter, motonetas, motocarros, cuadra ciclos y otros triciclos a motor.

**Vehículos livianos:** Son vehículos automotores de cuatro ruedas que incluye, automóviles, jeep, camionetas, y microbuses de uso personal.

**Vehículos pesados de pasajeros:** Son vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los microbuses pequeños (hasta de 5 pasajeros), Microbuses Medianos (de 25 pasajeros), y también buses medianos y grandes.

**Vehículos pesados de carga:** Son todos aquellos vehículos destinados al transporte pesado de carga mayores o iguales de tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3, 4, 5, y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2), camiones (C3), C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de tipos (T3S2) y (T3S3), y otros vehículos para clasificación especial, como agrícolas y de construcción.

**Otros:** Incluye remolques o tráiler pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal.

#### **4.2. Procesamiento y análisis de información**

**Procesamiento de la información:** Indica todo el trabajo de gabinete, donde se aplicarán los métodos necesarios para la obtención de los resultados apropiados al estudio.

**Análisis de la información levantada en campo:** Se toma en cuenta todos los criterios que establecen los manuales y reglamentos vigentes en Nicaragua, para lograr alcanzar mejor los resultados obtenidos.

En el conteo vehicular, se ubicó una única estación de conteo en el empalme de WanaWana, inicio del proyecto (**ver figura N°16, anexos, pág. XXXIII**). Siendo la estación usada para el estudio de tránsito y su proyección futura de diseño, ya que esta presenta el mayor flujo vehicular durante los siete días de aforo.

En la tabla N° 13, página 44, se muestra el resumen de los datos levantados en campo.

**Tabla N°13. Resumen de datos levantados en un periodo de 12 horas, sentido Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda (6:00 am – 6:00 pm)**

Estación : 1		Tramo: Empalme WanaWana-Barrio Pablo Úbeda			Período: S			Días: 7		Horas		Mes/Año: Diciembre 2020		Km: 0+000				
Fecha	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipos Pesados			Total	
		Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros
LU, 21 de Diciembre 20	134	21	14	107	7	0	13	11	47	8	3	0	4	2	1	1	2	375
MA, 22 de Diciembre 20	126	12	7	104	0	0	16	13	30	13	2	0	2	0	0	0	2	327
MI, 23 de Diciembre 20	98	10	6	95	0	1	12	17	33	7	4	0	2	3	2	1	0	291
JU, 24 de Diciembre 20	114	18	14	103	2	0	14	14	18	8	1	0	4	5	2	2	0	319
VI, 25 de Diciembre 20	76	13	9	74	5	0	16	17	29	2	4	0	6	4	0	0	0	255
SA, 26 de Diciembre 20	88	14	16	69	4	4	14	17	48	10	1	0	4	1	0	1	1	292
DO, 27 de Diciembre 20	58	8	6	52	1	1	14	16	17	4	2	0	1	2	0	0	0	182
Total	694	96	72	604	19	6	99	105	222	52	17	0	23	17	5	5	5	2041

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°14. Aforo vehicular de la estación N° 1 de 12 horas, Transito Promedio Diurno de 12 Horas (TPDi)**

Estación : 1			Tramo: Empalme WanaWana-Barrio Pablo Úbeda			Período: S		Días: 7		Horas		Mes/Año: Diciembre 2020		Km: 0+000				
Fecha	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipos Pesados			Total	
		Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx<=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros
LU, 21 de Diciembre 20	134	21	14	107	7	0	13	11	47	8	3	0	4	2	1	1	2	375
MA, 22 de Diciembre 20	126	12	7	104	0	0	16	13	30	13	2	0	2	0	0	0	2	327
MI, 23 de Diciembre 20	98	10	6	95	0	1	12	17	33	7	4	0	2	3	2	1	0	291
JU, 24 de Diciembre 20	114	18	14	103	2	0	14	14	18	8	1	0	4	5	2	2	0	319
VI, 25 de Diciembre 20	76	13	9	74	5	0	16	17	29	2	4	0	6	4	0	0	0	255
SA, 26 de Diciembre 20	88	14	16	69	4	4	14	17	48	10	1	0	4	1	0	1	1	292
DO, 27 de Diciembre 20	58	8	6	52	1	1	14	16	17	4	2	0	1	2	0	0	0	182
Total	694	96	72	604	19	6	99	105	222	52	17	0	23	17	5	5	5	2041
TPDi(12HRS)	99	14	10	86	3	1	14	15	32	7	2	0	3	2	1	1	1	290
PORCENTAJE	78.276							21.035						0.690		0.345		100

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. Determinación del vector de correspondencia

El anuario de aforos de tráfico año 2019, presenta vectores de correspondencia que se clasifican según las características del tráfico, y según la zona en estudio para este caso, se hará uso de la tabla del vector geográfico de correspondencia, clasificando al departamento de Matagalpa en la región Central Norte, con vector R3, ver siguiente tabla.

**Tabla N°15. Vector geográfico de correspondencia**

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

Fuente: Anuario de Tráfico 2019. MTI, pág. 7.

#### 4.4. Estación de Mayor Cobertura

Son las estaciones de conteo continuo los 365 días al año con conteos clasificados de 24 horas por día, pero debido al alto costo que repercute en la ejecución de estos aforos, el ministerio no está en la capacidad de realizar los 365 días del año por ende se dividió el periodo en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante tres tiempos por 7 días consecutivos cada uno las 24 horas, lográndose obtener el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) que no es más que el promedio de los periodos. (MTI, 2019, pág. 8).

**Tabla N°16. Estación de mayor cobertura**

<b>CODIGO NIC</b>	<b>EST.</b>	<b>TIPO</b>	<b>NOMBRE DEL TRAMO</b>
NIC-1	101B	EMC	Zona Franca - La Garita
NIC-1	107	EMC	Sébaco - Emp. San Isidro
NIC-2	200	EMC	Entrada al INCAE - El Crucero
NIC-3	300	EMC	Sébaco - Quebrada Honda
NIC-4	401	EMC	Masaya - Granada
NIC-7	700	EMC	Emp. Camoapa - Tecolostote
NIC-12A	1205	EMC	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega
NIC-18A	1802	EMC	San Marcos - Masatepe
NIC-24A	2404	EMC	Chinandega - Corinto
NIC-24B	2400	EMC	Chinandega (Rotonda) - Rancheria
NIC-28	2803	EMC	Nagarote - La Paz Centro

Fuente: Anuario de Aforos de tráfico 2019. MTI, pág. 10.

#### **4.5. Estación de mayor cobertura asociada al tramo en estudio**

Entre las 11 estaciones de mayor cobertura existentes en Nicaragua, la estación a utilizar en este caso es la del tramo “Sébaco – Quebrada Honda”, la cual brindara los factores de ajustes diarios, semanales, y de expansión correspondientes para la cuantificación del TPDA, dicha estación está compuesta por 28 estaciones de corta duración. Este tipo de estaciones se diferencian de las otras por presentar un TPDA entre 300 a 5,000 vehículos por día.

**4.6. Selección de estación de corta duración asociada al flujo vehicular que circula por el empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda.**

Una vez encontrada la Estación de Mayor Cobertura (EMC – 300), la estación de corta duración para este caso será la del tramo “Emp. WanaWana – San Pedro del Norte”, con número de estación 1303, la cual aplica perfectamente ya que cuenta con un flujo vehicular que sobre pasa los 300 vehículos por día.

**Tabla N°17. Dependencia de estaciones**

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
<b>300 Sébaco - Quebrada Honda</b>	NIC-5	511	ECD	Santa Emilia - El Tuma
	NIC-5	510	ECS	El Naranjo - Emp. El Hormiguero
	NIC-5	512	ECS	Emp. El Hormiguero - Siuna (Inter NIC-21)
	NIC-7	709	ECD	Emp. Teustepe - Emp. Boaco
	NIC-7	703	ECD	Tecolostote - Juigalpa
	NIC-7	704	ECD	Juigalpa - Emp. Acoyapa
	NIC-7	705	ECD	Emp. Acoyapa - Santo Tomás
	NIC-7	706	ECD	Santo Tomás - Villa Sandino
	NIC-7	710	ECD	Villa Sandino - La Curva
	NIC-13C	1303	ECS	Emp. Wanawana - San Pedro del Norte

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico 2019. MTI pág. 42 del PDF.



**Tabla N°18. Tráfico Promedio Diario Anual Histórico por Tipo de Vehículo Año 2019. Estación de corta duración asociada al tráfico que circula por la zona en estudio (Estación de Corta Duración – Empalme WanaWana – San Pedro del Norte)**

N°	CODIGO NIC	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	AÑO	MOTOS	AUTOS	JEEP	CMTA.	McBus<15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv 2-5 Ton.	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A.	V.C	TPDA
112	NIC-13C	ECD	Emp. WanaWana - San Pedro del Norte	2015	105	4	4	93	21	1		11	69	3	1						312
				2013	91	1	13	100		3	21	14	64	14		3					324
				2009	67	4	13	69		1	17	7	32	1		3					214
				2005	14	6	19	73			17	9	49	3		1					190
				2003	11	11	25	57			15	18	48	2		2				1	190
				2001	11	8	22	52			15	9	54	2							174
				1997	7	3	18	35			13	9	28	3							116
			EMC																		
			Tasa de Crecimiento: 5.13%	2019	128	5	5	114	26	1		13	84	4	1						381
					Liv. 252				Pasaj. 27			Pesado 103									
					66%				7%			27%									

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2019. MTI pág. 144 del PDF.

#### 4.7. Factores de ajustes para cuantificar TPDA

Los factores conseguidos en la estación de mayor cobertura, elaborado por el personal de conteo de tráfico de la oficina de diagnóstico, evaluación de pavimentos y puente, fue seleccionado en el tercer cuatrimestre, estableciendo un periodo entre los meses de septiembre – diciembre del año 2019, esto debido a que el aforo realizado para en la zona de estudio se efectuó del 21 al 27 de diciembre del año 2020.

**Figura N°4. Factores tercer cuatrimestre del año 2019 (EMC – 300: Sébaco – Quebrada Honda) Emp. WanaWana – Barrio Pablo Úbeda.**

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx- Sx<=4	Tx- Sx>=5	Cx- Rx<=4	Cx- Rx>=5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.24	1.26	1.27	1.27	1.26	1.29	1.21	1.28	1.51	1.43	1.00	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.33
Factor Semana	1.01	1.00	1.02	0.95	0.94	0.91	0.97	0.88	0.93	0.85	1.00	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08
Factor Fin de Semana	0.98	1.00	0.96	1.14	1.20	1.31	1.07	1.55	1.22	1.78	1.00	1.58	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85
Factor Expansión a TPDA	1.02	1.00	1.05	1.05	0.95	1.18	0.97	1.03	0.97	1.14	1.00	1.12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.19

Fuente: Anuario de Trafico 2019. MTI pág. 331 del PDF.

#### 4.8. Cálculo del TPDA

Para cuantificar el TPDA es necesario hacer uso de los factores de ajustes proporcionados por la EMC – 300 Sébaco – Quebrada Honda, que de tal manera proporcione un TPDA al tramo del Emp. WanaWana – San Pedro del Norte. En cuanto a la estimación de la tasa de crecimiento conforme al desarrollo económico del país, se obtiene mediante la ECS – 1303 Emp. WanaWana – San Pedro del Norte que permite proyectar el TPDA a un determinado periodo de años.

$$\text{Ecuación 9. } TPDA = TPDi_{12H} * FD * FS * FE$$

Donde:

TPDi<sub>12H</sub>: Tráfico Promedio Diurno, 12 horas.

FD: Factor día

FS: Factor semana

FE: Factor Expansión (Expansión a TPDA)

### Cálculo del tránsito promedio diario anual de la moto.

$$TPDA = (99) * (1.24) * (1.01) * (1.02) = 126 \text{ Vehículos/día.}$$

**Tabla N°19. Cálculo del TPDA, aplicando los factores de ajuste de la EMC 300 – Sébaco – Quebrada Honda.**

Empalme WanaWana				Periodo: S		Días: 7	Hora: 12	Mes/Año: Diciembre 2020							Longitud: 2,100 m.			
Descripción	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipos Pesados			Total	
		Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros
TPDi (12HRS)	99.00	14.00	10.00	86.00	3.00	1.00	14.00	15.00	32.00	7.00	2.00	0.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00	291.00
FACTOR DIA	1.24	1.26	1.27	1.27	1.26	1.29	1.21	1.28	1.51	1.43	1.00	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.33	20.75
TPD (24 HRS)	123.00	18.00	13.00	109.00	4.00	1.00	17.00	19.00	48.00	10.00	2.00	0.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00	372.00
FACTOR SEMANA	1.01	1.00	1.02	0.95	0.94	0.91	0.97	0.88	0.93	0.85	1.00	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.08	16.41
TPD SEMANAL	124.00	18.00	13.00	104.00	4.00	1.00	16.00	17.00	45.00	9.00	2.00	0.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00	361.00
FACTOR EXP.TPDA	1.02	1.00	1.05	1.05	0.95	1.18	0.97	1.03	0.97	1.14	1.00	1.12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.19	17.67
TPDA	126.00	18.00	14.00	109.00	4.00	1.00	16.00	18.00	44.00	10.00	2.00	0.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00	370.00
PORCENTAJE	34.05	4.86	3.78	29.46	1.08	0.27	4.32	4.86	11.89	2.70	0.54	0.00	0.81	0.54	0.27	0.27	0.27	100.00
	73.51						26.22										0.27	100.00

Fuente: Elaboración propia

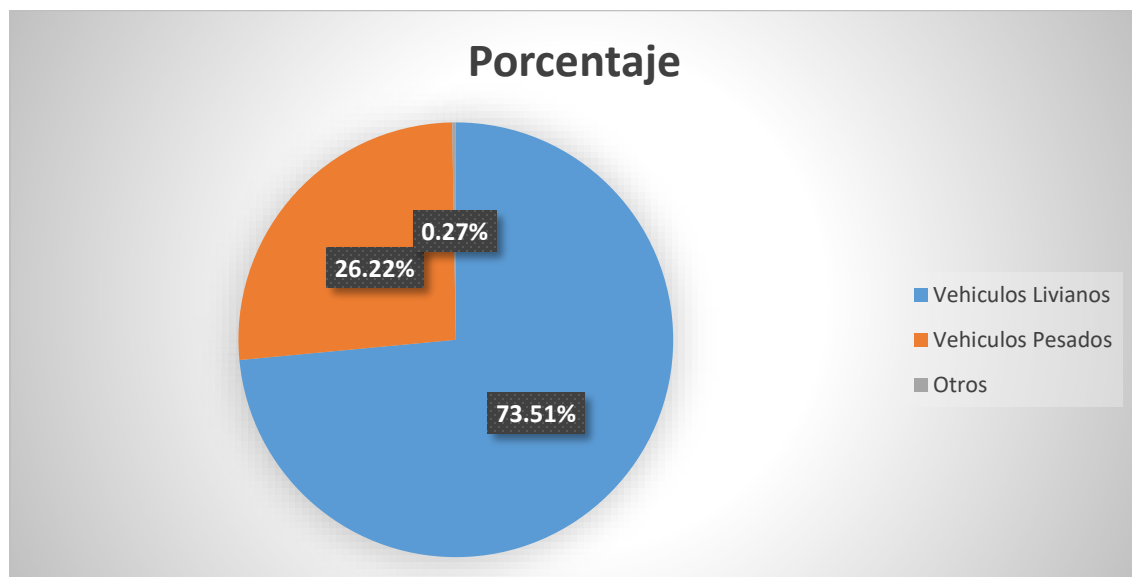
Ahora que se conoce el TPDA del sitio en estudio, se determina el porcentaje de vehículos de livianos, y vehículos pesados que circulan por él, como se puede observar en el grafico No. 1 y No. 2 mostrados a continuación, los vehículos de pasajeros están compuestos por motos, automóviles, jeep, camionetas, y microbús < 15 pasajeros el cual le corresponde un 73.51%, en el caso de los vehículos pesados están constituido por Bus, Liv. 2-5 t. C3, entre otros con un 26.22% y otros con un porcentaje de 0.27, dando como resultado un 100%.

**Tabla N°20. Porcentaje de tráfico de vehículos livianos y pesados que circulan por el Empalme WanaWana**

Tipo	Porcentaje
Vehículos Livianos	73.51%
Vehículos Pesados	26.22%
Otros	0.27%
Total	100.00%

Fuente: elaboración propia

**Grafico 1. Porcentaje de tráfico de vehículos livianos y pesados que circulan por el Empalme WanaWana**



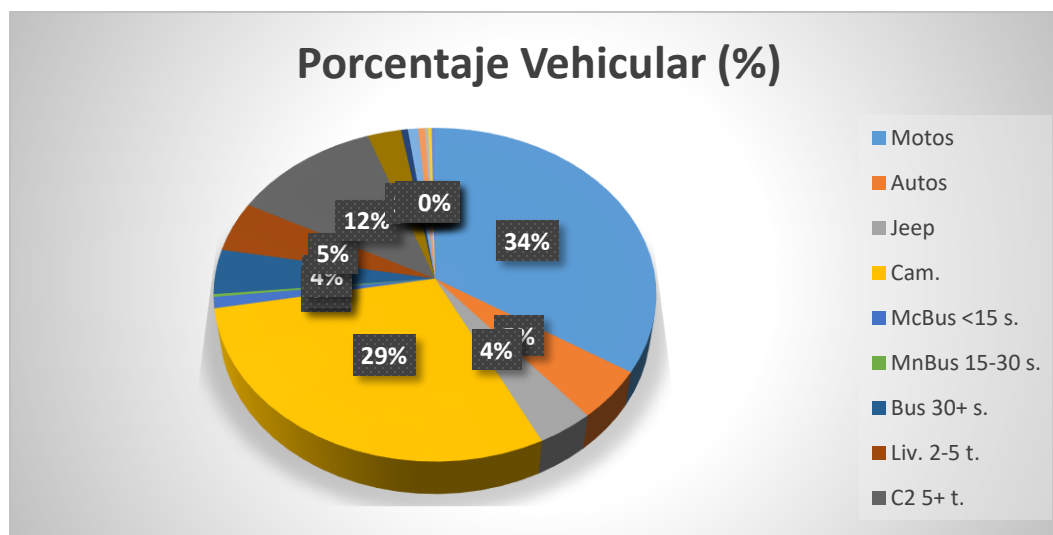
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N°21. Porcentaje vehicular según el TPDA que circula por el Empalme WanaWana**

	Vehículos Livianos							Vehículos Pesados									Otros
Tipo	Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.	
Porcentaje (%)	34.05	4.86	3.78	29.46	1.08	0.27	4.32	4.86	11.89	2.70	0.54	0.00	0.81	0.54	0.27	0.27	0.27

Fuente: Elaboración Propia

**Grafico 2. Porcentaje vehicular según el TPDA que circula por el Empalme WanaWana**



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.9. Proyección de tráfico futuro**

Es necesario conocer cómo se comportará el tráfico futuro, para ello conviene tomar los registros históricos del TPDA de la zona en estudio considerando la tasa vehicular a lo largo de los años, el producto interno bruto (PIB) y la tasa de crecimiento poblacional, analizando cuales tasas de crecimiento son ajustables a la zona.

##### **4.9.1. Crecimiento poblacional**

Las estadísticas poblacionales cuantificadas por el Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos (INEC), conocido hoy en día como el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), con el fin de evaluar las tendencias y coherencias de los datos municipales, entre el periodo 1971-2005, se estudiaron las tasas de crecimiento (TC) y proporciones de población recogidas a través de los censos poblacionales, de tal forma que se ajusten a las tasas estimadas para los departamentos.

Analizar el crecimiento poblacional mediante el INIDE, permite seleccionar la tasa de crecimiento (TC) del municipio de Rio Blanco, siendo de gran utilidad para proyectar el crecimiento de la zona en estudio correlacionándolo con el crecimiento vehicular y el PIB.

**Tabla N°22. Proyección de población en el municipio de Río Blanco según INIDE.**

<b>Año</b>	<b>Ambos sexos</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>
<b>Río Blanco</b>			
<b>2005</b>	32,755	16,278	16,477
<b>2006</b>	32,991	16,365	16,626
<b>2007</b>	33,224	16,450	16,774
<b>2008</b>	33,453	16,532	16,921
<b>2009</b>	33,753	16,648	17,105
<b>2010</b>	33,970	16,723	17,247
<b>2011</b>	34,198	16,805	17,393
<b>2012</b>	34,422	16,884	17,538
<b>2013</b>	34,635	16,959	17,676
<b>2014</b>	34,838	17,029	17,809
<b>2015</b>	35,031	17,095	17,936
<b>2016</b>	35,249	17,165	18,084
<b>2017</b>	35,454	17,232	18,222
<b>2018</b>	35,652	17,298	18,354
<b>2019</b>	35,829	17,350	18,479
<b>2020</b>	35,858	17,400	18,458
<b>Tasa de Crecimiento</b>			
<b>2005-2010</b>	0.7	0.5	0.9
<b>2010-2015</b>	0.5	0.3	0.6
<b>2015-2020</b>	<b>0.5</b>	0.4	0.6

Fuente: Río Blanco en cifras. INIDE, Capítulo V. Proyección de población municipal, 2005 – 2020. Revisión 2007; pag.47.

Según el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), se obtiene una tasa de crecimiento poblacional de 0.5 % correspondiente al periodo 2015-2020 para el municipio de Río Blanco.

#### 4.10. Crecimiento vehicular

##### 4.10.1. Tasa de crecimiento

Una forma de proyectar el tráfico es con la siguiente ecuación que se mostrara, cabe mencionar que, para hacer uso de este método, es necesario conocer previamente el TPDA de la zona.

**Ecuación 10.** 
$$TC = \left[ \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] * 100$$

Donde:

TC= Tasa de crecimiento

TPDA<sub>i</sub> = Tráfico promedio diario actual.

TPDA<sub>o</sub> = Tráfico promedio diario del año base.

n= Diferencia de años.

##### 4.10.1.1. Cálculo de la Tasa de Crecimiento

Datos se obtienen de la **Tabla N° 25**.

Año	2015	2019
TPDA	312	381

$$TC = \left[ \left( \frac{381}{312} \right)^{\frac{1}{4}} - 1 \right] * 100 = 5.12 \%$$



La estación de corta duración, No. 1303 Sébaco – Quebrada Honda adecuada a la zona sirve para ver el comportamiento vehicular con respecto a los años, ver siguiente tabla.

**Tabla N°23. Estación de corta duración asociada al tráfico que circula por la zona en estudio.**

N°	CODIGO NIC	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	AÑO	MOTOS	AUTOS	JEEP	CMTA.	McBus<15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv 2-5 Ton.	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A.	V.C	TPDA
112	NIC-13C	ECD	Emp. WanaWana - San Pedro del Norte	2015	105	4	4	93	21	1		11	69	3	1						312
				2013	91	1	13	100		3	21	14	64	14		3					324
				2009	67	4	13	69		1	17	7	32	1		3					214
				2005	14	6	19	73			17	9	49	3		1					190
				2003	11	11	25	57			15	18	48	2		2				1	190
				2001	11	8	22	52			15	9	54	2							174
				1997	7	3	18	35			13	9	28	3							116
			EMC																		
			Tasa de Crecimiento: 5.13%	2019	128	5	5	114	26	1		13	84	4	1						381
					Liv. 252				Pasaj. 27			Pesado 103									
					66%				7%			27%									

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2018. MTI pág. 143 PDF.

**Tabla N°24. Datos históricos del TPDA tramo Emp. WanaWana - San Pedro del norte.**

<b>ECD NIC-13C Emp. WanaWana - San Pedro del Norte</b>									
<b>AÑO</b>	1997	2001	2003	2005	2009	2013	2015	2019	<b>TC</b>
<b>TPDA</b>	116	174	190	190	214	324	312	381	<b>5.12</b>

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico, Año 2019, pág. 144.

Como se demostró en el cálculo anterior con la **ecuación N° 10**, para comprobar la tasa de crecimiento vehicular del 2015 al 2019, se puede observar que en este periodo de 4 años se obtiene una tasa de crecimiento de 5.12 % siendo esta la tasa actual como se logra apreciar en los datos históricos del año 2019.

#### **4.10.2. Tasa de crecimiento vehicular aplicando la media geométrica.**

Con el fin de ponderar el resultado final se hará uso de la media geométrica considerando todos los TPDA históricos escogidos de la estación de corta duración No. 1303, código: NIC-13 C, tramo “Emp. WanaWana – San Pedro del Norte”, se calculan las diferentes tasas de crecimiento (TC), con la ecuación siguiente.

**Ecuación 11.** 
$$TCn = \left[ \left( \frac{TPDAn}{TPDAn-1} \right)^{\frac{1}{n}} \right]$$

Donde:

TCn = Tasa de crecimiento que se tenga en el periodo de análisis

TPDAn = Tráfico promedio diario del año en análisis

TPDAo = Tráfico promedio diario del año anterior

n= la diferencia de años

**Cálculo de TCn para el periodo comprendido de 1997-2001:**

$$TCn = \left[ \left( \frac{174}{116} \right)^{\frac{1}{4}} \right] = 1.11 \%$$

La tasa de crecimiento obtenida entre el periodo 1997-2001 es de TCn= 1.11, de esta manera se calculará para cada uno de los periodos siguientes. Ver siguiente tabla.

**Tabla N°25. Tasa de crecimiento a diferentes periodos de ECD tramo Emp. WanaWana – San Pedro del Norte.**

Periodo	TCn (%)
<b>1997-2001</b>	1.11
<b>2001-2003</b>	1.04
<b>2003-2005</b>	1
<b>2005-2009</b>	1.03
<b>2009-2013</b>	1.11
<b>2013-2015</b>	0.98
<b>2015-2019</b>	1.07

Fuente: Elaboración propia

Nota: las tasas de crecimiento a diferentes periodos de la tabla No. 25 están expresadas en porcentaje.

Teniendo todas las Tasas de crecimiento para cada una de los periodos, se calcula la tasa de crecimiento final aplicando la media geométrica mediante la ecuación siguiente.

**Ecuación 12.** 
$$Tf = [(Tc1 * Tc2 * Tc3 * ... * Tcn)]^{\frac{1}{n}} - 1$$

Donde:

Tf: Tasa de crecimiento final.

TCn: Diversas tasas de crecimiento obtenidas de la serie histórica.

n: Cantidad de tasas de crecimiento.

$$Tf = [(1.11 * 1.04 * 1 * 1.03 * 1.11 * 0.98 * 1.07)]^{\frac{1}{7}} - 1 = 4.75 \%$$

Obteniéndose una tasa final de Tf = 4.75%, entre el periodo de 1997 – 2019.

#### **4.11. Producto Interno Bruto (PIB)**

Son todos los bienes y servicios finales generados dentro de un país en un determinado periodo. El PIB en congruencia al poder adquisitivo (PPA) de una nación es la suma de valor de todos los bienes y servicios producidos en un país. Se utiliza como un indicador de la riqueza generada por una nación, ya sea durante un año, un trimestre u otra medida de tiempo.

Partiendo de la información brindada por el Banco Central, **(ver anexo, figura No. 16, pág. No. XXXIV)**, donde se puede apreciar el comportamiento histórico del PIB, desde el año 2006 al 2019, dichos datos está expresados en millones de córdobas.

De acuerdo a los anuarios históricos del Banco Central de Nicaragua (BCN) desde el año 2006 al 2019 el crecimiento promedio del PIB, fue de 4.33 % correspondiente a los datos analizados. Los datos del Producto Interno Bruto se pueden observar en **anexos, figura 17, pág. No. XXXV**

El promedio de las tasas de crecimiento del PIB entre los años 2006 al 2019, como se mencionó anteriormente es de 4.33 %. Ver siguiente tabla. Cabe destacar que a nivel nacional la tasa de crecimiento del PIB de la república de Nicaragua en promedio no sobrepasa los 4.25 %, según los estudios del Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE).

**Tabla N°26. PIB en millones de córdobas y su tasa de crecimiento (TC) por año, período comprendido del 2006-2019**

<b>AÑO</b>	<b>PIB EN MILLONES DE CORDOBAS</b>	<b>TC PIB %</b>
<b>2006</b>	118,837.70	0.00
<b>2007</b>	124,870.30	5.10
<b>2008</b>	129,160.50	3.40
<b>2009</b>	124,907.70	3.30
<b>2010</b>	130,416.30	4.40
<b>2011</b>	138,654.20	6.30
<b>2012</b>	147,661.40	6.50
<b>2013</b>	154,936.80	4.90
<b>2014</b>	162,351.30	4.80
<b>2015</b>	170,131.60	4.80
<b>2016</b>	177,894.90	4.60
<b>2017</b>	186,133.60	4.60
<b>2018</b>	178,780.60	4.00
<b>2019</b>	171,845.90	3.90
<b>Promedio del PIB</b>		
<b>Tc promedio</b>	<b>4.33</b>	<b>%</b>

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2019, Banco Central de Nicaragua.

Teniendo el porcentaje de todas las tasas de crecimiento se logra verificar que la tasa de crecimiento poblacional del municipio de Río Blanco según INIDE para el periodo del año 2015 al 2020 corresponde al 0.5%, para el PIB es de 4.33 % y la tasa de crecimiento vehicular escogida mediante la estación de corta duración tramo Emp. WanaWana – San Pedro del Norte No. 1303 la cual da una tasa entre el período 2016-2019 de 5.12 %, cabe mencionar que para esta última variable se calculó también aplicando el método de media geométrica con los mismos datos históricos de la ECD para ver el comportamiento más detallado de las diversas tasas a través de los años, resultando una tasa de crecimiento final de 4.75 %.

Siendo 5.12% la tasa de crecimiento del TPDA histórico, se discriminará esta tasa por que es mayor a la tasa del crecimiento del PIB que es lo que rige a nivel nacional, por lo tanto se procedió a utilizar la media aritmética obteniendo un valor de 4.75%.

**Tabla N°27. Resumen de las diferentes tasas de crecimiento consideras.**

<b>Variables a Analizar</b>	<b>Tasa de Crecimiento %</b>
<b>Crecimiento Poblacional Matagalpa Periodo 2015-2020 según INIDE</b>	<b>0.5</b>
<b>Crecimiento Vehicular, ECD Empalme WanaWana - San Pedro del Norte según Anuario de Aforos de Trafico, Año 2019</b>	TC periodo 2015-2019 = 5.12 TC aplicando la media geométrica al TPDA histórico ECD Empalme WanaWana - San Pedro del Norte = <b>4.75</b>
<b>Promedio del PIB según el Banco Central de Nicaragua</b>	<b>4.33</b>

Fuente: Elaboración propia

#### **4.12. Promedio de las tasas de crecimiento**

**Ecuación 13.**  $Tc \text{ Promedio} = \frac{0.5+4.75+4.33}{3} = 3.19\%$

Tasa a utilizar, promedio de las tasas de crecimiento poblacional (Tc), tasa de crecimiento vehicular (Tf), promedio del producto interno bruto (TPIB), dando como resultado **3.19%**.

#### **4.13. Tránsito de diseño**

El tránsito de diseño de pavimentos, el cálculo tiene como objetivo la cuantificación del número acumulado de ejes simples equivalentes, que circularan por el carril de diseño, durante un determinado período de diseño. (Fonseca, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, 2001).

##### **4.13.1. Periodo de diseño**

El periodo de diseño se refiere al tiempo de vida útil que se le dará a la estructura, considerando la proyección de tráfico y el periodo de años que se estime conveniente para que el pavimento no se vea afectado por las condiciones del entorno y que este no necesite más que el mantenimiento rutinario para conservar en buen estado dicha estructura durante el periodo estimado.

En la guía para elegir la estructura de pavimento, AASHTO 93, pág. 97 pdf. Se presenta los períodos recomendados en dependencia de la vía actual, **ver Tabla N° 28.**

**Tabla N°28. Período de diseño para pavimento según AASHTO 93.**

Clasificación de la Vía	Periodo de análisis en años
Urbano de Alto Volumen	30 - 50
Rural de Alto Volumen	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen	<b>10. - 20.</b>

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Design requirements pág. II-7.

La **Tabla No. 28.** Indica que la condición de una vía de bajo volumen de tráfico con superficies de agregado, comprende un periodo de diseño entre 10 a 20 años, en este caso se considerará que el pavimento del tramo sea diseñado para 20 años.

#### **4.13.2. Factor Direccional (FD)**

El factor de distribución direccional expresado como una relación, que pertenece a la cantidad de vehículos que circulan en una dirección o sentido de tráfico, generalmente este corresponde a la mitad del total de transito circulante en ambas direcciones.

**Tabla N°29. Factor de distribución direccional**

Factor de Distribución por Dirección	
Nº de Carriles en Ambas Direcciones	FD (%)
<b>2</b>	50 = 0.5
<b>4</b>	45 = 0.45
<b>6 o Mas</b>	40 = 0.4

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Design Requirements, pág. 97 PDF.

#### 4.13.3. Factor distribución carril (FC')

Este factor es representado como una relación, correspondiente al carril que recibe el mayor número de ESAL'S. Es decir, se selecciona el número de carriles por sentido para los cuales se está diseñando, el factor carril a utilizar en este diseño será del 100% ya que, en un camino de dos carriles, cualquiera de los dos puede ser el carril de diseño.

**Tabla N°30. Factor de distribución por carril.**

Factor de Distribución por Carril	
Número de Carriles en cada Dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 18 kips en el carril de diseño (F`C) (%)
1	100 = 1
2	80-100 = 0.80-1
3	60-80 = 0.60-0.80
4 o mas	50-75 = 0.50-0.75

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Design Requirements. Pág. 97 pdf.

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

Este factor está en dependencia de los años que será proyectado el tránsito, y su tasa de aumento anual vehicular, de igual manera indicará el aumento del flujo vehicular en el periodo de diseño, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación.

**Ecuación 14.** 
$$Fc = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365$$

Donde:

FC: Factor de crecimiento

i: Tasa de crecimiento del tránsito

n: Periodo de diseño (años)

365: Días del año



El Emp. WanaWana - Barrio Pablo Úbeda tendrá una proyección de 20 años y una tasa vehicular de 3.19%, dando un factor de incremento de:

$$Fc = \frac{(1 + 0.0319)^{20} - 1}{0.0319} * 365$$

$$Fc = 9,999.46$$

#### 4.13.5. Tránsito proyectado para el año 2040

Para el tránsito proyectado a 20 años, se usa la **ecuación No. 15**, la cual toma en cuenta el tránsito actual del 2020, su tasa de crecimiento de 3.19 % y el periodo de diseño.

**Ecuación 15.**  $Tn = To * (1 + i)^n$

Donde:

Tn: Tránsito proyectado al año n

To: Tránsito inicial en el año n

i: Tasa de crecimiento anual en %

n: Número de años en el periodo de diseño

**Sustituyendo a manera de ejemplo en la ecuación obtenemos**

**Tipo de vehículo: Moto**

$$Tn = 126 * (1 + 0.0319)^{20} = 236 \frac{Veh.}{día}$$

**Tabla N°31. Proyección del tráfico al año 2040.**

Tipo de Vehículo	TPDA 2020	TC	n	TPDA Proyectado al 2040
<b>Motos</b>	126	0.0319	20	236
<b>Autos</b>	18	0.0319	20	34
<b>Jeep</b>	14	0.0319	20	26
<b>Cam.</b>	109	0.0319	20	204
<b>McBus &lt;15 s.</b>	4	0.0319	20	7
<b>MnBus 15-30 s.</b>	1	0.0319	20	2
<b>Bus 30+ s.</b>	16	0.0319	20	30
<b>Liv. 2-5 t.</b>	18	0.0319	20	34
<b>C2 5+ t.</b>	44	0.0319	20	82
<b>C3</b>	10	0.0319	20	19
<b>Tx-Sx &lt;=4 e.</b>	2	0.0319	20	4
<b>Tx-Sx &gt;=5 e.</b>	0	0.0319	20	0
<b>Cx-Rx&lt;=4 e.</b>	3	0.0319	20	6
<b>Cx-Rx &gt;=5 e.</b>	2	0.0319	20	4
<b>V.A.</b>	1	0.0319	20	2
<b>V.C.</b>	1	0.0319	20	2
<b>Otros</b>	1	0.0319	20	2
		<b>Total</b>		<b>693</b>

Fuente: Elaboración propia

#### **4.13.6. Cálculo del tránsito de diseño**

**Ecuación 16.**  $TD = TPDAo * FC * FD * FC'$

Donde:

TPDAo = Tránsito Promedio Diario Anual del año cero.

FC= Factor de crecimiento

FD= Factor de distribución por carril

El factor direccional es de 50 % equivalente a 0.5, debido a que la vía a diseñar será de 2 carriles, en el caso del factor carril este será escogido de 100%, ya que solo habrá un carril destinado por cada dirección.

**Sustituyendo a manera de ejemplo en la ecuación 16 obtenemos:**

**Tipo de vehículo: Moto**

$$TD = 126 * 9999.46 * 0.5 * 1 = 629,965.98 \text{ Vehículos}$$

En la siguiente tabla se muestra el tránsito de diseño por tipo de vehículo aplicando la ecuación 16.

**Tabla N°32. Tránsito de diseño por tipología vehicular**

<b>Tránsito de diseño</b>					
<b>Tipo de vehículo</b>	<b>TPDA 2020</b>	<b>FC</b>	<b>FD</b>	<b>FC'</b>	<b>TD</b>
<b>Motos</b>	126.000	9999.460	0.500	1.000	629965.980
<b>Autos</b>	18.000	9999.460	0.500	1.000	89995.140
<b>Jeep</b>	14.000	9999.460	0.500	1.000	69996.220
<b>Cam.</b>	109.000	9999.460	0.500	1.000	544970.570
<b>McBus &lt;15 s.</b>	4.000	9999.460	0.500	1.000	19998.920
<b>MnBus 15-30 s.</b>	1.000	9999.460	0.500	1.000	4999.730
<b>Bus 30+ s.</b>	16.000	9999.460	0.500	1.000	79995.680
<b>Liv. 2-5 t.</b>	18.000	9999.460	0.500	1.000	89995.140
<b>C2 5+ t.</b>	44.000	9999.460	0.500	1.000	219988.120
<b>C3</b>	10.000	9999.460	0.500	1.000	49997.300
<b>Tx-Sx &lt;=4 e.</b>	2.000	9999.460	0.500	1.000	9999.460
<b>Tx-Sx &gt;=5 e.</b>	0.000	9999.460	0.500	1.000	0.000
<b>Cx-Rx&lt;=4 e.</b>	3.000	9999.460	0.500	1.000	14999.190
<b>Cx-Rx &gt;=5 e.</b>	2.000	9999.460	0.500	1.000	9999.460
<b>V.A.</b>	1.000	9999.460	0.500	1.000	4999.730
<b>V.C.</b>	1.000	9999.460	0.500	1.000	4999.730
<b>Otros</b>	1.000	9999.460	0.500	1.000	4999.730
				<b>Total</b>	<b>1849900.100</b>

Fuente: Elaboración propia

En Anexos se muestra las fotografías del aforo vehicular levantado por los sustentantes, en un periodo de 7 días del lunes 21 de diciembre del 2020 al domingo 27 del mismo año; **ver pág. XXXVI.**

# CAPÍTULO V

## DISEÑO GEOMÉTRICO



## **Capítulo V.    Diseño Geométrico**

### **5.1.        Introducción**

El diseño geométrico es una de las partes más importantes en los proyectos de construcción de carreteras y calles, su propósito consiste en juntar los elementos que conformaran la vía, tomando en cuenta las condiciones del terreno en estudio, los vehículos que transitaran por la misma y los elementos físicos que la conforman, con el fin de ser considerados al momento de rediseñar la vía de tal manera que el trazo se adapte lo más posible a las características y condiciones actuales del territorio y así, esta sea funcional para los habitantes de la zona que serán los principales beneficiados.

La geometría de una carretera está conformada por tres elementos bidimensionales, estos son el alineamiento horizontal, el alineamiento vertical y el diseño transversal, al unirlos se obtiene un elemento tridimensional que corresponde a la vía en estudio. Un buen diseño está basado en que la combinación de los alineamientos ofrezca la máxima seguridad, capacidad, velocidad, facilidad y uniformidad en la operación.

En este capítulo se presenta el diseño geométrico del tramo Empalme WanaWana-Barrio Pablo Úbeda el cual se realizó aplicando, los criterios de diseño, “Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras (SIECA 2011).

## **5.2. Sistemas y Clasificaciones**

Siendo las carreteras un componente de un sistema integral de transporte, ha sido necesario clasificarla de distintas maneras, según la necesidad de reflejar alguna característica común o algún propósito determinado. Así si han clasificado según sus sistemas operacionales, según su clase, según su función o según tipos geométricos y orográficos.

Estas clasificaciones han sido necesarias para facilitar la comunicación entre los planificadores, administradores, ingenieros y el público en general, según la región en la que se encuentra, se pueden clasificar en urbanas y rurales (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras., 2011, pág. 23).

## **5.3. Clasificación Funcional**

La clasificación funcional es el proceso por el cual las carreteras y calles son agrupadas en clases, o sistemas, de acuerdo a las características de servicio al tráfico que se intente proveer (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras., 2011, pág. 23).

## **5.4. Clasificación Funcional y Servicios Provistos**

Esta clasificación reconoce que los caminos y calles individuales no sirven a los viajes en forma independiente. Más bien, la mayoría de los viajes comprenden movimientos a través de las redes de caminos que pueden categorizarse con relación a tales redes en una forma lógica y eficiente. De este modo, la clasificación funcional de caminos y calles es también consistentes con la categorización de viajes, (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geometrico de Carreteras., 2011, pág. 24).

La clasificación funcional agrupa las calles y carreteras en tres grupos:

**Tabla N°33. Sistema de Clasificación Funcional**

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	SERVICIOS QUE PROVEE
• Arterial	Provee el mayor nivel de servicio con las mayores velocidades permitidas en distancias de viaje ininterrumpido, con algún grado de control en los accesos.
• Colector	Provee un menor nivel de servicio que la arterial. Se permiten velocidades menores en distancias cortas por servir de colector de tráfico de caminos locales y los conecta con las arteriales.
• Local	Consiste en todas las carreteras no definidas como arteriales o colectoras; su servicio principal es proveer acceso a la mayoría de lugares y sirve a los viajes sobre distancias relativamente cortas.

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2011; pág. 25 del PDF.

### 5.5. Colectoras Rurales

Este tipo de carreteras generalmente sirve al tránsito con recorridos de menores distancias relativas, que se mueve entre ciudades, pueblos y villas, sirve así mismo como alimentador de las arterias troncales y de las colectoras suburbanas. La velocidad en estas vías es moderada, comparada con las arterias de tránsito mayor. Las colectoras amplían la zona de influencia de la red principal, por cuanto mueven el tránsito que se origina en zonas agrícolas y ganaderas importantes, puertos o embarcaderos, centros de educación con significativo movimiento de estudiante y áreas industriales, sus volúmenes de tránsito para diseño se ubican entre los 10,000 y 500 vehículos/día. (Consultor, 2004, págs. 3-12).

Generalmente, las vías colectoras rurales sirven a los viajes interdepartamentales, más que los de importancia municipal, y sobre las cuales (independientemente del volumen de tránsito) las distancias predominantes de viaje son más cortas que sobre las vías arteriales. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 27).

Consecuentemente pueden tener velocidades típicas más moderadas. Para definir más claramente los colectores rurales, se los sub-clasifica de acuerdo con los criterios siguientes.

- Carreteras colectoras mayores. Estas vías (a) sirven a las cabeceras municipales no ubicadas sobre vías arteriales, grandes poblados no servidos directamente por los sistemas principales, y otros generadores de tránsito equivalente a la importancia interurbana, tales como escuelas, puntos de embarque, parques municipales e importantes zonas mineras y agrícolas; (b) unen estos lugares con pueblos vecinos más grandes o ciudades, o con vías de clasificación más alta; y (c) sirven a los corredores de viajes interurbanos más importantes. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 28).
- Carreteras colectoras menores. Estas vías deberían (a) espaciarse a intervalos que estén de acuerdo a la densidad de población para juntar el tránsito de los caminos locales y poner a todas las zonas desarrolladas dentro de las distancias apropiadas para el usuario hacia los caminos colectores, (b) servir a las comunidades restantes más pequeñas y (c) unir los generadores de tránsito localmente importantes con su vecindad rural. (Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras., 2011, pág. 28).

En el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2004, clasifica las carreteras regionales en función al volumen de tránsito, superficie de rodamiento y número de carriles, por consiguiente como es un dato de mucha importancia para clasificar la carretera, se propone usar este criterio.

#### **5.6. Clasificación de las carreteras regionales SIECA 2004**

Las carreteras regionales o centroamericanas constituyen una clasificación en sí que las separa y distingue de las carreteras nacionales de cada país de Centroamérica por una tenue línea divisoria que es más práctica que real. Se reputa como regional todo lo que es propio de la integración centroamericana o



se acepta como tal por su proyección, alcance o simple definición de las autoridades competentes.

La clasificación funcional de las carreteras regionales, admite el establecimiento de cinco tipos de carreteras entre rurales y suburbanas, con límites en lo que respecta a volúmenes de tránsito para diseño, que por el rango inferior no deben ser inferiores a los 500 vehículos promedio diario. Por consiguiente, están fuera de consideración las carreteras urbanas al igual que los caminos vecinales o locales. (Consultor, 2004, págs. 3-8,3-9).

Véase el siguiente cuadro, donde se clasifican las carreteras, en función al volumen de tránsito, número de carriles y tipo de superficie de rodamiento.

**Tabla N°34. Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de Carriles y Tipo de Superficie de Rodamiento**

<b>TPDA</b>	<b>&gt;20,000</b>		<b>20,000-10,000</b>		<b>10,000-3,000</b>		<b>3,000-500</b>	
<b>Clasificación funcional</b>	<b>No. C</b>	<b>Superf.</b>	<b>No.C</b>	<b>Superf.</b>	<b>No.C</b>	<b>Superf.</b>	<b>No.C</b>	<b>Superf.</b>
AR- Autopistas Regionales	6-8	Pav.	4-6	Pav.				
TS- Troncales Suburbanas	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
TR- Troncales Rurales	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
CS- Colectoras Suburbanas			2-4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR- Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA 2004, pág. 3-9.

## 5.7. Clasificación de las carreteras regionales SIECA 2011

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

**Tabla N°35. Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de Carriles y Tipo de Superficie de Rodamiento.**

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

Fuente: Manual SIECA 2011; pág. 33.

**El TPDA proyectado al año 2040 de 693 vehículos/día**, siendo un tramo de bajo volumen vehicular se realizó la clasificación funcional de la vía, procediendo a utilizar la tabla 34 Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de Carriles y Tipo de Superficie de Rodamiento (SIECA 2004), y Tabla No 35. Clasificación Funcional de las Carreteras Regionales, Volúmenes de Tránsito, Número de Carriles y Tipo de Superficie de Rodamiento (SIECA 2011), partiendo con el dato del TPDA proyectado se encuentra en el rango de 3000 – 500 vehículos, obteniendo así el resultado de la clasificación funcional en ambas tablas, como ***colectora menor rural***.

### **5.7.1. Vehículo de Diseño**

Debido a las dimensiones tan variables que circulan por la red de carreteras, es necesario examinarlos, agruparlos en clases similares y establecer un vehículo representativo para cada clase, para su uso en el diseño geométrico.

Los vehículos de diseño son aquellos que tienen una exigencia mayor para maniobrar por la vía, tomando estos como la condición más crítica para la que debe estar diseñada la ruta. Los vehículos de diseño tienen dimensiones, pesos y radios de giro mayores a los demás automóviles que circularán en la vía, que al tipificar dichas características se le brindan al diseñador para que este pueda establecer los criterios de diseño adecuados.

**Se han seleccionado cuatro clases generales de vehículos; a saber:**

1. Vehículo liviano: incluye los automóviles, automóviles compactos, jeeps, camionetas agrícolas, vehículos deportivos, vans, minivans y pick-ups.
2. Buses: incluye los buses extraurbanos, buses urbanos, buses escolares y buses articulados.
3. Camión: incluye los camiones de unidad única (2 o 3 ejes), cabezal con semirremolque o un cabezal con semirremolque más semirremolque completo.
4. Recreacionales: incluye casas rodantes, carros con camper, carros con remolques con botes y casas rodantes remolcadas por carros.

Además cuando en la vía circular vehículos de tracción animal, tracción muscular, entre otros también estos se deben o pueden considerar como vehículos de diseño.

A falta de información local el Manual SIECA ha adoptado las dimensiones para los vehículos de diseño indicadas en el Exhibit 2.1 de Policy on Geometric Design of Highways and Streets (1). En el cuadro siguiente se muestra un resumen de las dimensiones de 6 vehículos de diseño que representan los vehículos de mayor uso en la red de carreteras en Centroamérica.

**Tabla N°36. Dimensiones de vehículos de diseño**

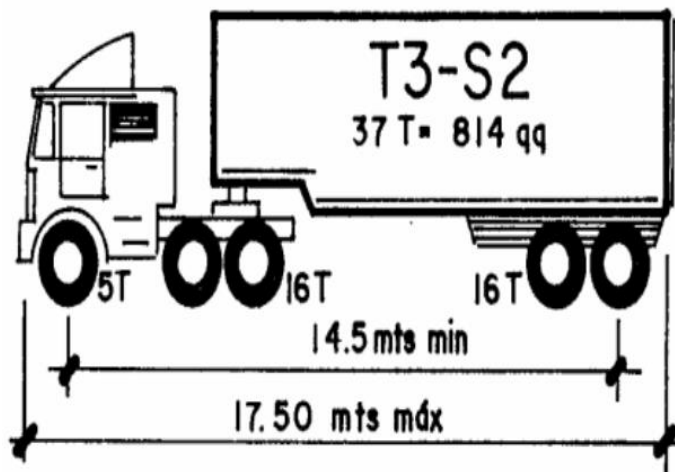
Vehículo de Diseño	Símbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo Delantero	Voladizo Trasero	WB1	WB2
Vehículo Liviano	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	
Camión	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	
Bus	BUS-14	3.70	2.60	12.20	1.80	2.60	7.30	
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.30	3.10	6.70	5.90	
Cabezal con Semirremolque	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.60	4.50	10.80	
Cabezal con Semirremolque	WB-19	4.10	2.60	20.90	0.90	0.60	4.50	10.80
Cabezal con Semirremolque	WB-20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40-0.80	6.6	13.20-13.80

Fuente: Manual SIECA 2011, cuadro 2.1, pág. 38 del PDF.

Nota: WB1, WB2 es la distancia entre ejes extremos Dimensiones en metros.

Se propone como vehículo de diseño, el Cx – Rx  $\leq 4$  e. o el T3 – S2 (WB-15 según el SIECA 2011, pág. 38 del Pdf. El cuál es el vehículo de mayor dimensión que se presenta en el tramo. Por tanto, se han considerado sus dimensiones geométricas como las más críticas que se presentará en la vía durante el período de diseño.

**Figura N°5. Vehículo de diseño CX-RX  $\leq 4$  e. (T3-S2)**



Fuente: Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores de Carga y sus Combinaciones, pág. 16 del PDF.

Se utilizará las dimensiones que se reflejan en el Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores de Carga y sus Combinaciones, pág. 16 del PDF. Del vehículo T3 – S2, ya que es un vehículo de mayor dimensión que el que se detalla en el Manual SIECA 2011, cuadro 2.1, pág. 38 del PDF. Con la finalidad de situar en las peores condiciones de delineación, para un mejor control del diseño de la vía en estudio.

#### **5.7.2. Trayectorias Mínimas de Giro de los Vehículos de Diseño**

Las dimensiones principales que afectan el diseño son el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central, al ancho de la huella, la distancia entre ejes y la trayectoria del neumático interior trasero.

Los efectos de las características del conductor (tal como la velocidad a la cual el conductor realiza un giro) y de los ángulos de deslizamiento de las ruedas, son minimizados asumiendo que la velocidad del vehículo para el radio mínimo de giro es de 15 km/h o menor.

Los límites de las trayectorias de giro de los distintos vehículos de diseño, al hacer los giros más cerrados, están establecidos por la trayectoria del saliente frontal y la trayectoria de la rueda interior trasera.

Este giro supone que la rueda frontal exterior sigue el arco circular, definiendo el radio de giro mínimo según como se determine por el mecanismo de manejo del vehículo. Los radios mínimos de las trayectorias de las ruedas exteriores e interiores y el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central, se muestra en el siguiente cuadro.

**Tabla N°37. Radios mínimos de Giro según Vehículos de Diseño**

Vehículo de Diseño	Símbolo	Radio de Giro Mínimo de Diseño (m)	Radio en la Línea Central RMG (m)	Radio Interior Mínimo (m)
Vehículo Liviano	P	7.30	6.40	4.40
Camión	SU	12.80	11.60	8.60
Bus	BUS-14	13.70	12.40	7.80
Bus Articulado	A-BUS	12.10	10.80	6.50
Cabecal con Semirremolque	WB-15	13.70	12.50	5.20
Cabecal con Semirremolque	WB-19	13.70	12.50	2.40
Cabecal con Semirremolque	WB-20	13.70	12.50	1.30

Fuente: Manual SIECA 2011, pág. 39 del PDF.

## **5.8. Velocidad**

La velocidad es uno de los factores más importantes para el viajero al seleccionar opciones de itinerarios o de modos de transporte. El atractivo de un sistema de transporte público o de una nueva carretera es evaluado por el viajero en términos de tiempo, conveniencia y dinero ahorrado. Para el conductor, la velocidad es uno de los elementos críticos a considerar en la selección de la ruta a transitar o la escogencia de un determinado modo de transporte.

La velocidad de los vehículos sobre un camino o carretera depende, además de la capacidad de los conductores y sus vehículos, de cinco condiciones generales: las características físicas de la carretera, la cantidad de interferencias en los lados de la carretera, las condiciones climáticas en su entorno, la presencia o interferencia de otros vehículos y las limitaciones a la velocidad, sean estas establecidas por regulaciones de carácter legales o debidas a dispositivos de control. Aunque cualquiera de ellas puede gobernar la velocidad de viaje, usualmente los efectos de estas condiciones son combinados.

#### a) Velocidad de Operación

La velocidad de operación es la velocidad a la que los conductores son observados operando su vehículo bajo condiciones desfavorables. El 85 percentil de la distribución de velocidades observadas es la más frecuente medida usada de las velocidades de operación asociadas con una particular localización o característica geométrica.

#### b) Velocidad de Ruedo

La velocidad a la cual un vehículo viaja en un tramo de una carretera es conocida como la velocidad de ruedo. La velocidad de ruedo es la longitud del tramo de la carretera dividida entre el tiempo requerido para que el vehículo de recorra ese tramo. La velocidad de ruedo promedio de todos los vehículos es la más apropiada medida de la velocidad para evaluar el nivel de servicio y costos de los usuarios de la carretera.

Una manera de estimar la velocidad de ruedo promedio para una obra existente donde el flujo de tránsito es razonablemente continuo, es medir la velocidad instantánea en una o más localizaciones. El promedio de la velocidad instantánea es el promedio aritmético de la velocidad de todo el tráfico que se ha medido en un punto especificado de la carretera.

#### **5.8.1. Velocidad de Diseño**

La velocidad de diseño (también conocida como velocidad directriz) es la velocidad seleccionada para determinar varias características geométricas de la carretera. La velocidad de diseño asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera. Excepto para calles locales donde los controles de velocidad son incluidos intencionalmente, debe hacerse un esfuerzo para ser una velocidad de diseño que sea practica para obtener un deseado grado de seguridad, movilidad y eficiencia bajo las restricciones de la calidad del ambiente e impactos económicos, estéticos y sociales o políticos.

Una vez seleccionada, todas las características pertinentes de la carretera deben relacionarse a la velocidad de diseño para obtener un diseño equilibrado.

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

- a) Distribución de las velocidades
- b) Tendencias a las velocidades
- c) Tipo de área
  - Rural
  - Urbana
- d) Condiciones del terreno
  - Plano
  - Ondulado
  - Montañoso
- e) Volúmenes de tránsito
- f) Consistencias en el diseño de carreteras similares o complementarias.
- g) Condiciones ambientales

Es deseable que la velocidad de ruedo para un porcentaje alto de conductores sea menor que la velocidad de diseño. Las experiencias indican que la desviación de este objeto deseado es más evidente y problemático en las curvas horizontales agudas (radios de curvas reducidos).

En autopistas y carreteras arteriales principales, en áreas rurales, debe seleccionarse una velocidad de diseño de 110 KPH. En carreteras colectoras de carriles múltiples, en áreas suburbanas y rurales, las apropiadas velocidades de diseño son de 80 a 100 KPH. En carreteras colectoras, el rango de velocidad debe ser de 30 a 80 KPH y rango de velocidades de 20 a 60 KPH pueden utilizarse en carreteras vecinales.



En el capítulo correspondiente al levantamiento topográfico, se definió que el terreno es ondulado por las variaciones de pendientes, ver pág. 19, del presente documento. Y como el tránsito diario proyectado al año 2040 es de 693 vehículo/día; la velocidad de diseño para la vía en estudio corresponde a **60 Kph**. Lo cual podemos corroborar en la tabla que se muestra a continuación.

**Tabla N°38. Velocidad de diseño en función de los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno.**

Tipo de Terreno	Volúmenes de tránsito Diario ó TPDA, en vpd			
	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3000-500
Plano	110	90	80	70
Ondulado	90	80	70	60
Montañoso	70	70	60	50

Fuente: Manual SIECA 2004, pág. 4-3, 94 del PDF.

### 5.9. Alineamiento Horizontal

Las principales consideraciones que controlan el diseño del alineamiento horizontal son:

- a) Categoría de la Carretera
- b) Topografía del área
- c) Velocidad del proyecto
- d) Distancia de visibilidad
- e) Coordinación con el perfil
- f) Costos de construcción, operación y mantenimiento

Todos estos elementos deben conjugarse de tal manera que el diseño resultante sea es más seguro y económico, en armonía con el contorno natural y al mismo tiempo adecuado a su categoría, según la clasificación funcional para el diseño.

La tendencia actual en el diseño de carreteras se orienta hacia la utilización de curvas amplias que se adaptan a la topografía del terreno, haciendo casi desaparecer las rectas.

Siguiendo algunos criterios, se recomienda evitar longitudes en rectas superiores a:

**Ecuación 17.**  $Lr = 20 * V$

En donde:

Lr = longitud de la recta, m

V = velocidad de diseño, KPH

En el diseño de las curvas de la carretera es necesario establecer las relaciones adecuadas entre la velocidad de diseño y la curvatura así como sus estrechas relaciones con el peralte y la fricción lateral.

Cuando un vehículo se mueve siguiendo una trayectoria circular, es forzado hacia afuera, radialmente, debido a la aceleración centrípeta. Si la carreta tiene una inclinación transversal (sobreelevación o peralte), la componente del peso paralelo a la inclinación de la carretera y la fuerza de fricción lateral que se desarrolla entre las llantas y la superficie, o una combinación de las dos, contrarrestan esta aceleración centrípeta; sin embargo, esta es una fuerza imaginaria que el conductor cree que lo empuja hacia afuera de las curvas cuando, en efecto, el vehículo se aceleró en dirección al interior de la curva.

La fórmula básica que gobierna la operación de un vehículo en curva es:

**Ecuación 18.** 
$$\frac{0.01e+f}{1-0.01ef} = \frac{v^2}{gR} = \frac{0.0079 v^2}{R} = \frac{v^2}{127R}$$

En donde:

e = tasa de peralte de la carretera, en porcentaje

f = factor de fricción lateral

v = velocidad del vehículo, m/s

g = aceleración de la gravedad,  $9.81 \text{ m/seg}^2$

V = velocidad del vehículo, Km/h

$R$  = radio de la curva, medido al centro de gravedad del vehículo, m

El valor del producto en esta ecuación es siempre pequeño, por lo que el término es normalmente omitido en el diseño de carreteras y calles, obteniéndose resultados ligeramente conservadores.

Si el vehículo viaja a velocidad constante en una curva con peralte en la que el valor de  $f$  es 0, la aceleración centrípeta es balanceada por la componente del peso del vehículo y teóricamente, no se requiere fuerza en el volante; esta velocidad se conoce como “velocidad de equilibrio”.

#### **5.9.1. 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 formula básica se aplica el valor de  $e_{máx}$ . 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.

- a) 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 cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte.

Se considera aquí las siguientes tasas: (1) tasa máxima de 0.10 en áreas rurales montañosas, siempre que no exista nieve o hielo, también 0.12 puede utilizarse en algunos casos, (2) generalmente, 0.08 es reconocido como valor máximo razonable, (3) 0.06 en área suburbana y (4) 0.04 en áreas urbanas. El peralte puede omitirse en calles urbanas de baja velocidad.

- b) A la sección transversal en tramos en recta se le aplica una pendiente transversal conocida como “bombeo normal”. La tasa de la pendiente a aplicar está determinada por las condiciones de drenaje. Consistentes con

el tipo de pavimento de la carretera y la cantidad de lluvia, los valores mínimos aceptables para pendientes transversales varían de 1.5% a 3.0%.

**5.9.1.1. Criterio para la selección del peralte máximo del proyecto de carretera Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda**

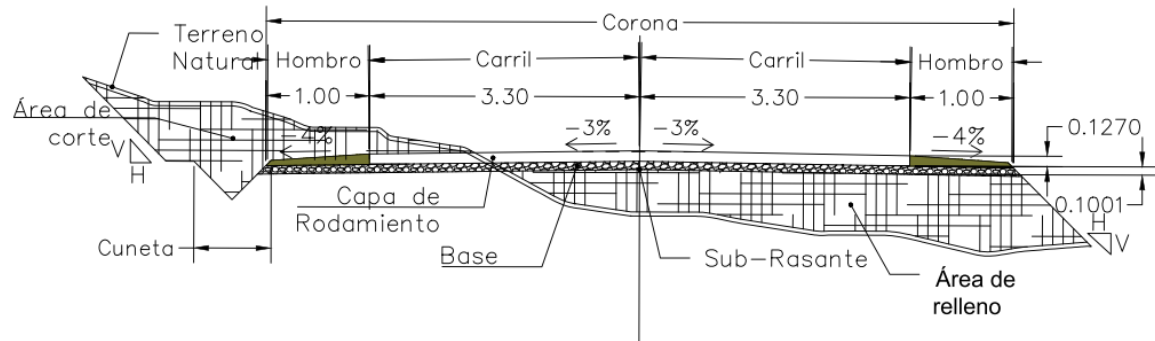
Para la selección del peralte máximo de la vía en estudio, se usa la tabla 4.9, pág. 4-46 del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA 2004. La cual indica que para terrenos rurales planos el peralte máximo a utilizar es de 8%, que sirve para la vía antes mencionada, que es del tipo de terreno ondulado con una velocidad de diseño de 60 Kph.

**Tabla N°39. Tasa de sobreelevación en función del tipo de área**

<b>Tasa de Sobreelevación, "e" en (%)</b>	<b>Tipo de Area</b>
10	Rural montañosa
8	Rural plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: Tabla 4.9, pág. 4-46 del Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales SIECA 2004.

**Figura N°6. Sección típica de la vía empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda.**



Fuente: Manual SIECA 2011; página 138 del PDF.

- c) Los máximos factores de fricción lateral permisibles para usar en el diseño de las curvas de todas las carreteras rurales y calles urbanas se han tomado del Exhibit 3.12 de AASHTO. Estos valores varían desde 0.28 a 30 KPH hasta 0.14 a 80 KPH, y varían directamente desde aquí hasta 0.09 a 120 KPH. El informe de investigación Side Friction For Superelevation on Horizontal Curves.

### 5.9.2. Radio mínimo

El radio mínimo es un valor limitante de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relaciona con el peralte máximo y la máxima fricción lateral seleccionada para el diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte 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.

Una vez establecido el máximo factor de peralte o sobreelevación ( $e$ ), los radios mínimos de curvatura horizontal se pueden calcular simplificando de la siguiente formula:

**Ecuación 19.** 
$$R = \frac{v^2}{127.14(e_{max} + f_{max})}$$

En donde:

R<sub>min</sub>: radio mínimo de curva, m

e<sub>máx</sub>: tasa de sobreelevación en fracción decimal

f<sub>máx</sub>: factor de fricción lateral

V: velocidad de diseño, en KPH

El grado de curvatura es una forma de expresar la “agudeza” de una curva y se expresa, para la definición “arco” como el ángulo central subtendido por un “arco” de 20 metros. A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión:

**Ecuación 20.** 
$$D_{20} = \frac{1145.9156}{R}$$

En donde:

D<sub>20</sub> = grado de curvatura, o ángulo en el centro de la curva, para un arco de 20 m.

R = radio de la curva, m.

**Tabla N°40. Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño, usando valores límites de “e” y “f”.**

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%		GRADO DE CURVATURA (Degree)	Peralte Máximo = 10%		GRADO DE CURVATURA (Degree)
		RADIO (m)			RADIO (m)		
		CALCULADO	RECOMENDADO		CALCULADO	RECOMENDADO	
20	0.35	7.3	7	163°42'	7.0	7	163°42'
30	0.28	19.7	20	57°18'	18.6	19	60°19'
40	0.23	40.6	41	27°57'	38.2	38	30°09'
50	0.19	72.9	73	15°42'	67.9	68	16°51'
60	0.17	113.4	113	10°08'	105.0	105	10°55'
70	0.15	167.8	168	06°49'	154.3	154	07°26'
80	0.14	229.1	229	05°00'	210.0	210	05°27'
90	0.13	303.7	304	03°46'	277.3	277	04°08'
100	0.12	393.7	394	02°55'	357.9	358	03°12'
110	0.11	501.5	501	02°17'	453.7	454	02°31'
120	0.09	667.0	667	01°43'	596.8	597	01°55'

Fuente: Manual SIECA 2011; página 138 del PDF.

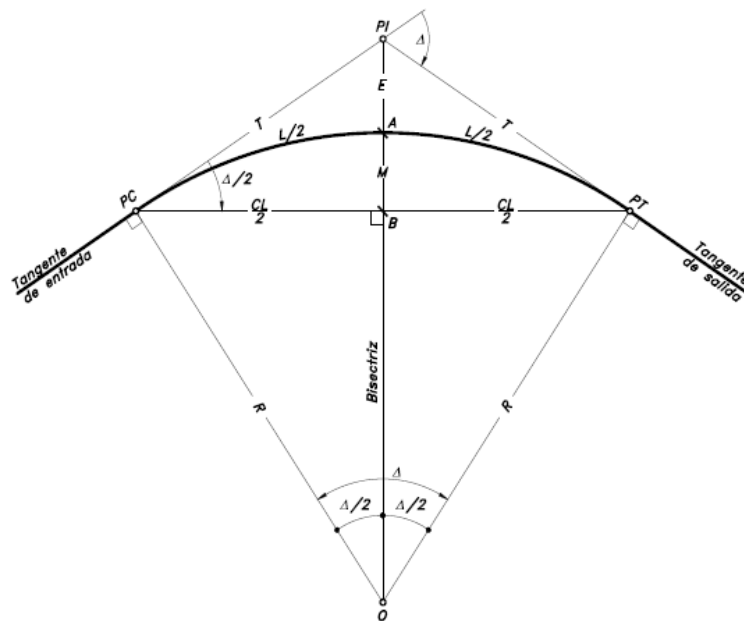
### 5.9.3. Curvas circulares simples

Son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes (alineaciones rectas) consecutivas, están contenidas en el plano horizontal y su función es cambiar de una dirección a otra, de forma gradual, los tramos rectos.

El radio escogido por el diseñador depende de las condiciones topográficas del sitio, la velocidad de diseño escogida y por las tangentes disponibles ya que entre más grande sea el radio, más distancia de tangente se necesita.

Los elementos principales que componen las curvas circulares simples son:

**Grafico 3. Elementos geométricos de una curva circular simple**



Fuente: Diseño geométrico de carreteras, 2da edición, James Cárdenas Grisales. Pág. 75

1. Punto de intersección de las tangentes (PI): Intersección del Pc y PT.
2. Punto donde comienza la curva (PC): Punto de tangencia inicial entre la recta y la curva.
3. Punto donde termina la curva (PT): Punto de tangencia final entre la recta y la curva.
4. Centro de la curva (O)

5. Tangente (T): Es la distancia entre el PI y el PC o PT, estas distancias son iguales. Se calcula con la expresión:

**Ecuación 21.** 
$$T = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

6. Radio de la curva (R): es el radio de la circunferencia

**Ecuación 22.** 
$$R = \frac{T}{\tan\frac{\Delta}{2}}$$

7. Angulo de deflexión de las tangentes ( $\Delta$ ): es aquel que se mide entre un alineamiento y la prolongación del alineamiento anterior, es decir, el ángulo central de la curva necesaria para entrelazar las tangentes de ambos alineamientos.
8. Grado de curvatura (G): es el ángulo sustentado en el centro de un círculo por un arco de 20m en la curva, expresado en grados. Se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 23.** 
$$G = \frac{1145.92}{R}$$

9. Punto medio de la curva (M): es la mediana a la curva desde el centro de la cuerda máxima.

**Ecuación 24.** 
$$M = R * \left(1 - \cos\frac{\Delta}{2}\right)$$

10. Externa (E): es la distancia entre PI y el punto medio de la curva.

**Ecuación 25.** 
$$E = \left(\frac{R}{\cos\frac{\Delta}{2}} - R\right)$$

11. Longitud de la curva (L): es la longitud del arco entre el PC y el PT. Se puede calcular en función del radio y el grado de curvatura a como se muestra a continuación:

**Ecuación 26.** 
$$L = \frac{\pi * R * \Delta}{180^\circ}$$

**Ecuación 27.** 
$$L = \frac{20 * \Delta}{G}$$



12. Cuerda larga (CL): es la cuerda máxima, es decir, el segmento recto une al PC con el PT:

**Ecuación 28.**  $CL = 2 * R * \text{sen } \frac{\Delta}{2}$

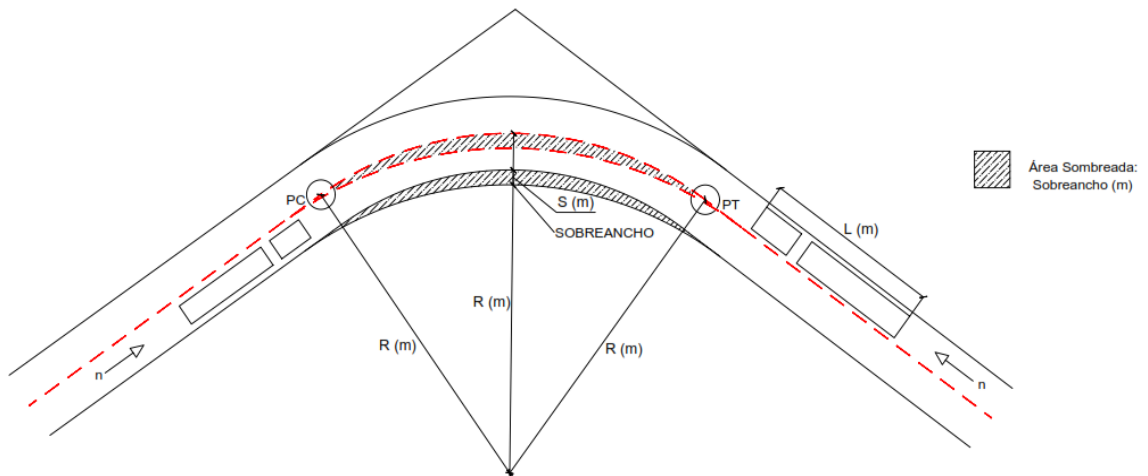
#### **5.10. Sobre ancho**

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.

Para establecer el sobre ancho en curvas deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones:

- d) En alineamientos horizontales con curvas circulares sin curva de transición, el sobre ancho total debe aplicarse en la parte interior de la calzada. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos.
- e) Cuando existen curvas de transición entre la tangente y la curva circular, el sobreancho se distribuye a lo largo de la curva de transición, dividiéndose la mitad del sobreancho entre los bordes interno y externo de la curva.
- f) Los bordes del pavimento siempre deben tener en desarrollo suave y curvado atractivamente, para inducir su uso por el conductor.
- g) Los sobreanchos deben ser detallados minuciosamente en los planos constructivos y por medio de controles durante el proceso de construcción de la carretera o, alternativa, dejar los detalles finales al ingeniero residente de campo.

**Figura N°7. Componentes del sobreancho en curvas de carreteras**



Fuente: Elaboración Propia, AutoCAD 2018.

La fórmula general para calcular el ancho necesario en curva,  $S$  es:

**Ecuación 29.** 
$$S = n[R - (\sqrt{R^2 - L^2})] + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Donde:

$S$ : Valor de sobreancho en metros

$n$ : número de carriles de la superficie de rodamiento

$L$ : longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros.

$R$ : radio de curvatura, metros

$V$ : velocidad de diseño de la carretera, Kilómetros por hora

**Tabla N°41. Clasificación de la carretera y características de diseño**

N°	Descripción / Parámetro	Forma	Unidad	Valores
1	Clasificación Funcional	Colectora Secundaria		
2	Ancho del Derecho de vía	ADV	m.	20
3	Velocidad de Diseño	VD	KPH	60
4	Velocidad de Ruedo	VR	KPH	56
5	Vehículo del Proyecto	Veh.	Tipo	T3 – S2
6	Radio Mínimo de la Curva	R	Rmin.	113
7	Grado de Curvatura Máximo	Gc	G.min.seg.	10°08'00''
8	Número de Carriles de Rodamiento	Nc	Unid.	2
9	Ancho de Carril de Rodamiento	Ac	m.	3.30
10	Ancho Total de Rodamiento	AR	m.	6.60
11	Pendiente Transversal (Bombeo)	B	%	3
12	Peralte Máximo	emáx.	%	8
13	Sobreancho	Smáx	m.	3.291
14	Coeficiente de Fricción Lateral	f1	S/U	0.17
15	Coeficiente de Fricción Longitudinal	f2	S/U	0.33
16	Distancia de Visibilidad de Parada	DVP	m.	85
17	Distancia de Visibilidad de Rebase	DVR	m.	410
18	Superficie - Carpeta de Rodamiento	Srod.	Tipo	Asfalto

Fuente: Elaboración propia, recopilación de información.

### **Radio mínimo del proyecto**

Velocidad de diseño 60 KPH

Peralte máximo e = 8%

Factor de fricción máxima f = 0.17

$$R_{\min} = \frac{60KPH^2}{127.14 * (0.08 + 0.17)} = 113.261 \text{ m}$$

### **Grado máximo de curvatura del proyecto.**

$$G_{\max} = \frac{1145.92}{113.261} = 10.118 \text{ (d) o } (10^{\circ}08')$$

### Sobre ancho de diseño de la vía

$$S = 2 \left[ 113 - \left( \sqrt{113^2 - 17.50^2} \right) \right] + \frac{60}{10\sqrt{113}} = 3.291 \text{ m.}$$

### Datos para el cálculo de la curva circular N° 1.

Curva N° 1		
Angulo de Deflexión $\Delta$	35.954	(d)
Coefficiente de Fricción máxima	0.17	-
Peralte máximo	8.00	%
Grado de Curvatura $G^\circ$	8.1851	(d)
Velocidad de Diseño	60	KPH
EST. PI	0+374.057	m

Fuente: Elaboración propia

### **Cálculo del radio de diseño de la curva**

$$R = \frac{1145.92}{G_c} = \frac{1145.92}{8.1851} = 140 \text{ m}$$

### **Cálculo de la sub-tangente**

$$ST = R * \tan \frac{\Delta}{2} = 140 * \tan \frac{35.9543}{2} = 45.427 \text{ m}$$

### **Cálculo de la longitud de la curva de diseño**

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 140 * 35.954}{180} = 87.853 \text{ m}$$

**Cálculo de los estacionamientos Tangencia donde comienza la curva PC y Tangencia donde termina la curva PT.**

**Ecuación 30.**  $Est. PC = Est. PI - ST$

$$Est. PC = 0 + 374.057 - 45.427 = 0 + 328.63$$

**Ecuación 31.**  $Est. PT = Est. PC + Lc$

$$Est. PT = 0 + 328.63 + 87.853 = 0 + 416.483 \text{ m}$$

**Cálculo de la cuerda máxima**

$$Cl = 2(R * \sin\left(\frac{\Delta}{2}\right)) = 2 * \left(140 * \sin\frac{35.9543}{2}\right) = 86.419 \text{ m}$$

**Cálculo de la Externa**

$$E = \left(\frac{R}{\cos\frac{\Delta}{2}} - R\right) = \left(\frac{140}{\cos\left(\frac{35.9543}{2}\right)} - 140\right) = 7.168 \text{ m}$$

**Cálculo de la Ordenada Media**

$$M = R * \left(1 - \cos\frac{\Delta}{2}\right) = 140 * \left(1 - \cos\frac{35.9543}{2}\right) = 6.83 \text{ m}$$

Solo se presenta el cálculo de la external y la ordenada media, ya que como es una curva circular simétrica, los resultados de las ordenadas son los mismos.

**Cálculo del Sobreancho**

$$S = n[R - (\sqrt{R^2 - L^2})] + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

$$S = 2 \left[ 140 - \left( \sqrt{140^2 - 17.50^2} \right) \right] + \frac{60}{10\sqrt{140}} = 2.703 \text{ m.}$$

### Cálculo de peralte

**Ecuación 32.** 
$$e = \frac{em_{\acute{a}x}}{Gm_{\acute{a}x}^2} * (2 * Gm_{\acute{a}x} - Gc) * Gc$$

$$e = \frac{8}{(10.118)^2} * (2 * (10.118) - 8.1851) * 8.1851 = 7.708$$

### Cálculo del LT

**Ecuación 33.** 
$$LT = m * a * e$$

**Ecuación 34.** 
$$m = 1.5625 * V + 75$$

**Ecuación 35.** 
$$a = \frac{\text{Ancho de la calzada}}{2}$$

$$LT = (1.5625 * 60 + 75) * \left(\frac{6.60}{2}\right) * (7.708\%) = 42.924 \text{ m.}$$

### Cálculo de N

**Ecuación 36.** 
$$N = \frac{LT * b}{e}$$

Donde:

LT: Longitud de Transición

b: Bombeo

e: Peralte

$$N = \frac{42.924 * 3\%}{7.708\%} = 16.70 \text{ m.}$$

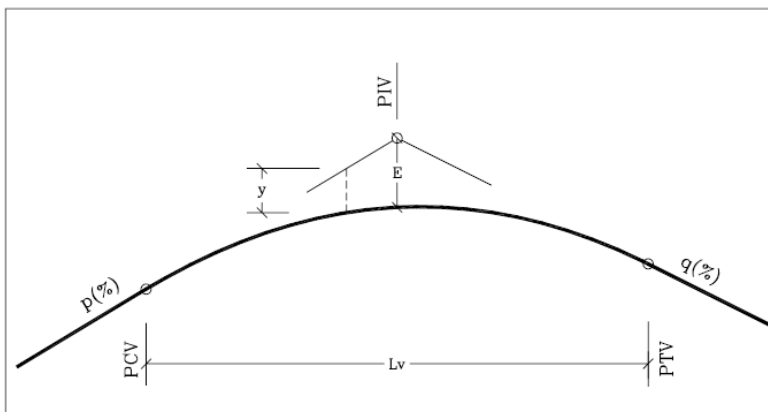
En anexos, se muestran los cálculos de las demás curvas horizontales, **ver pág. XXXVII – XL.**

### 5.11. Alineamiento Vertical

El alineamiento vertical de una vía es la proyección del eje de esta sobre una superficie vertical paralela al mismo, que depende de la topografía del lugar donde se encuentre la calle o carretera, de tal forma que se muestre la longitud del terreno natural a lo largo del eje, utilizado para diseñar la rasante propuesta en el diseño de la vía.

La curva vertical tiene por objeto suavizar los cambios de las pendientes en el alineamiento vertical, en cuya longitud se efectúa, el paso gradual de la pendiente de entrada a la pendiente de salida, debiendo dar por resultado un camino de operación segura y confortable, agradable apariencia y características de drenaje adecuadas.

**Figura N°8. Elementos de una curva vertical**



Fuente: Diseño Geométrico de Vías, Ing. John Jairo Ospina.

Donde:

PVC: 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

$L_v$ : Longitud de curva vertical

p (%): Pendiente inicial, expresada en %.

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

y: Corrección vertical

A: Diferencia algebraica de pendiente =  $q-p$

El alineamiento vertical de una vía está compuesto por dos elementos principales: rasante y perfil.

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 (-), expresada 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.

### **5.12. Rasante**

La rasante es la posición final de la estructura de pavimento diseñada con pendientes adecuadas, que se incluye en el perfil longitudinal con el propósito de suavizar o corregir excesos de pendiente que se encuentran en el terreno natural antes de ser conformado.

Dicha rasante está compuesta por tangentes y curvas en el plano vertical, las cuales son representadas generalmente en porcentajes, e identificas con pendientes ascendentes con signos positivos y descendentes con signos negativos.



### 5.13. Tipos de curvas verticales

#### 5.13.1. Curva en cresta

Las curvas en cresta también conocidas como divisorias son aquellas que al intersectar sus tangentes forman una especie de colina, para su diseño es recomendable considerar distancia de visibilidad si las condiciones del terreno y la zona lo permiten, en caso contrario, se debe diseñar con distancia visual de parada.

Para el control de diseño de la distancia visual de parada o adelantamiento, se puede realizar mediante los parámetros de K, siendo esta la relación existente de la distancia horizontal que permite realizar un cambio de pendiente equivalente a 1%.

**Ecuación 37.** 
$$K = \frac{L}{A}$$

Donde:

Donde:

K: parámetro de curvatura.

L: longitud de la curva vertical.

A: valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes

#### 5.13.2. Curvas en columpio

Las curvas en columpio o vaguada, son aquellas donde las tangentes forman una inclinación hacia abajo, para este tipo de curvas solo se considera la distancia visual de parada, por lo que se debe tomar en cuenta la distancia adecuada para iluminar los faros del vehículo del diseño. De igual manera que las curvas en cresta se considera valores de K para el diseño de distancia visual de parada.

Estos valores de K pueden ser calculados con la ecuación anterior o bien, puede ser seleccionada según la velocidad directriz escogida para el tramo en estudio de manera directa en las tablas asignadas por la SIECA 2011.

**Tabla N°42. Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.**

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52.0	52
110	220	73.6	74
120	250	95.0	95

K = Longitud (m) por porcentaje de A

Fuente: Manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales (SIECA 2011), pág. 125.

**Tabla N°43. Control de diseño para curva vertical en columpio para distancia de visibilidad de parada.**

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Parada (m)	Tasa de Curvatura Vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63

K = Longitud (m) por porcentaje de A

Fuente: Manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales (SIECA 2011), pág. 127.

**Tabla N°44. Coeficiente de fricción longitudinal según velocidad de diseño.**

Velocidad de diseño Km/h	Rango de velocidad de marcha Km/h	Coeficiente de fricción	Valores DVP (m)	
			Menores	Mayores
30	30-30	0.40	30	30
40	40-40	0.38	45	45
50	47-50	0.35	60	65
60	55-60	0.33	75	85
70	63-70	0.31	95	110
80	70-80	0.30	115	140
90	77-90	0.30	130	170
100	85-100	0.29	160	205
110	91-110	0.28	180	245

\* Cifras redondeadas

Fuente: Manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales (SIECA 2004), pág. 165 PDF.

Cada uno de los parámetros seleccionados, se rige por dos razones fundamentales, la primera por que la vía en estudio se compone de dos carriles y de bajo volumen de tránsito y segundo por la selección de la velocidad de diseño.

#### **5.14. Cálculo de curvas verticales del tramo en estudio.**

##### **5.14.1. Datos de la curva vertical N°1**

Curva N°1 Columpio		
Pendiente de entrada	-5.63	%
Pendiente de Salida	-0.50	%
Coeficiente de fricción longitudinal	0.33	
Velocidad de diseño	60	KPH
Estacionamiento EST. PIV	0+180.09	m
Elevación ELEV. PIV	0+268.745	m

Fuente: Elaboración Propia

**Diferencia algebraica de las pendientes.**

**Ecuación 38.**  $G = (P1 - P2)$

$$G = (-5.63) - (-0.50) = -5.13$$

Dado que la diferencia algebraica es negativa entonces la curva está en columpio.

Para el cálculo de la longitud de la curva, necesitamos el valor de K, y dado que en la tabla del control de diseño para curva vertical en columpio para distancia de visibilidad de parada, K es igual a 18.

**Ecuación 39.**  $L = K * G$

$$L = (18) * (-5.13) = 92.34 \text{ m}$$

Distancia que podrá ser redondeada a los 100 m. del cálculo referencial.

Otra manera de realizar el cálculo de la longitud de la curva es de la siguiente manera.

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

Introduciendo la velocidad y el tiempo de percepción y reacción del conductor, mediante la siguiente expresión matemática.

**Ecuación 40.**  $D1 = 0.278 * V * t$

Donde:

V: velocidad inicial, KPH.

t: tiempo de percepción y reacción, que es de 2.5 seg.

a: tasa de desaceleración,  $m/s^2$

$$D1 = (0.278) * (60KPH) * (2.5 \text{ s.}) = 41.7 \text{ m}$$

#### **Distancia de frenado**

**Ecuación 41.**  $D2 = \frac{V^2}{254*(f \pm G)}$

Donde:

V: velocidad inicial, KPH

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

G: diferencia algebraica de las pendientes

$$D2 = \frac{60^2}{254 * (0.33 \pm 5.13)} = 50.85$$

**Ecuación 42.**  $DVP = D1 + D2$

$$DVP = 41.7 + 50.85 = 92.55 \text{ m}$$

**Longitud mínima de la curva**

**Ecuación 43.**  $L = \frac{G * DVP^2}{404.25}$

$$L = \left| \frac{(-5.13) * (92.55)^2}{404.25} \right| = 108.69 \text{ m}$$

$L = 108.89 > DVP = 92.55$ , se propone una longitud de 150 m.

**Cálculo de los estacionamientos**

La curva que se diseñará es simétrica, por tanto:

**Ecuación 44.**  $EST.PCV = EST.PIV - \frac{L}{2}$

$$EST.PCV = 0 + 180.09 - \frac{150}{2} = 0 + 105.09$$

**Ecuación 45.**  $EST.PTV = EST.PIV + \frac{L}{2}$

$$EST.PTV = 0 + 180.09 + \frac{150}{2} = 0 + 255.09$$

**Calculo de las elevaciones**

**Ecuación 46.**  $Elv.PCV = Elv.PIV - P1 * \frac{L}{2}$

$$Elv.PCV = 268.745 - \left( -5.63\% * \frac{150}{2} \right) = 272.96 \text{ m}$$

**Ecuación 47.**  $Elv. PTV = Elv. PIV + P2 * \frac{L}{2}$

$$Elv. PTV = 268.745 + \left( -0.5\% * \frac{150}{2} \right) = 268.37 \text{ m}$$

Como la tangente de entrada, es igual a la tangente de salida, tienen la misma distancia de 75 m. la curva es simétrica por lo tanto las ordenadas son iguales, se demostrara el cálculo de la Externa.

**Ecuación 48.**  $E = \frac{P2-P1}{200L} * \left( \frac{L}{2} \right)^2$

$$E = \frac{-0.50 - (-5.13)}{200 * 150} * \left( \frac{150}{2} \right)^2 = 0.868 \text{ m}$$

En anexos, se muestran los cálculos de las demás curvas verticales, **ver pág. XLI – XLV.**

# CAPÍTULO VI

## DISEÑO DE PAVIMENTO



## **Capítulo VI. Diseño de Pavimento**

### **6.1. Introducción**

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. (Fonseca, Ingeniería de Pavimentos, 2018)

Este capítulo está destinado para el diseño de pavimento flexible mediante el método desarrollado por la American Association of State Highway (AASHTO, 1993), el cual permite establecer los parámetros necesarios para el cálculo de los espesores de cada una de las capas que conforman la superficie de rodamiento.

Se utiliza del método antes mencionado ya que en Nicaragua no existe aún un método específico para diseñar estructuras de pavimento. Es importante mencionar que para determinar cada espesor de capa se debe tomar en consideración datos reales de la zona, como el estudio de tránsito y las propiedades físico-mecánicas del suelo.

### **6.2. Componentes estructurales de un pavimento flexible**

#### **6.2.1. Sub-rasante**

Puede ser la capa de Terreno natural que sirve de cimiento de la estructura del pavimento, también puede tratarse de una capa adicional que de mayor estabilidad al terreno natural a la cual denominamos Sub-rasante mejorada. (Fonseca, Ingeniería de Pavimentos, 2018)

#### **6.2.2. Sub-base**

Esta capa puede estar construida con materiales clasificados en base a su granulometría, características plásticas y resistencia, mejorándolas en caso de ser necesario mediante estabilizaciones mecánicas (compactación). (Fonseca, Ingeniería de Pavimentos, 2018)



### **6.2.3. Base**

Material clasificado como roca triturada, escoria triturada o no. Pueden ser mejorados mediante estabilizaciones mecánicas (compactación) y químicas. (Fonseca, Ingeniería de Pavimentos, 2018)

### **6.2.4. Capa superficial o capa de rodadura**

Es la capa superior del pavimento, consistente en una mezcla de agregados minerales y materiales asfálticos, siendo capaz de transmitir y resistir altas presiones de neumáticos y el desgaste debido al tráfico. A su vez junto con la imprimación tiene como objetivo proteger a la capa base y a las demás capas que conforman la estructura del pavimento.

## **6.3. Variables de diseño que intervienen en el modelo AASHTO - 93**

La metodología AASHTO-93 para diseño de pavimentos asfálticos emplea un modelo o ecuación a través de la cual se obtiene el parámetro denominado número estructural (SN) el cual es fundamental para la determinación de los espesores de las capas que conforman el pavimento las cuales son la capa asfáltica, la capa de base y la capa de subbase. Como se dijo anteriormente, esta ecuación está en función de unas variables de diseño tales como el tránsito, la desviación estándar, la confiabilidad y el índice de Serviciabilidad entre otros.

### **6.3.1. Numero estructural SN**

El SN se denomina número estructural y es el número que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, en términos del valor soporte del suelo, los coeficientes adecuados convierten el valor SN en espesor real de la carpeta, de la base y de la sub base el SN asumido para este diseño será de 5.

### **6.3.2. Índice de Serviciabilidad**

El índice de Serviciabilidad se define como la habilidad del pavimento de servir al tipo de tráfico (autos, camiones etc.) que circulan en la vía para el cual ha sido diseñado, dentro de este existen dos, la Serviciabilidad inicial (Po) que se escoge según la función del diseño de pavimento y su calidad de construcción y la

Serviciabilidad final (Pt), la cual se clasifica según la función del camino adaptada a los criterios de diseño del proyectista. (AASHTO, 1993, pág. 172).

#### 6.3.2.1. Serviciosabilidad Inicial (Po)

Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo, para su elección es necesario considerar los métodos de construcción, ya que de esto depende la calidad del pavimento.

**Tabla N°45. Índices de Serviciosabilidad inicial**

Serviciabilidad Inicial (Po)	
<b>Pavimento Rígido</b>	4.5
<b>Pavimento Flexible</b>	4.2

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993, pág. 172.

En este caso como se está diseñando una estructura de pavimento flexible se tomará el valor de Serviciosabilidad inicial  $P_o = 4.2$ .

#### 6.3.2.2. Serviciosabilidad Final (Pt)

Esta Serviciosabilidad tiene que ver con la clasificación que esperamos que tenga el pavimento al final de su vida útil.

**Tabla N°46. Índices de Serviciosabilidad final**

Serviciabilidad Final (Pt)	
<b>Caminos muy Importantes</b>	2.5
<b>Caminos de menor tránsito</b>	2

Fuente: AASTHO, Guide for Design of Pavement Structures 1993, pág. 172

#### 6.3.3. Perdida de Serviciosabilidad

La Perdida de Serviciosabilidad es la diferencia que existe entre la inicial y la final (Diseño de Pavimento de la AASHTO – 93. Edición 2006, Pág. 172). Se calcula con la siguiente ecuación:

**Ecuación 49.**  $\Delta PSI = P_o - P_t$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

#### 6.4. Análisis de carga y Ejes equivalentes para el diseño de pavimento

##### 6.4.1. Confiabilidad (R)

Una de las variables de mayor incidencia en los espesores de diseño se corresponde con el criterio de confiabilidad. La Guía de Diseño AASHTO 93 define la Confiabilidad de un proceso diseño-desempeño de un pavimento como, la probabilidad que la estructura de pavimento diseñada, se desempeñará satisfactoriamente para las cargas de tráfico y condiciones ambientales para el periodo que fue diseñada. (AASHTO, 1993)

**Tabla N°47. Niveles de confiabilidad Recomendados por la AASHTO para distintas Clasificaciones Funcionales.**

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

Fuente: AASTHO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

Los valores de confiabilidad estarían en un rango de 75%-95% según la guía de la AASHTO dado que es una zona Rural y Tipo de Camino Colectora. Para este caso se utilizará el promedio entre estos dos valores teniendo un dato de confiabilidad de 85%.

$$R = 85\%$$

#### 6.4.2. Desviación estándar ( $S_0$ )

La desviación estándar es el factor que considera la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros involucrados en el diseño y el comportamiento del pavimento, toma en cuenta los errores como los datos de construcción, incluyendo la variabilidad en las propiedades de los materiales del suelo, estimaciones de tráfico, condiciones climáticas y calidad de su edificación. (AASHTO, 1993)

**Tabla N°48. Desviación estándar para Pavimentos Rígidos y Flexibles.**

Condición de diseño	Desviación estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0.35 (pav. Rígidos)
	0.45 (Pav. Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0.4 (pav. Rígidos)
	0.5 (Pav. Flexibles)

Fuente: Libro de diseño de pavimentos, AASHTO-93, Tercera edición. Pág. 135.

Considerando todos los parámetros asociados a la desviación estándar en este diseño utilizaremos un valor de  **$S_0 = 0.45$**  para **pavimentos Flexibles**.

#### 6.4.3. Coeficiente de Drenaje

En cualquier tipo de pavimento el drenaje de agua debe ser considerado como parte importante en el diseño, es de gran importancia evitar que exista presencia de agua en la estructura de soporte, dado que en caso de presentarse esta situación afectara en gran medida la respuesta estructural del pavimento.

A pesar de la importancia que se concede al drenaje en el diseño de carreteras, los métodos corrientes de dimensionamiento de pavimentos incluyen con frecuencia capas de base de baja permeabilidad y consecuentemente de difícil drenaje. Por lo antes mencionado es bueno tener un buen sistema de drenaje en las carreteras así se aumenta la capacidad portante de la sub-rasante.

La AASHTO-93 recomienda coeficientes de drenaje, estos factores serán utilizados para los cálculos de las estimaciones de los espesores de la estructura de pavimento a continuación se muestran los diferentes valores de coeficientes de drenaje:

**Tabla N°49. Coeficientes de drenajes para pavimentos flexibles.**

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1	1-5 %	5-25%	>25%
<b>Excelente</b>	1.4-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.2
<b>Bueno</b>	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	<b>1</b>
<b>Regular</b>	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.8
<b>Pobre</b>	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.6
<b>Muy pobre</b>	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.4

Fuente: Libro de diseño de pavimentos AASTHO-93. Tercera edición. Pág. 148.

Según la tabla se pudo identificar la calidad de drenaje que posee este tramo de carretera tomando un valor  $m = 1$  concluyendo que se posee con un drenaje bueno. De acuerdo a los valores de las pendientes naturales del terreno las cuales se mostraron en el capítulo de levantamiento topográfico.

### **6.5. Análisis de Cargas y Ejes Equivalentes para el Diseño de Pavimento**

Para el análisis de carga se utiliza la clasificación de los ejes de carga de cada vehículo, producto a que los pavimentos presenta diferentes respuestas a la deformación, las fallas presentes en ellos serán distintas según la intensidad de carga y las características presentes en el pavimento, esto se debe a los distintos espesores y materiales que actúan de manera diferente ante una determinada carga aplicada sobre el mismo.

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

uso del factor de equivalencia de carga (LEF), acumulados durante el periodo de diseño, se hará uso de las cargas por ejes por cada tipo de vehículo permitidas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura. (AASHTO, 1993, pág. 171)

Para el cálculo de ejes equivalentes (ESAL's) existe un factor correspondiente que se obtiene en las tablas de las AASHTO 93 de los ejes sencillos, dobles y trídem, para cada eje de los vehículos, la cual a su vez sugiere utilizar el valor de  $SN = 5$ , el cual transforma la carga por eje aun número de ejes equivalentes.

**Ecuación 50.**  $ESAL\ 0\ W18 = TD * (LEF)$

Donde:

W18 = número de ejes equivalentes

TD = tránsito de diseño

LEF = factor de carga

Para realizar el cálculo del ESAL's de diseño es necesario conocer con anticipación el peso de los vehículos que circularán por el camino durante el periodo de diseño y el factor de equivalencia de carga. Para obtener dicho factor se considera una **Serviciabilidad Final de 2.0**, que es el valor que se recomienda para camino de tránsito menor y un **Coefficiente Estructural de carga SN=5**.

Calculamos el factor equivalente de carga (LEF) para cada tipo de vehículo según su peso por eje. Para un auto el eje delantero y el eje trasero pesan lo mismo, según diagrama de carga de vehículos livianos. Peso por eje: 2200 lbs. Es decir 2.2 Kips.

**Tabla N°50. Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos y pesados.**

Tipo de vehículo	Peso por eje en (TON)	Peso Total en (TON)	Peso por eje en (LBS)	Peso por eje en (KIPS)
Autos	1/1.	2	2200	2.2
			2200	2.2
Jeep	1/1.	2	2200	2.2
			2200	2.2
Cam.	1/2.	3	2200	2.2
			4400	4.4
McBus <15 s.	2/4.	6	4400	4.4
			8800	8.8
MnBus 15-30 s.	4/8.	12	8800	8.8
			17600	17.6
Bus 30+ s.	4.5/9.	13.5	9900	9.9
			19800	19.8
Liv. 2-5 t.	4.5/9.	13.5	9900	9.9
			19800	19.8
C2 5+ t.	5/9.	14	11000	11
			19800	19.8
C3	5/16.	21	11000	11
			35200	35.2
Tx-Sx <=4 e. - T2S1	5/9/9.	23	11000	11
			19800	19.8
			19800	19.8
Tx-Sx <=4 e. - T2S2	5/9/16.	30	11000	11
			19800	19.8
			35200	35.2
Cx-Rx <=4 e. - T3S2	5/16/16.	37	11000	11
			35200	35.2
			35200	35.2
Cx-Rx <=4 e. - C2R2	9/18/10.5/10.5.	48	19800	19.8
			39600	39.6
			23100	23.1
			23100	23.1
Cx-Rx >=5 e. - T3S3	5/16/20.	41	11000	11
			35200	35.2
			44000	44
Cx-Rx >=5 e. - C3R3	10/16/10.5/20	56.5	22000	22
			35200	35.2
			23100	23.1
			44000	44

Fuente: Elaboración propia, tomado de MTI, Dirección General de Vialidad, departamento de pesos y dimensiones.

Para obtener los valores de equivalencia de carga (LEF), se realizan algunas interpolaciones a continuación se muestra un ejemplo de cálculo para un tipo de vehículo camioneta.

En la tabla mostrada anteriormente de cargas permisibles por tipo de vehículo, para el caso del vehículo tipo Jeep, se puede observar que presenta los mismos valores tanto para el eje delantero como para el eje trasero del vehículo. 1er eje= 2.2 kips, 2do eje = 2.2 kips.

A continuación, se muestra el cálculo de LEF para un vehículo tipo Jeep:

Tomamos nuestro valor asumido de **SN = 5 y un Pt = 2.**

Datos:

$$2 \text{ kips} = 0.0002$$

$$2.2 = x$$

$$4 \text{ kips} = 0.0020$$

$$\begin{aligned} \frac{2.2 - 2}{x - 0.0002} &= \frac{4 - 2.2}{0.0020 - x} = (x - 0.0002)(1.8) = (0.0020 - x)(0.2) \\ &= 1.8x - 0.00036 = 0.0004 - 0.2x = 1.8x + 0.2x = 0.0004 + 0.00036 = 2x \\ &= 0.00076 = x = 0.00038 \end{aligned}$$

**Tabla N°51. Cálculo de LEF para un vehículo tipo Jeep**

Cargas por ejes en (kips)	LEF
2	0.0002
2.2	x
4	0.0020
El valor obtenido de la interpolación es de 0.00038 para 2.2 kips	

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del ESAL's se hace mediante la siguiente ecuación.

**Ecuación 51.**  $ESAL \text{ o } W18 = TD * LEF$

$$ESAL_{camioneta} = 89,995.140 * 0.00038$$

$$ESAL_{camioneta} = 34.19815320$$



En las siguientes tablas se muestran todas las interpolaciones para diferentes ejes ya sea simple, tandem y tridem para los vehículos presentes en este diseño de pavimento y su respectivo cálculo de ESAL recurriendo a los datos del tránsito de diseño calculo en la capítulo de tránsito, siempre considerando los valores de SN=5 y Pt =2.

**Tabla N°52. Resultados de interpolaciones ejes simples, tandem y tridem**

Tipo de vehículo	Tipo de eje	Peso por eje	LEF
<b>Autos</b>	Simple	2.2	0.000380
	Simple	2.2	0.000380
<b>Jeep</b>	Simple	2.2	0.000380
	Simple	4.4	0.003400
<b>Cam.</b>	Simple	2.2	0.000380
	Simple	4.4	0.003400
<b>McBus &lt;15 s.</b>	Simple	4.4	0.003400
	Simple	8.8	0.050200
<b>MnBus 15-30 s.</b>	Simple	8.8	0.050200
	Simple	17.6	0.920600
<b>Bus 30+ s.</b>	Simple	9.9	0.076600
	Simple	19.8	1.513000
<b>Liv. 2-5 t.</b>	Simple	9.9	0.076600
	Simple	19.8	1.513000
<b>C2 5+ t.</b>	Simple	11	0.126500
	Simple	19.8	1.513000
<b>C3</b>	Simple	11	0.126500
	Simple	35.2	17.360000
<b>Tx-Sx &lt;=4 e. - T2S1</b>	Simple	11	0.126500
	Simple	19.8	1.513000
	Simple	19.8	1.513000
<b>Tx-Sx &lt;=4 e. - T2S2</b>	Simple	11	0.126500
	Simple	19.8	1.513000
	Tándem	35.2	1.260000

Fuente: Elaboración propia

**En anexos pág. XLVI – XLVIII,** se muestran las tablas de factores equivalentes de carga, las cuales se utilizaron para el cálculo de las interpolaciones, para cada uno de los ejes equivalentes.

**Tabla N°53. Resultados de interpolaciones ejes simples, tándem y tridem**

Tipo de vehículo	Tipo de eje	TD	LEF
<b>Cx-Rx&lt;=4 e. - T3S2</b>	Simple	14999.190	0.126500
	Tándem		1.260000
	Tándem		1.260000
<b>Cx-Rx&lt;=4 e. - C2R2</b>	Simple	14999.190	1.513000
	Simple		28.800000
	Simple		2.927500
	Simple		2.927500
<b>Cx-Rx &gt;=5 e. - T3S3</b>	Simple	9999.460	0.126500
	Tándem		1.260000
	Tridem		0.686000
<b>Cx-Rx &gt;=5 e. - C3R3</b>	Simple	9999.460	2.350000
	Tándem		1.260000
	Simple		2.927500
	Tándem		3.240000

Fuente: Elaboración propia

Una vez calculado todos los valores de LEF con las interpolaciones, se procede a determinar cada valor de ESAL por tipo de vehículo usando la ecuación mostrada anteriormente, estos valores son representados en la tabla siguiente:

**Tabla N°54. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips, estimando un periodo de diseño de 20 años,  $P_t=2.0$ , y  $SN=5$**

Tipo de vehículo	Tipo de eje	Peso por eje	TD	LEF	ESAL diseño
<b>Autos</b>	Simple	2.2	89995.140	0.000380	34.19815320
	Simple	2.2		0.000380	34.19815320
<b>Jeep</b>	Simple	2.2	69996.220	0.000380	26.59856360
	Simple	4.4		0.003400	237.98714800
<b>Cam.</b>	Simple	2.2	544970.570	0.000380	207.08881660
	Simple	4.4		0.003400	1852.89993800
<b>McBus &lt;15 s.</b>	Simple	4.4	19998.920	0.003400	67.99632800
	Simple	8.8		0.050200	1003.94578400
<b>MnBus 15-30 s.</b>	Simple	8.8	4999.730	0.050200	250.98644600
	Simple	17.6		0.920600	4602.75143800

Fuente: Elaboración propia

### Calculo del ESAL de diseño para Bus 30+ s.

**Ecuación 52.**  $ESAL_{Bus\ 30+s.} = TD * LEF$

$ESAL_{Bus\ 30+s.} = 79,995.680 * 0.07660 = 6,127.66908800$

**Tabla N°55. Cálculo de ejes equivalentes de 18 kips, estimando un periodo de diseño de 20 años, Pt=2.0, y SN=5**

Tipo de vehículo	Tipo de eje	Peso por eje	TD	LEF	ESAL diseño
Bus 30+ s.	Simple	9.9	79995.680	0.076600	6127.66908800
	Simple	19.8		1.513000	121033.46384000
Liv. 2-5 t.	Simple	9.9	89995.140	0.076600	6893.62772400
	Simple	19.8		1.513000	136162.64682000
C2 5+ t.	Simple	11	219988.120	0.126500	27828.49718000
	Simple	19.8		1.513000	332842.02556000
C3	Simple	11	49997.300	0.126500	6324.65845000
	Simple	35.2		17.360000	867953.12800000
Tx-Sx <=4 e. - T2S1	Simple	11	9999.460	0.126500	1264.93169000
	Simple	19.8		1.513000	15129.18298000
	Simple	19.8		1.513000	15129.18298000
Tx-Sx <=4 e. - T2S2	Simple	11	9999.460	0.126500	1264.93169000
	Simple	19.8		1.513000	15129.18298000
	Tándem	35.2		1.260000	12599.31960000
Cx-Rx<=4 e. - T3S2	Simple	11	14999.190	0.126500	1897.39753500
	Tándem	35.2		1.260000	18898.97940000
	Tándem	35.2		1.260000	18898.97940000
Cx-Rx<=4 e. - C2R2	Simple	19.8	14999.190	1.513000	22693.77447000
	Simple	39.6		28.800000	431976.67200000
	Simple	23.1		2.927500	43910.12872500
	Simple	23.1		2.927500	43910.12872500
Cx-Rx >=5 e. - T3S3	Simple	11	9999.460	0.126500	1264.93169000
	Tándem	35.2		1.260000	12599.31960000
	Tridem	44		0.686000	6859.62956000
Cx-Rx >=5 e. - C3R3	Simple	22	9999.460	2.350000	23498.73100000
	Tándem	35.2		1.260000	12599.31960000
	Simple	23.1		2.927500	29273.41915000
	Tándem	44		3.240000	32398.25040000
	Σ ESAL POR Tipo de Vehículo de Diseño				2274680.76060560

Fuente Elaboración propia

Al estimar el valor de ESAL de diseño tomando en cuenta la tipología vehicular proyectada en el cálculo del tránsito de diseño, se obtuvo un **ESAL de 2274680.76060560** ejes equivalentes de 18 Kips para el carril de diseño.

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

Una vez que se obtuvieron los valores de CBR en los ensayos de laboratorio de las muestras tomadas a lo largo del camino se observa que estos resultados como es de esperarse no son constantes dado a las características granulométricas, podemos tener un mismo tipo de suelo pero con resistencias diferentes esto se debe a la cantidad de material fino que puede poseer este suelo y afecte su resistencia se llega a la conclusión que entre más porcentaje de finos contenga su resistencia será menor, es por eso que es necesario seleccionar un CBR de diseño para todo el tramo que tome en cuenta la capacidad soporte de los materiales existentes sobre todo el camino.

Los valores de CBR los podemos encontrar en la sección de estudios de suelos donde se colocaron todos los datos necesarios, **tabla N° 10, pág. 34 y 35.**

##### **6.6.1. Metodología del instituto del asfalto para determinación del CBR de diseño**

Disponiendo de los resultados obtenidos en el laboratorio de las diferentes clasificaciones encontradas, escogeremos las que sin dudas son más acertadas y completas, la metodología consiste en trasladar la sub-rasante a una profundidad de **0.30 mts.** Para la determinación del CBR tomaremos los tipos de suelos que se encuentran desde esa profundidad hacia abajo con ayuda del plano estratigráfico.

A continuación, presentamos una tabla resumen con los datos de CBR correspondiente a este rango de profundidad y posterior mente los siguientes pasos de esta metodología:

**Tabla N°56. Resumen de datos de CBR a una profundidad mayor de 0.30 mt.**

EST	Intervalo de profundidad (cm)	N° Sondeo	N° Muestra	IP	Clasificación AASHTO M 145	Densidad Seca Máx. kg/m <sup>3</sup>	CBR 95
km 0+030	10-150	1	2	35	A-7-5 (20)	1247	10
km 0+100	30-80	2	2	39	A-7-5 (20)	1251	10
km 0+200	0-45	3	1	16	A-2-6 (0)	1887	12
km 0+200	45-125	3	2	28	A-7-5 (19)	1353	5
km 0+300	0-40	4	1	8	A-2-4 (0)	1934	25
km 0+300	80-150	4	3	28	A-7-5 (19)	1353	5
km 0+400	25-105	5	2	16	A-7-5 (14)	1326	8
km 0+500	20-150	6	2	16	A-7-5 (12)	1326	8
km 0+600	0-40	7	1	0	A-1-a (0)	1996	27
km 0+600	40-150	7	2	29	A-7-5 (20)	1353	5
km 0+700	5-150	8	2	25	A-7-5 (18)	1280	2
km 0+840	30-110	9	2	16	A-7-5 (14)	1326	8
km 0+900	20-40	10	2	17	A-2-6 (0)	1887	12
km 0+900	40-80	10	3	23	A-7-5 (14)	1280	2
km 1+000	30-90	11	2	12	A-7-5 (9)	1346	3
km 1+100	20-150	12	2	26	A-7-5 (17)	1353	5
km 1+200	30-150	13	2	20	A-7-5 (16)	1326	8
km 1+300	30-50	14	2	17	A-2-7 (0)	1658	14
km 1+300	50-150	14	3	21	A-7-5 (16)	1280	2

Fuente: Elaboración propia

EST	Intervalo de profundidad (cm)	N° Sondeo	N° Muestra	IP	Clasificación AASHTO M 145	Densidad Seca Máx. kg/m <sup>3</sup>	CBR 95
km 1+400	0-50	15	1	12	A-2-6 (0)	1871	21
km 1+400	50-150	15	2	25	A-7-5 (18)	1280	2
km 1+500	30-150	16	2	16	A-7-5 (11)	1326	8
km 1+600	44,105	17	2	29	A-7-5 (20)	1353	5
km 1+700	10-150	18	2	35	A-7-5 (20)	1280	2
km 1+800	10-150	19	2	17	A-7-5 (13)	1326	8
km 1+900	0-50	20	1	21	A-7-5 (16)	1280	2
km 2+000	0-32	21	1	15	A-2-6 (0)	1887	12
km 2+000	32-150	21	2	33	A-7-5 (20)	1247	10
km 2+105	0-50	22	1	13	A-2-6 (0)	1897	13

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°57. Criterio del instituto del Asfalto para la selección CBR de Diseño**

Límites para la selección de Resistencia	
Número de ejes 8.2 Ton. En el carril de Diseño (n)	Percentil a seleccionarse para hallar la resistencia
$< 10^4$	60
$10^4 - 10^6$	75
$> 10^6$	87.5

Fuente: Ingeniería de pavimentos para carreteras. Ing. Alfonso Montejó Fonseca. Segunda Edición 2001. Pág. 68.

1. Una vez seleccionados los diferentes tipos de suelos se ordenan los valores de CBR de menor a mayor y se determina número y porcentaje de valores mayores o iguales a cada uno, como se muestra en esta siguiente tabla.

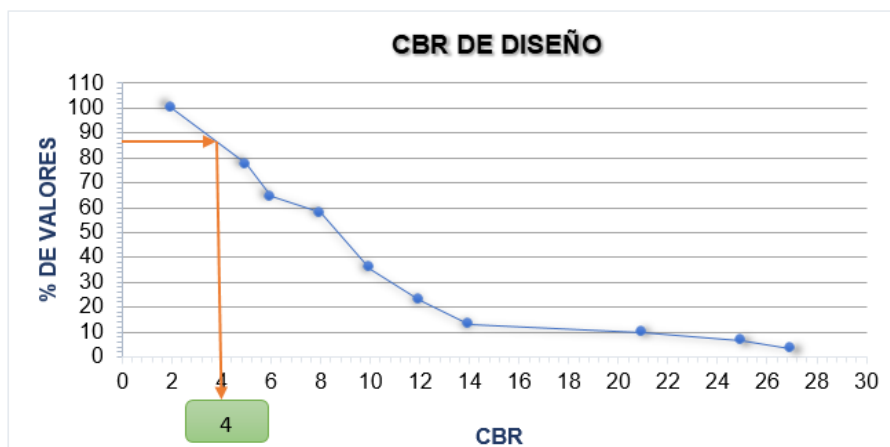
**Tabla N°58. CBR de diseño**

Tipo de suelo	CBR 95%	Frecuencia	Numero de Valores Iguales o Mayores que	% de Valores Iguales o mayores
A-7-5 (16)	2	7	31	100
A-7-5 (20)	5	4	24	77.4
A-7-5 (16)	6	2	20	64.5
A-7-5 (14)	8	7	18	58.1
A-7-5 (20)	10	4	11	35.5
A-2-6 (0)	12	3	7	22.6
A-2-7 (0)	14	1	4	12.9
A-2-6 (0)	21	1	3	9.7
A-2-4 (0)	25	1	2	6.5
A-1-a (0)	27	1	1	3.2
<b>Valor total de la frecuencia</b>		<b>31</b>		

Fuente: Elaboración propia

- En base a este diseño el percentil a seleccionar es el 87.5% de acuerdo al criterio de ingeniería de pavimentos para carreteras según Ejes equivalentes (ESAL's) calculados correspondiente a  **$2.274680761 \times 10^6$** .
- Se grafican los valores de CBR versus los porcentajes de valores iguales o mayores se obtiene la curva que se muestra en este siguiente gráfico.

**Grafico 4. CBR de diseño**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°59. Clasificación de los suelos para infraestructura de Pavimentos**

<b>CBR</b>	<b>Clasificación</b>
<b>0-5</b>	Sub Rasante Muy Mala
<b>5-10</b>	Sub Rasante Mala
<b>11-20</b>	Sub Rasante Regular a Buena
<b>21-30</b>	Sub Rasante Muy Buena
<b>31-50</b>	Sub Base Buena
<b>51-80</b>	Base Buena
<b>81-100</b>	Base Muy Buena

Fuente: Manual del Instituto del Asfalto

### **6.7. Módulo Resiliente (MR)**

Este ensayo fue desarrollado con el objetivo de caracterizar las propiedades de los suelos bajo cargas dinámicas de las ruedas de los vehículos. Este se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por ese motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos.

La guía de la AASHTO-93 establece la correlación para calcularlo a partir del dato de CBR, por lo tanto, se establecen las siguientes ecuaciones de que permiten calcular el MR de la sub-rasante.

- Para materiales de sub-rasante con CBR igual o menor al 10%.

**Ecuación 53.**       **$MR = 1,500 * CBR$**

- Para materiales de sub-rasante con valores de CBR mayores a 10%.



**Ecuación 54.**       $MR = 4,326 * Ln(CBR) + 241$

En la gráfica de CBR de diseño de la sub-rasante se determinó que el valor de este es de 5.2 por lo tanto el cálculo de MR será el siguiente:

$$MR = 1,500 * CBR$$

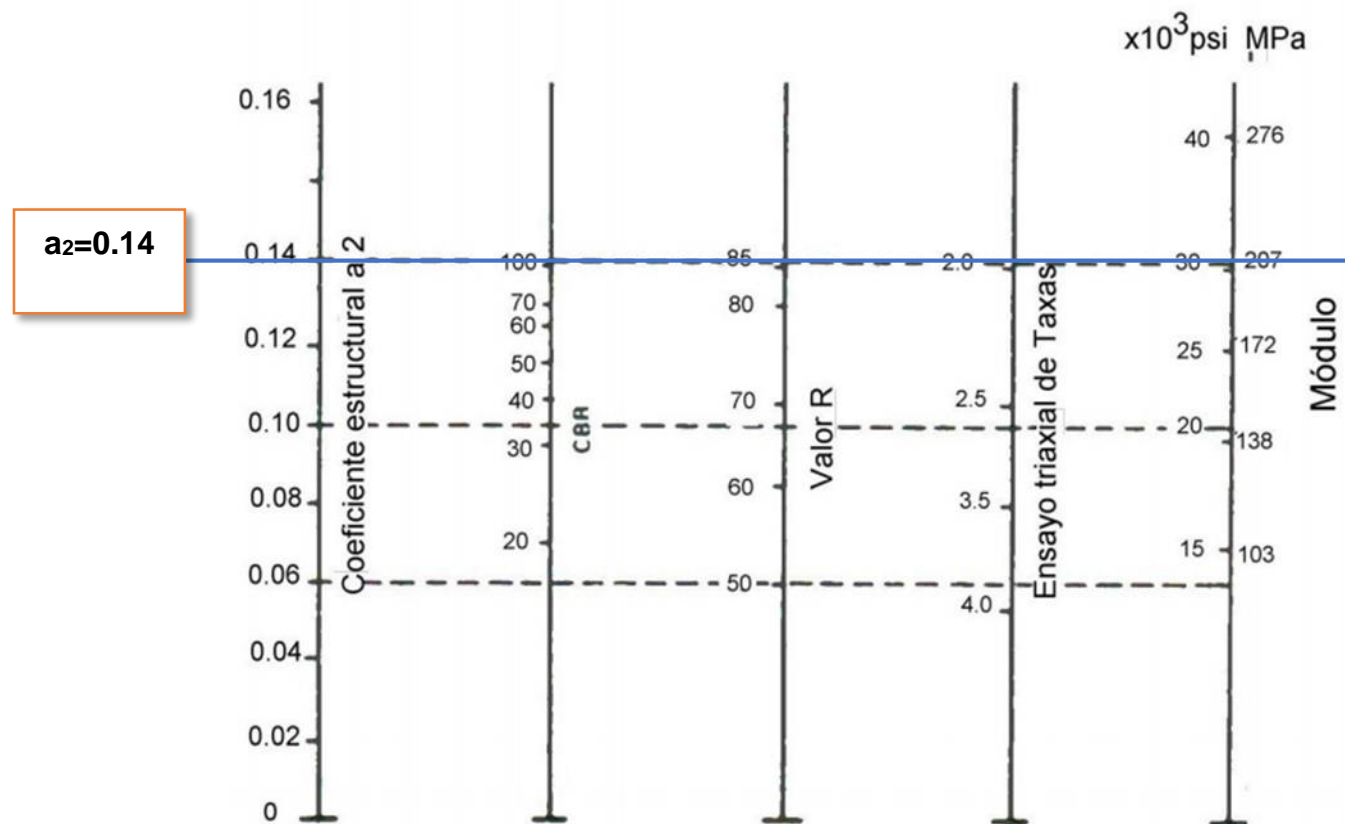
$$MR = 1500 * 4$$

$$MR = 6,000 \text{ PSI}$$

Hay que destacar que el material a utilizar de en el diseño de la base pertenece al banco de materiales **El zompopo con CBR>100%** y si es requerido en el diseño Sub-base hacer uso del material del banco **El Arranque #2 con CBR>100%**.

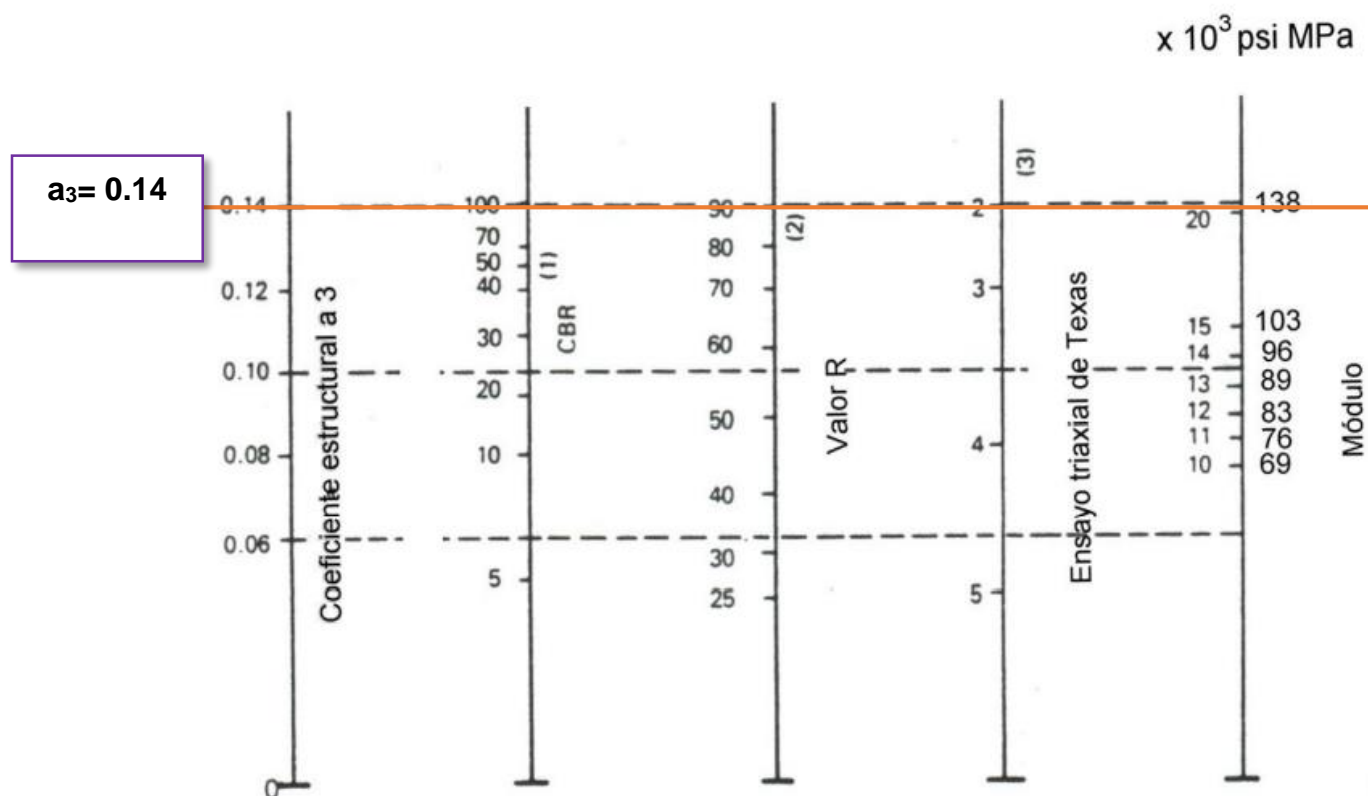
El Módulo de Resiliencia de la base nos dios un resultado de 30,000 PSI y el de la Sub-base dio un valor de 21,000 PSI, se calculó por medio del nomograma de relación entre el coeficiente estructural para base granular y el monograma para Sub-base granular.

**Grafico 5. Nomograma variación en el coeficiente ( $a_2$ ) de capa base granular con varios parámetros de resistencia**



Fuente: Guía de Diseño de Estructura de Pavimento AASTHO-1993.3ra Edición, Cap.5, pag.118

**Grafico 6. Nomograma Variación en el Coeficiente ( $a_3$ ) de Capa Sub-base Granular con Varios Parámetros de Resistencia de Sub-base.**



Fuente: Guía de Diseño de Estructura de Pavimento AASTHO-1993.3ra Edición, Cap.5, pag.118.

#### **6.7.1. Coeficientes Estructurales de capa (ai).**

Son coeficientes estructurales que involucran las diferentes características físicas y propiedades de los distintos materiales, para desempeñarse como componente estructural del pavimento. Estos factores son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos, estos permiten convertir los espesores reales a los números estructurales (SN), interpretándose cada coeficiente como una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura de pavimento. (AASHTO, 1993)

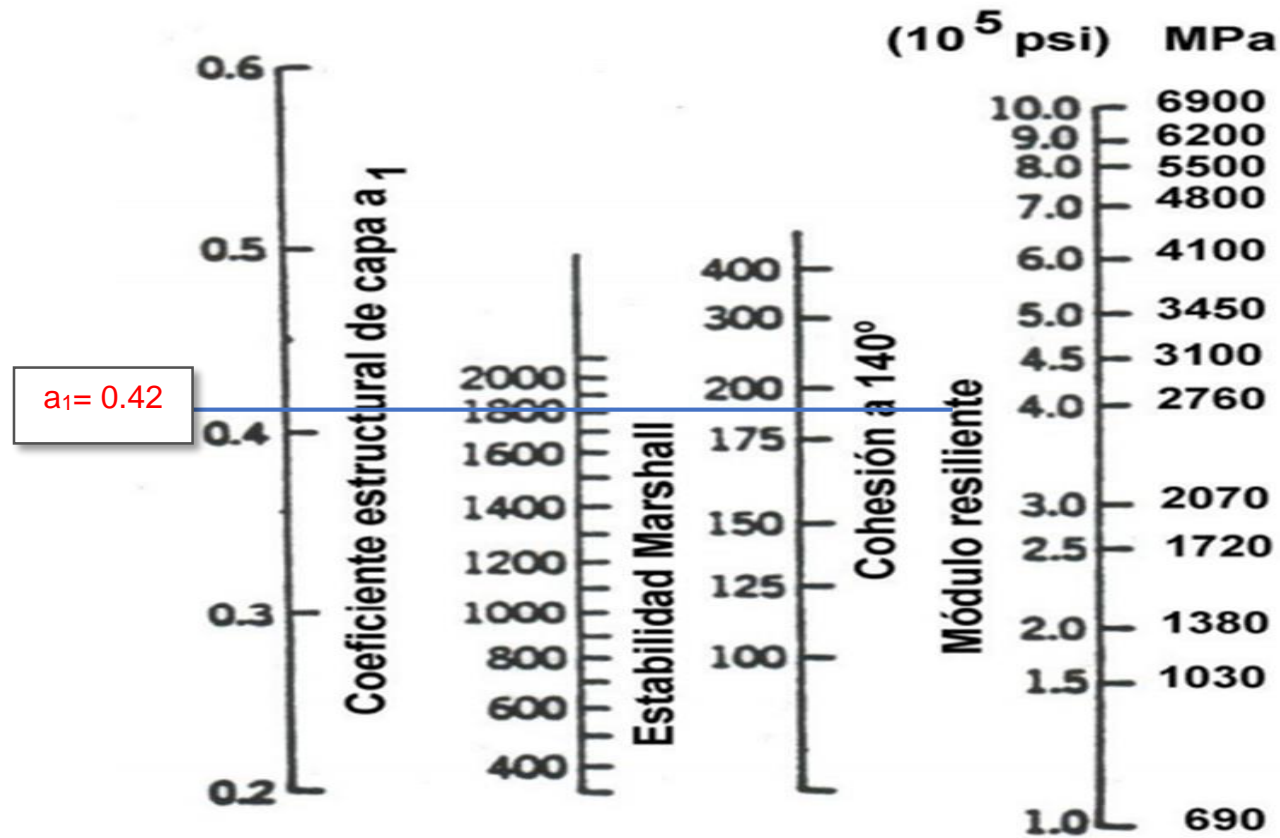
#### **6.7.2. Coeficiente estructural de la carpeta de Rodamiento (a1).**

Este coeficiente se determina a través de la estabilidad Marshall, este valor de estabilidad es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. El ensayo está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla, estos valores son de gran importancia ya que a partir de estos datos se logra que la mezcla que se diseñe logre un comportamiento adecuado, garantizando una mezcla que no se deforme o desplace en presencia de las cargas pesadas y sobre todo que sea resistente ante el efecto de la repetición de cargas (W18) a la cual un pavimento se ve sometido durante su vida de servicio.

Para este diseño de acuerdo a los criterios para mezcla del método Marshall se ubica el ESAL's de diseño como tránsito pesado por estar en el exponente mayor de  $10^6$ , (**ESAL's 2.274680761 x10<sup>6</sup>**). De acuerdo a este criterio determinamos un valor de Estabilidad Marshall de 1,800 libras.

El coeficiente estructural a1 de la capa asfáltica es de 0.42 este valor a través de la Estabilidad Marshall. **Ver gráfico n° 7, pág. 122.**

Grafico 7. Coeficiente estructural para capas asfálticas ( $a_1$ ) Relacionado con Varios Ensayos.



Fuente: Guía de Diseño de Estructura de Pavimento AASTHO-1993.3ra Edición, Cap.5, pag.110.

### **6.7.3. Coeficiente estructural para base granular (a2)**

Para el caso de la base esta está conformada por agregados no tratados (como el caso de las bases de piedra picada, grava triturada, etc.).

El valor de este coeficiente estructural será determinado mediante el nomograma para sub-bases granulares no tratadas de la guía de la AASHTO-93, correlacionando con el CBR de la base que es igual a 100, considerando todos estos datos nuestro valor  $a_2 = 0.14$ . **(Ver gráfico n° 5, pág. 119 del presente documento).**

### **6.7.4. Coeficiente estructural Sub-base granular (a3)**

El valor determinado para este coeficiente es de 0.14 de la misma manera se obtiene del nomograma para Sub-base granular no tratadas de la guía de la AASTHO-93, con relación al CBR de la Sub-base que es igual a 100. **(Ver gráfico n° 6, pág. 120 del presente documento).**

## **6.8. Criterios de Estabilidad y Posibilidad de Construcción**

Es normalmente es poco práctico y antieconómico el extender y compactar capas que tengan un espesor menor a determinados mínimos. El tráfico por otra parte puede dictaminar otros espesores mínimos recomendables para lograr que las mezclas tengan estabilidad y cohesión satisfactorias.

A continuación, se muestra una tabla que sugiere algunos espesores mínimos para capas de rodamiento y bases, en relación a los valores de cargas equivalentes ESAL's en el periodo de diseño.

**Tabla N°60. Espesores mínimos sugeridos por la AASTHO-93 para capas de concreto Asfáltico y base en función del tránsito.**

Número de ESAL's	Concreto Asfáltico	Base Granular
<b>Menos de 50,000</b>	2.5 cm	10 cm
<b>50,000-150,000</b>	5 cm	10 cm
<b>150-000-500,000</b>	6.5 cm	10 cm
<b>500,000-2,000,000</b>	7.5 cm	15 cm
<b>2,000,000-7,000,000</b>	9.0 cm	15 cm
<b>Mayor de 7,000,000</b>	10.0 cm	15 cm

Fuente: Guía de Diseño de la AASTHO-93, Capítulo 3, pág. 46.

#### **6.8.1. Calculo Manual de los Espesores de Capa (D) y del Número Estructural (SN).**

Para el cálculo del SN utilizamos el monograma para resolver la ecuación AASHTO. **(Ver gráfico n°8, pág. 126)**. Obteniendo un resultado de **SN<sub>1</sub>=2.4, SN<sub>2</sub>=2.6, SN<sub>3</sub>=3.4**

**Ecuación 55.**  $SN = a1 * D1 * m1 + a2 * D2 * m2 + a3 * D3 * m3$

Donde:

a<sub>1</sub>= Coeficiente estructural de la carpeta de Rodamiento

a<sub>2</sub>= Coeficiente estructural para base granular

a<sub>3</sub>= Coeficiente estructural Sub-base granular

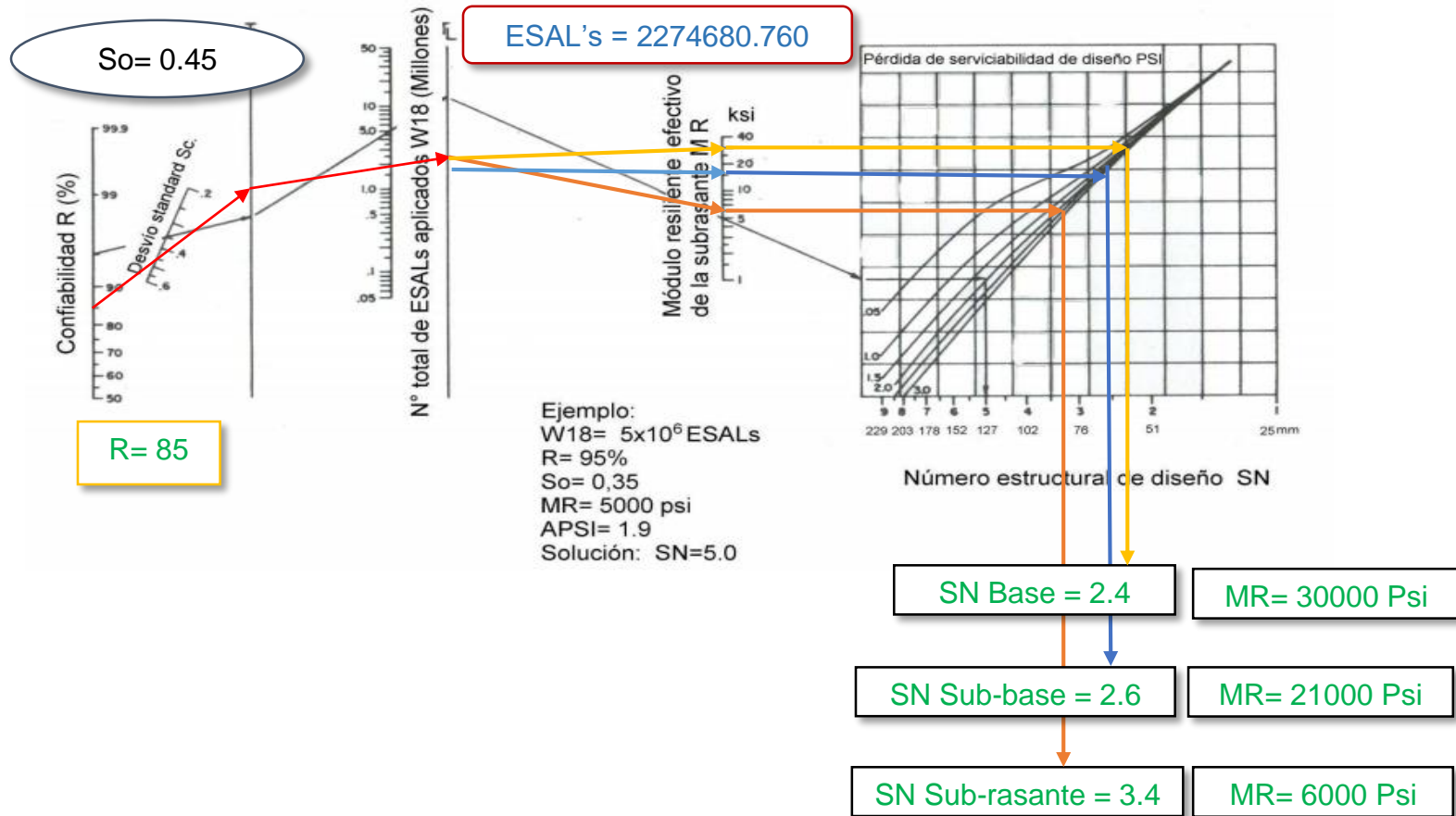
m= Coeficiente estructural Sub-base granular

D<sub>1</sub>= Espesor de Capa Asfáltica

D<sub>2</sub>= Espesor de Capa Base

D<sub>3</sub>= Espesor de Capa de Sub-base

**Grafico 8. Nomograma para Encontrar el Número de Diseño Estructural SN**



Fuente: Guía de Diseño de Estructura de Pavimento AASTHO-1993.3ra Edición, Cap.8, pag.174.



Espesor de Capa Asfáltica (D1):

**Ecuación 56.** 
$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1 * m_1}$$

$$D_1 \geq \frac{2.4}{0.42 * 1} = 5.7 \text{ pulg.}$$

Si cumple con el espesor mínimo según la tabla de espesor de diseño de la estructura de pavimento; adoptar D1= 6 pulgadas.

**SN<sub>1</sub>\* Absorbido por la Capa Asfáltica:**

**Ecuación 57.** 
$$SN_1^* = a_1 * m_1 * D_1 *$$

$$SN_1^* = 0.42 * 1 * 6 = SN_1^* = 2.52$$

**Espesor de Capa Base (D<sub>2</sub>):**

**Ecuación 58.** 
$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2}$$

$$D_2 \geq \frac{2.6 - 2.52}{0.14 * 1} = 0.57 \text{ pulg.}$$

No cumple con el espesor mínimo, adoptar D<sub>2</sub> = 6 pulgadas

**SN<sub>2</sub>\* Absorbido por la Capa Base:**

**Ecuación 59.** 
$$SN_2^* = a_2 * m_2 * D_2$$

$$SN_2^* = 0.14 * 1 * 6 = SN_2^* = 0.84$$

**Espesor de Capa de Sub-base (D<sub>3</sub>):**

**Ecuación 60.** 
$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_1 + SN_2)}{a_3 * m_2}$$

$$D_3 \geq \frac{3.4 - (2.52 + 0.84)}{0.14 * 1} = 0.29 \text{ pulg. Adoptar } D_3 = 6 \text{ pulg.}$$

**SN<sub>3</sub>\*** Absorbido por la Capa Sub-base:

$$\mathbf{SN_3^* = a_3 * m_3 * D_3}$$

$$\mathbf{SN_3^* = 0.14 * 1 * 6 = 0.84}$$

**Observaciones:** cómo se puede notar en este diseño se requiere de una capa de base de 6 pulgadas este espesor nos permite obtener un numero estructural más alto para su desempeño al momento de interactuar con las cargas del tránsito, con respecto a la Sub-base se asume un valor de 6 pulgadas para proteger la sub-rasante que tiene propiedades poco favorables para el diseño matemáticamente hablando al aumentar los espesores la estructura de pavimento tendrá un comportamiento satisfactorio puesto que aumenta nuestro valor SN de forma directa.

**Verificación:**

**Ecuación 61.       $SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN$**

$$2.52 + 0.84 + 0.84 \geq 3.5$$

4.2  $\geq$  3.5 Ok, cumple.

**Resumen de los resultados:**

- El SN requerido para las Cargas de Diseño es de 3.4
- El SN calculado en base a nuestra propuesta de espesores es de 4.2 que será el SN de Diseño para la Estructura de Pavimento.

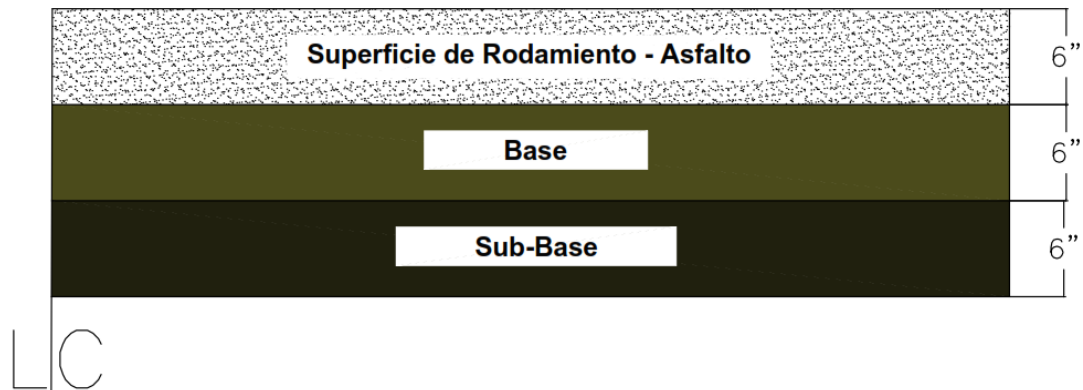
En base a los resultados obtenidos la estructura de pavimento del tramo de carretera Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda estará conformado de la siguiente manera:

**Tabla N°61. Espesores de Diseño de la Estructura de Pavimentos**

Capa	Material	Espesor
<b>Superficie de Rodamiento</b>	Asfalto	6" (15.24 cm)
<b>Base</b>	Piedra triturada (Banco El Zompopo)	6" (15.24cm)
<b>Sub-Base</b>	Piedra triturada (Banco El Arranque N° 2)	6" (15.24cm)
<b>Espesor Total Requerido</b>		<b>18" (46cm)</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Grafico 9. Estructura de Pavimento Flexible**



Fuente: Elaboración propia AutoCAD Civil 3d.

**CONCLUSIONES**  
**Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

Basado en los aspectos aparcados en esta investigación y en los objetivos planteados se concluye que:

- Posteriormente de realizar el levantamiento topográfico, elaborando el perfil del terreno natural se concluyó que el terreno por variaciones de pendiente en un rango de -3.115% y 9.767%, es ondulado.
- El análisis de granulometría de los diferentes estratos nos permite conocer la cantidad de material fino o grueso existente, según los resultados el suelo tanto en la capa de rodamiento como en las capas adyacentes, se presenta un considerable porcentaje de material fino, teniendo en cuenta este tipo de material no favorece a ningún diseño en este caso diseño de carretera y pavimento, ya que el tener mucho suelo fino, las resistencia que este aporta antes las cargas que se presentarán en la vía es muy poca.
- Los tipos de suelos que se encontraron en el tramo Emp. WanaWana – Barrio Pablo Úbeda, se componen de suelos **A-7-5 (16)**, **A-7-5 (20)**, **A-7-5 (16)**, **A-7-5 (14)**, **A-7-5 (20)**; estos tipos de suelos según la **Clasificación AASHTO M 145** corresponde a suelos arcillosos (regular a pobre); **A-2-6 (0)** Grava y Arenas, Limosas y arcillas (Excelente a bueno); **A-2-7 (0)** Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno); **A-2-4 (0)** Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno), **A-1-a (0)** Fragmentos de piedra, grava y arena (Excelente a Bueno).
- La prueba del valor soporte california CBR realizada a los diferentes tipos de suelos, permite conocer que tan buenas propiedades físicas y mecánicas tienen el mismo, los resultados de esta prueba se observa que el tipo de suelo A-7-5 (16) con un CBR al 95% da como resultado 2, **A-7-5(20) – 5**, **A-7-5 (16) – 6**, **A-7-5 (14) – 8**, **A-7-5 (20) – 10**, **A-2-6 (0) – 12**, **A-2-7 (0) – 14**, **A-2-6 (0) – 21**, **A-2-4 (0) – 25**, **A-1-a (0) – 27**. Tramo que se

caracteriza con poca resistencia a la penetración, debido a su alto grado de material fino.

- Los ensayos realizados a los bancos de materiales por la empresa Ingenieros Consultores Centroamericanos S.A. los fragmentos de rocas fueron triturados manualmente en laboratorio hasta alcanzar un tamaño adecuado. En el caso del ensayo de capacidad soporte (CBR), el resultado fue por encima de 100, este es un valor normal considerando que las muestras ensayadas corresponden a fragmentos de rocas trituradas industrialmente.
- Según lo observado en la **Tabla n° 12, pág. 38**. Resultados de ensayos de laboratorio de piedra triturada. Las fuentes de materiales que cumplen con los requerimientos de durabilidad y resistencia como materiales para base y sub-base de pavimento (NIC-2000, sección 1003.09), corresponde a los bancos “El Zompopo”, “El Arranque #2”. Estos bancos están constituidos de rocas, que presentan perdidas a la abrasión en la máquina de los ángeles, por debajo de 50%, perdidas en el ensayo de los cinco ciclos en sulfato de sodio menor al 12%, además presentan valores de absorción de agua menor de 2.5%. no se considera análisis de graduación, porque la granulometría se puede ajustar mediante trituración industrial.
- El flujo vehicular está compuesto por un **73.51%** de vehículos livianos, **26.22%** de vehículos pesados y **0.27%** en la categoría otros.
- Promediando las tasas de crecimiento propuestas en el presente documento se obtiene como resultado una tasa de crecimiento de **3.19%**.
- Se determina un **TPDA de 370 Vehículos/día**, el cual se proyecta a un período comprendido del 2020 hasta el año 2040, obteniendo un TPDA acumulado al final de **693 vehículos/día** y un tránsito de diseño total de **TD**

= **1849900.100**, que nos servirá para el cálculo de ESAL's para ejes equivalentes.

- Se considera las normativas SIECA 2004 y SIECA 2011, de las cuales se cumplen con la mayoría de las especificaciones estipuladas, en relación a la velocidad de diseño que es de 60 KPH, no hubo necesidad de modificarla, ya que los radios mínimos en las curvas cumplían a cabalidad. Considerando el tránsito de la vía, se determinó que el vehículo de diseño es el T3S2, siendo este el que presenta las dimensiones más críticas para circular en la ruta.
- En el trazado de la rasante, la pendiente mínima es de 0.50% y la máxima de 8%, encontrándose dentro del rango estipulado en la SIECA 2011 (15%), pág. 166.
- Se determinó un **ESAL's de 2, 274,680.76060560**, ejes equivalentes de 18 kips para el carril de diseño.
- Los espesores finales de la estructura de pavimento son de: Pavimento de Asfalto: 6 pulgadas, Base: 6 pulgadas, Sub-base: 6 pulgadas.

## RECOMENDACIONES

- Realizar corrida de niveles sobre la vía, a una distancia no mayor a los 20 metros para su posterior ejecución.
- Colocar Mojones Geodésicos, con equipos especiales para extraer dicha información, como mínimo 6 mojones, al inicio de proyecto, en mitad del tramo y donde se finaliza el proyecto, con la finalidad de comprobar que el levantamiento se efectuó de la mejor manera y para posterior ejecución del proyecto, para replanteo de la vía.
- En figuras de la columna estratigráfica de la vía, se puede apreciar que el material de la superficie y suelos adyacentes, presentan en su mayoría suelos finos, material arcilloso, lo cual es recomendable mejorar el suelo del camino, para mejorar la resistencia del mismo.
- Como seguridad vial, se recomienda colocar señalizaciones en la ruta, tanto señales horizontales, como verticales, esto para salvaguardar las vidas de los conductores, peatones y animal que circule en la misma.
- El CBR de la sub-rasante da como resultado 4, está en la categoría de sub-rasante muy mala según la **tabla n° 59, pág. 118** del presente documento. Es recomendable hacer uso de un mejoramiento mecánico para la sub-rasante, que consiste en escarificar el suelo, cortando, mezclando y compactando para llegar a una densidad real mayor.



## BIBLIOGRAFÍA

AASHTO. (1993). *Diseño de Pavimento*.

Banco Central de Nicaragua. (2019). *Anuario de Estadísticas Macroeconómicas*. Managua.

Consultor, R. L. (2004). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*.

Fonseca, A. M. (2001). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Santa Fe de Bogotá, DC.

Fonseca, A. M. (2018). *Ingeniería de Pavimentos*.

G., Rafael Cal y Mayor R. James Cárdenas. (1998). *Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones*. México: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR S.A. de C.V.

INIDE Instituto Nacional de Información de Desarrollo. (2008). *Río Blanco en Cifras*. Matagalpa.

*Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*. (2011). aecid.

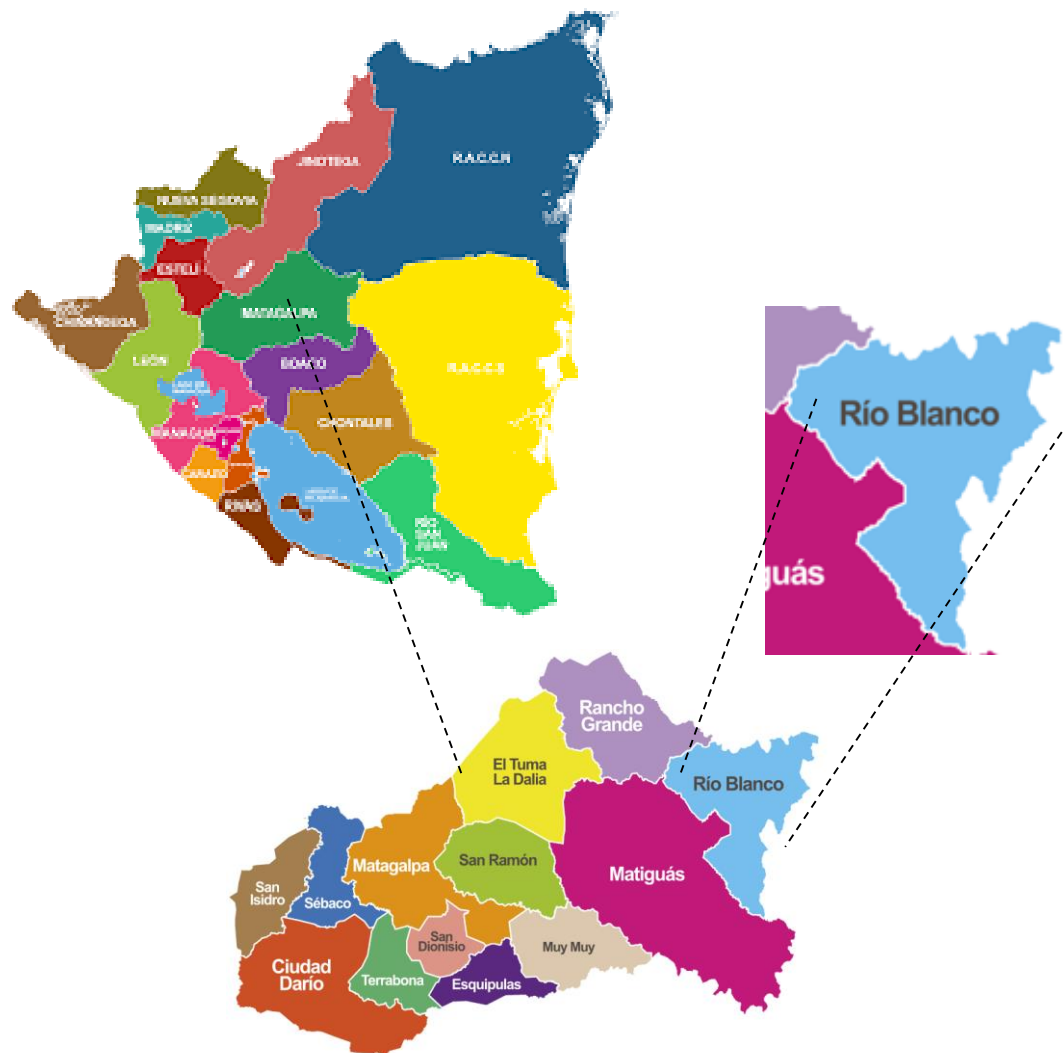
MTI. (2019). *Anuario de Aforos de Tráfico*. Managua.

Villalba, M. A. (s.f.). *Topografía, conceptos y aplicaciones*.

**ANEXOS**

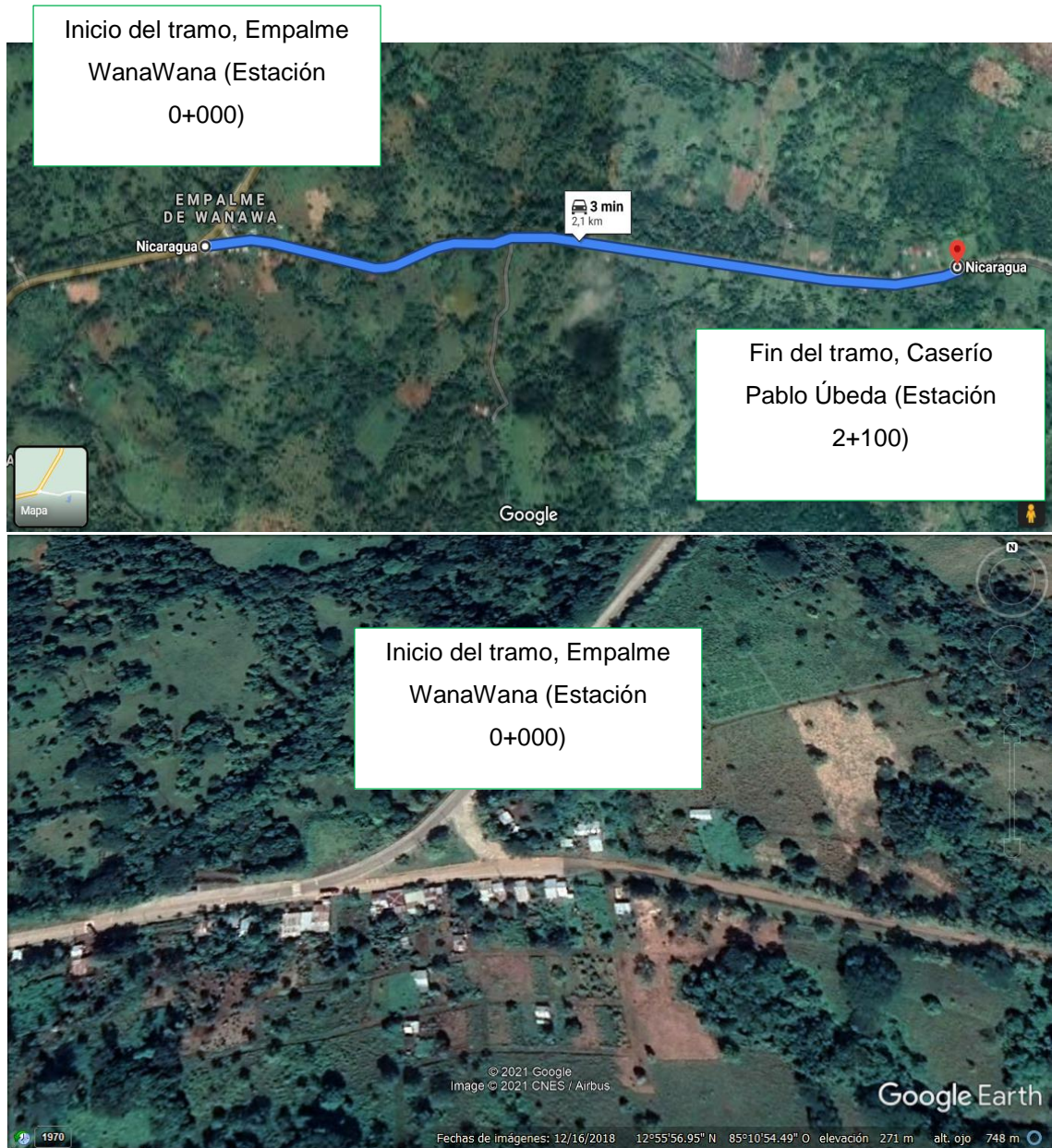
## ANEXOS

Figura N°9. Macro localización del Municipio de Río Blanco, Departamento de Matagalpa.



Fuente: Elaboración propia

**Figura N°10. Micro localización El tramo Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda, está ubicado al noreste del municipio de Rio Blanco, departamento de Matagalpa.**



Fuente: Google Earth

**Tabla N°62. Registro del levantamiento, tramo Empalme WanaWana – Barrio Pablo Úbeda.**

Punto Observado	X (Este)	Y (Norte)	Z (Elevación)	Código
1	697269.564	1430360.313	278	PI-1
2	697269.564	1430360.313	278	NORTE
3	697269.192	1430343.448	277.048	CERCO
4	697267.914	1430348.626	277.439	CALLE
5	697267.391	1430362.627	278.028	CALLE
6	697267.592	1430366.381	278.334	CERCO
7	697284.922	1430363.398	278.175	CERCO
8	697283.96	1430359.016	276.95	CALLE
9	697283.282	1430351.774	276.688	CALLE
10	697281.528	1430341.936	276.466	CERCO
11	697305.948	1430362.232	277.938	CERCO
12	697304.013	1430356.412	276.045	CALLE
13	697302.519	1430349.805	276.047	CALLE
14	697302.931	1430342.888	276.356	CERCO
15	697325.883	1430358.845	276.79	CERCO
16	697324.37	1430351.897	275.431	CALLE
17	697323.314	1430346.076	275.453	CALLE
18	697321.729	1430339.971	275.812	CERCO
19	697347.33	1430353.555	276.334	CERCO
20	697345.215	1430347.863	274.798	CALLE
21	697343.1	1430341.081	274.716	CALLE
22	697341.927	1430334.724	275.172	CERCO
23	697367.312	1430347.277	274.958	CERCO
24	697365.578	1430342.237	274.281	CALLE
25	697363.97	1430336.362	274.26	CALLE
26	697362.708	1430331.226	274.56	CERCO

27	697388.876	1430342.798	275.069	CERCO
28	697386.945	1430336.806	273.542	CALLE
29	697385.754	1430331.251	273.488	CALLE
30	697384.644	1430324.271	273.838	CERCO
31	697407.061	1430339.143	274.348	CERCO
32	697403.851	1430333.108	273.066	CALLE
33	697402.536	1430327.581	272.954	CALLE
34	697401.344	1430320.161	273.097	CERCO
35	697424.195	1430335.249	273.62	CERCO
36	697420.107	1430328.804	272.418	CALLE
37	697418.856	1430323.656	272.4	CALLE
38	697417.435	1430316.032	272.698	CERCO
39	697442.045	1430330.888	272.974	CERCO
40	697440.463	1430324.023	271.522	CALLE
41	697438.811	1430318.487	271.602	CALLE
42	697436.432	1430311.444	272.554	CERCO
43	697436.863	1430314.815	272.368	PI-2
44	697461.072	1430326.67	271.455	CERCO
45	697459.814	1430323.341	271.467	TN
46	697458.917	1430319.507	270.514	CALLE
47	697457.635	1430313.59	270.389	CALLE
48	697456.874	1430311.044	270.587	TN
49	697455.922	1430306.904	270.769	CERCO
50	697483.103	1430321.166	268.953	CERCO
51	697482.662	1430318.801	269.089	TN
52	697481.146	1430314.082	268.998	CALLE
53	697479.002	1430307.774	268.931	CALLE
54	697478.313	1430304.871	268.825	TN
55	697477.664	1430301.86	269.073	CERCO
56	697503.259	1430315.983	267.643	CERCO

57	697501.788	1430311.514	267.422	TN
58	697501.434	1430309.359	267.414	CALLE
59	697499.473	1430301.678	267.385	CALLE
60	697499.31	1430299.823	267.326	TN
61	697498.229	1430297.05	267.463	CERCO
62	697522.556	1430310.919	266.133	CERCO
63	697521.84	1430308.695	266.22	TN
64	697520.83	1430304.302	266.248	CALLE
65	697518.488	1430296.661	266.246	CALLE
66	697517.677	1430294.565	266.173	TN
67	697517.366	1430292.553	266.247	CERCO
68	697543.078	1430305.908	264.773	CERCO
69	697541.8	1430302.726	265.211	TN
70	697540.973	1430300.324	265.435	CALLE
71	697539.021	1430291.93	265.33	CALLE
72	697538.345	1430290.121	265.252	TN
73	697537.535	1430288.002	264.805	CERCO
74	697563.79	1430294.602	264.841	CALLE 0+300
75	697561.039	1430286.334	264.773	CALLE 0+300
76	697583.926	1430288.991	264.977	CALLE
77	697581.573	1430280.633	264.978	CALLE
78	697601.572	1430286.44	265.605	TN
79	697600.82	1430283.713	265.393	CALLE
80	697598.975	1430277.132	265.489	CALLE
81	697616.628	1430281.673	265.939	CALLE
82	697615.633	1430273.794	266.267	CALLE
83	697635.397	1430274.421	267.523	PI-3
84	697606.589	1430271.964	266.368	CERCO

85	697607.447	1430274.956	265.759	CALLE
86	697609.045	1430282.222	265.574	CALLE
87	697609.356	1430284.692	266.102	TN
88	697610.447	1430289.923	265.824	CERCO
89	697651.602	1430293.43	270.175	CERCO
90	697651.752	1430289.975	270.644	TN
91	697652.795	1430288.264	269.037	TN
92	697653.327	1430285.265	268.377	CALLE
93	697654.668	1430277.61	268.754	CALLE
94	697655.072	1430275.755	269.247	TN
95	697655.465	1430274.244	269.731	TN
96	697655.788	1430271.818	270.045	CERCO
97	697669.984	1430298.537	272.026	CERCO
98	697670.584	1430296.682	271.776	TN
99	697671.483	1430294.272	270.533	TN
100	697672.153	1430291.162	269.808	CALLE
101	697674.466	1430282.82	270.025	CALLE
102	697674.859	1430281.53	270.368	TN
103	697675.286	1430280.509	270.837	TN
104	697676.183	1430278.089	271.315	CERCO
105	697690.058	1430305.292	273.757	CERCO
106	697690.818	1430303.495	272.869	TN
107	697691.124	1430301.813	271.995	TN
108	697692.922	1430299.26	270.722	CALLE
109	697696.385	1430290.829	270.699	CALLE
110	697698.028	1430288.56	271.394	TN
111	697698.965	1430286.15	271.487	CERCO
112	697709.352	1430305.62	270.776	PI-4
113	697725.707	1430317.951	273.723	CERCO
114	697726.763	1430316.257	272.599	TN



115	697727.273	1430314.823	270.738	TN
116	697727.517	1430312.593	270.145	CALLE
117	697729.611	1430304.467	269.871	CALLE
118	697731.069	1430301.659	269.92	TN
119	697732.399	1430298.549	270.012	CERCO
120	697745.635	1430324.805	271.779	CERCO 0+500
121	697746.014	1430323.186	270.921	TN 0+500
122	697746.534	1430322.574	269.809	TN 0+500
123	697747.082	1430320.645	269.109	CALLE 0+500
124	697749.945	1430313.003	269.048	CALLE 0+500
125	697751.298	1430310.051	269.458	TN
126	697752.471	1430305.839	269.508	CERCO
127	697763.243	1430332.09	271.433	CERCO
128	697763.601	1430330.932	270.301	TN
129	697764.202	1430329.758	269.297	TN
130	697764.917	1430327.442	268.592	CALLE
131	697767.229	1430319.75	268.196	CALLE
132	697768.023	1430317.714	268.693	TN
133	697768.471	1430315.678	269.081	TN
134	697769.55	1430311.93	269.381	CERCO
135	697781.727	1430339.696	272.659	CERCO
136	697782.253	1430338.211	272.088	TN
137	697782.522	1430335.895	269.141	TN
138	697783.465	1430332.717	267.849	CALLE
139	697785.028	1430324.785	267.444	CALLE

140	697785.922	1430321.342	268.501	TN
141	697786.975	1430317.834	268.998	CERCO
142	697801.054	1430345.736	271.272	CERCO
143	697801.707	1430341.62	270.421	TN
144	697802.034	1430338.659	267.059	TN
145	697802.197	1430336.3	267.152	CALLE
146	697803.369	1430329.288	266.737	CALLE
147	697804.517	1430325.077	267.598	TN
148	697805.636	1430321.013	268.744	CERCO
149	697821.143	1430349.467	270.173	CERCO
150	697821.736	1430344.53	269.626	TN
151	697821.298	1430341.705	266.92	TN
152	697821.407	1430339.094	266.366	CALLE
153	697821.83	1430331.717	265.925	CALLE
154	697822.111	1430328.209	266.428	TN
155	697822.872	1430324.101	267.67	TN
156	697840.455	1430348.988	269.192	CERCO 0+600
157	697840.758	1430346.189	268.834	TN
158	697840.806	1430344.249	266.419	TN
159	697840.798	1430340.761	265.649	CALLE
160	697840.202	1430332.404	265.206	CALLE
161	697840.165	1430329.917	265.559	TN
162	697857.737	1430349.023	267.22	CERCO
163	697857.74	1430346.616	266.355	TN
164	697858.241	1430344.487	265.238	TN
165	697858.387	1430341.356	265.127	CALLE
166	697857.352	1430334.045	264.895	CALLE
167	697878.66	1430348.826	265.004	CERCO
168	697878.464	1430346.815	265.023	TN

169	697878.712	1430343.92	264.727	CALLE
170	697879.143	1430335.323	264.655	CALLE
171	697881.278	1430343.676	264.77	PI-5
172	697900.795	1430347.685	264.535	CERCO
173	697900.998	1430345.895	264.757	CALLE
174	697901.589	1430336.337	264.489	CALLE
175	697909.516	1430334.857	264.508	CERCO
176	697918.156	1430351.745	265.438	CERCO
177	697918.427	1430349.749	265.325	TN
178	697918.577	1430347.839	265.252	CALLE
179	697918.466	1430339.232	265.165	CALLE
180	697918.873	1430337.098	265.308	TN
181	697919.117	1430335.446	265.275	CERCO
182	697937.392	1430353.911	265.981	CERCO 0+700
183	697937.608	1430351.606	266.494	TN
184	697937.828	1430349.077	266.176	CALLE
185	697938.061	1430341.533	266.047	CALLE
186	697938.152	1430339.248	266.189	TN
187	697938.611	1430336.209	266.428	CERCO
188	697957.269	1430356.076	267.729	CERCO
189	697957.713	1430352.325	267.909	TN
190	697958.025	1430350.061	267.884	CALLE
191	697958.547	1430342.505	267.714	CALLE
192	697958.902	1430340.639	267.757	TN
193	697959.312	1430337.141	267.818	CERCO
194	697976.516	1430357.609	269.841	CERCO
195	697976.578	1430354.824	269.917	TN
196	697976.42	1430351.554	269.614	CALLE
197	697976.392	1430344.893	269.576	CALLE

198	697977.114	1430337.827	269.719	CERCO
199	697996.456	1430355.419	272.639	CERCO
200	697996.336	1430352.475	271.63	TN
201	697996.424	1430351.09	271.609	CALLE
202	697996.378	1430345.428	271.569	CALLE
203	697996.622	1430343.319	271.704	TN
204	697996.479	1430340.803	272.341	TN
205	698013.859	1430356.033	274.534	TN
206	698013.882	1430353.249	273.461	CALLE
207	698013.385	1430347.33	273.23	CALLE
208	698013.394	1430345.081	273.653	TN
209	698045.169	1430352.247	276.602	PI-6
210	698032.258	1430358.924	279.646	CERCO 0+800
211	698033.317	1430355.464	275.858	TN
212	698033.463	1430352.981	275.533	CALLE
213	698033.212	1430346.77	275.419	CALLE
214	698033.133	1430343.009	275.947	TN
215	698032.552	1430341.756	278.197	TN
216	698033.579	1430339.841	279.243	TN
217	698035.427	1430338.036	280.634	CERCO
218	698064.253	1430353.864	278.965	CERCO
219	698061.706	1430357.079	282.181	CERCO
220	698064.404	1430353.604	278.942	TN
221	698064.091	1430351.529	278.02	CALLE
222	698063.424	1430344.853	277.91	CALLE
223	698063.114	1430342.737	278.238	TN
224	698063.325	1430341.201	278.544	TN
225	698062.336	1430337.332	282.532	CERCO
226	698079.65	1430354.142	281.997	CERCO

227	698083.037	1430351.907	279.525	TN
228	698083.056	1430349.754	279.257	CALLE
229	698082.689	1430343.755	279.273	CALLE
230	698082.509	1430339.94	279.63	TN
231	698081.638	1430337.702	282.523	CERCO
232	698101.059	1430352.171	281.229	CERCO
233	698100.501	1430350.735	281.211	TN
234	698100.32	1430348.103	280.184	CALLE
235	698098.713	1430341.751	280.077	CALLE
236	698098.086	1430338.158	280.752	TN
237	698097.898	1430337.625	281.331	TN
238	698093.449	1430337.139	282.756	CERCO
239	698121.174	1430351.006	281.38	CERCO
240	698120.796	1430345.786	281.187	CALLE
241	698119.564	1430339.484	281.302	CALLE
242	698119.48	1430338.386	281.266	TN
243	698119.305	1430336.222	281.703	TN
244	698115.534	1430334.996	283.288	CERCO
245	698139.409	1430348.203	281.561	CERCO 0+900
246	698138.136	1430343.608	281.773	CALLE
247	698136.415	1430336.761	281.805	CALLE
248	698136.104	1430334.876	282.132	TN
249	698135.974	1430333.297	282.521	CERCO
250	698158.716	1430341.478	282.583	PI-7
251	698178.338	1430345.096	283.165	CERCO
252	698177.496	1430341.755	283.158	TN
253	698177.139	1430338.464	283.022	CALLE
254	698175.702	1430331.599	283.044	CALLE
255	698175.462	1430330.046	283.251	TN

256	698175.129	1430328.53	283.374	CERCO
257	698195.407	1430343.29	283.707	CERCO
258	698194.644	1430340.698	283.681	TN
259	698194.026	1430336.095	283.343	CALLE
260	698192.621	1430329.154	283.384	CALLE
261	698192.05	1430327.21	283.732	TN
262	698191.923	1430325.576	284.62	CERCO
263	698215.363	1430337.974	284.284	CERCO
264	698214.721	1430332.62	283.954	CALLE
265	698214.076	1430326.217	283.859	CALLE
266	698213.646	1430323.485	284.32	TN
267	698212.993	1430321.21	286.611	CERCO
268	698235.111	1430336.583	285.393	CERCO 1+000
269	698234.333	1430333.852	285.76	TN
270	698234.402	1430331.968	284.807	TN
271	698234.176	1430330.486	284.369	CALLE
272	698232.864	1430323.773	284.301	CALLE
273	698232.65	1430322.239	284.838	TN
274	698232.353	1430320.875	285.716	TN
275	698231.277	1430318.967	287.782	CERCO
276	698253.515	1430334.771	286.222	CERCO
277	698253.343	1430331.356	286.722	TN
278	698253.183	1430330.103	285.579	TN
279	698253.035	1430327.832	284.88	CALLE
280	698252.522	1430322.129	284.946	CALLE
281	698252.237	1430319.898	285.552	TN
282	698243.934	1430318.923	288.081	CERCO
283	698271.089	1430333.846	285.943	CERCO
284	698270.479	1430331.111	285.931	TN

285	698270.072	1430327.575	285.47	TN
286	698269.85	1430326.008	285.42	CALLE
287	698268.67	1430320.35	285.326	CALLE
288	698268.585	1430318.595	285.681	TN
289	698268.351	1430317.37	286.815	TN
290	698264.674	1430315.747	288.917	CERCO
291	698289.151	1430323.545	286.079	CALLE
292	698288.273	1430317.522	286.11	CALLE
293	698287.594	1430313.537	286.463	TN
294	698307.919	1430324.337	286.974	TN 1+100
295	698307.248	1430321.155	286.91	CALLE
296	698305.46	1430314.509	286.808	CALLE
297	698305.483	1430309.216	287.057	TN
298	698330.407	1430320.983	288.176	TN
299	698330.054	1430317.967	288.029	CALLE
300	698329.085	1430311.48	288.112	CALLE
301	698328.398	1430308.21	288.04	TN
302	698328.372	1430303.993	288.269	TN
303	698348.331	1430320.793	289.246	TN
304	698347.302	1430315.767	288.944	CALLE
305	698345.656	1430308.537	289.019	CALLE
306	698345.016	1430304.579	288.92	TN
307	698345.311	1430299.582	289.987	TN
308	698366.743	1430318.086	290.146	TN
309	698366.368	1430315.55	290.287	TN
310	698366.158	1430313.352	290.181	CALLE
311	698365.17	1430306.56	290.241	CALLE
312	698363.401	1430295.735	290.475	TN
313	698385.734	1430315.616	290.683	TN

314	698385.621	1430313.697	291.719	TN
315	698384.977	1430311.212	291.676	CALLE
316	698383.079	1430304.452	291.586	CALLE
317	698383.893	1430296.548	291.318	TN
318	698383.546	1430293.318	291.443	CERCO
319	698405.714	1430314.008	292.981	TN 1+200
320	698404.881	1430309.957	292.88	TN
321	698404.615	1430308.58	293.032	CALLE
322	698403.646	1430301.325	293.031	CALLE
323	698403.687	1430298.973	293.229	TN
324	698403.72	1430297.244	293.783	CERCO
325	698422.086	1430311.498	294.799	TN
326	698421.462	1430309.143	294.404	TN
327	698420.839	1430306.44	294.186	CALLE
328	698419.495	1430299.823	293.989	CALLE
329	698419.157	1430298.061	294.269	TN
330	698419.082	1430296.615	295.299	TN
331	698442.284	1430305.74	296.04	TN
332	698441.994	1430304.352	295.41	TN
333	698441.97	1430303.351	295.491	CALLE
334	698440.895	1430296.398	295.39	CALLE
335	698440.871	1430295.287	295.486	TN
336	698440.744	1430294.264	295.858	TN
337	698459.792	1430303.422	297.789	TN
338	698459.486	1430302.235	296.686	TN
339	698459.294	1430301.08	296.347	CALLE
340	698458.139	1430294.191	296.344	CALLE
341	698457.746	1430291.81	296.49	TN
342	698457.531	1430290.676	297.477	TN



343	698479.122	1430297.974	296.758	PI-8
344	698447.544	1430302.004	295.851	AUX-1
345	698480.594	1430309.425	296.772	CERCO
346	698480.82	1430306.944	297.427	TN
347	698479.604	1430301.221	298.149	TN
348	698479.621	1430301.222	298.151	TN
349	698479.351	1430299.651	297.112	TN
350	698479.192	1430298.808	296.727	CALLE
351	698478.405	1430290.075	296.747	CALLE
352	698478.217	1430289.102	297.15	TN
353	698477.995	1430287.81	298.976	TN
354	698477.841	1430286.747	300.417	TN
355	698498.502	1430305.834	295.765	CERCO
356	698498.861	1430299.299	296.506	TN
357	698498.57	1430296.234	296.538	CALLE
358	698497.316	1430288.581	296.436	CALLE
359	698497.118	1430285.632	296.791	TN
360	698497.074	1430282.338	297.325	TN
361	698496.608	1430280.17	298.363	CERCO
362	698515.94	1430304.531	295.229	CERCO
363	698515.407	1430301.122	296.041	TN
364	698514.581	1430296.398	295.612	TN
365	698513.718	1430294.481	295.855	CALLE
366	698512.039	1430287.579	295.922	CALLE
367	698511.666	1430285.404	295.964	TN
368	698511.121	1430281.354	296.393	TN
369	698510.772	1430279.147	296.995	TN
370	698510.541	1430277.317	297.851	CERCO
371	698534.202	1430301.15	293.986	CERCO
372	698533.737	1430298.517	294.758	TN

373	698533.322	1430294.989	294.626	TN
374	698533.161	1430292.641	294.815	CALLE
375	698532.1	1430284.719	294.902	CALLE
376	698531.917	1430283.296	294.914	TN
377	698531.774	1430280.331	295.255	TN
378	698531.704	1430277.552	295.937	TN
379	698531.934	1430274.678	297.245	CERCO
380	698549.919	1430300.544	293.589	CERCO
381	698549.141	1430296.3	294.185	TN
382	698548.249	1430291.111	294.335	CALLE
383	698546.277	1430282.877	294.381	CALLE
384	698545.875	1430280.688	294.564	TN
385	698545.187	1430277.028	295.148	TN
386	698544.98	1430275.831	295.874	TN
387	698568.744	1430298.475	293.455	CERCO
388	698568.271	1430292.909	294.052	TN
389	698567.997	1430290.9	293.709	TN
390	698567.824	1430288.581	293.862	CALLE
391	698566.654	1430279.545	293.967	CALLE
392	698566.403	1430274.17	294.018	TN
393	698566.632	1430272.21	294.518	TN
394	698566.273	1430269.817	294.699	CERCO
395	698585.445	1430290.721	293.491	CERCO 1+400
396	698584.669	1430287.196	293.991	TN
397	698584.704	1430285.903	294.042	CALLE
398	698582.017	1430277.414	294.026	CALLE
399	698581.405	1430274.465	293.827	TN
400	698580.654	1430271.545	294.24	TN
401	698579.436	1430267.715	293.576	CERCO

402	698602.827	1430285.129	294.102	TN
403	698602.3	1430282.994	294.367	CALLE
404	698600.833	1430275.61	294.454	CALLE
405	698601.49	1430271.789	294.126	TN
406	698601.855	1430273.989	294.394	PI-9
407	698620.88	1430284.422	294.504	TN
408	698620.218	1430282.848	294.956	TN
409	698619.855	1430280.522	295.034	CALLE
410	698618.984	1430274.076	295.06	CALLE
411	698619.161	1430271.709	294.789	TN
412	698637.563	1430289.483	293.993	CERCO
413	698637.974	1430287.388	295.226	TN
414	698637.698	1430286.467	295.926	TN
415	698637.648	1430284.571	296.031	TN
416	698637.234	1430280.89	296.166	TN
417	698636.915	1430277.979	296.243	CALLE
418	698635.932	1430272.2	296.193	CALLE
419	698635.773	1430269.762	296.125	TN
420	698635.145	1430268.562	295.953	TN
421	698656.867	1430287.04	296.229	CERCO
422	698657.056	1430284.194	297.33	TN
423	698656.819	1430282.266	298.085	TN
424	698656.471	1430277.064	297.898	TN
425	698656.153	1430275.283	297.92	CALLE
426	698655.38	1430269.595	298.006	CALLE
427	698654.886	1430266.332	297.96	TN
428	698673.267	1430283.087	299.58	TN
429	698672.89	1430281.233	300.266	TN
430	698671.99	1430277.435	299.919	TN
431	698671.504	1430274.96	299.324	TN

432	698671.204	1430273.231	299.429	CALLE 1+500
433	698669.443	1430267.94	299.407	CALLE 1+500
434	698669.327	1430265.123	299.379	TN
435	698669.398	1430261.91	299.464	TN
436	698690.718	1430282.448	301.348	CERCO
437	698690.774	1430281.128	302.269	TN
438	698689.714	1430273.474	301.641	TN
439	698689.656	1430270.967	301.602	CALLE
440	698688.449	1430265.414	301.541	CALLE
441	698687.93	1430263.16	301.295	TN
442	698687.221	1430259.386	301.637	TN
443	698707.09	1430280.083	304.336	CERCO
444	698706.512	1430276.394	303.903	TN
445	698704.757	1430269.205	303.281	CALLE
446	698703.328	1430263.237	303.103	CALLE
447	698703.125	1430259.934	303.133	TN
448	698702.494	1430256.687	303.695	TN
449	698723.173	1430270.029	305.554	TN
450	698723.144	1430268.557	304.676	TN
451	698722.805	1430267.044	305.113	CALLE
452	698721.893	1430260.97	305.116	CALLE
453	698722.106	1430258.83	305.048	TN
454	698721.721	1430256.624	305.177	TN
455	698721.288	1430253.049	306.366	TN
456	698741.073	1430273.626	310.302	CERCO
457	698740.47	1430271.209	309.989	TN
458	698738.808	1430270.147	308.752	TN
459	698739.119	1430268.128	307.39	TN

460	698738.861	1430265.502	306.818	CALLE
461	698737.79	1430259.506	306.853	CALLE
462	698737.566	1430256.728	306.83	TN
463	698736.821	1430254.496	307.839	TN
464	698758.009	1430266.018	309.678	TN
465	698757.851	1430264.656	308.692	TN
466	698757.76	1430262.986	308.766	CALLE 1+600
467	698757.272	1430256.808	308.825	CALLE 1+600
468	698757.351	1430253.661	309.002	TN
469	698774.318	1430263.765	311.204	TN
470	698773.728	1430260.834	310.351	CALLE
471	698772.868	1430254.79	310.339	CALLE
472	698772.599	1430252.054	310.332	TN
473	698792.271	1430263.262	312.984	TN
474	698792.833	1430260.097	312.142	TN
475	698793.112	1430258.433	312.212	CALLE
476	698792.39	1430252.368	312.302	CALLE
477	698792.196	1430249.441	312.383	TN
478	698809.126	1430261.638	314.201	TN
479	698808.447	1430258.805	313.701	TN
480	698807.945	1430256.604	313.598	CALLE
481	698806.689	1430250.625	313.576	CALLE
482	698806.505	1430247.893	313.624	TN
483	698840.846	1430255.246	316.608	PI-10
484	698826.238	1430262.958	316.265	CERCO
485	698826.226	1430258.716	315.804	TN
486	698826.707	1430253.804	315.275	CALLE
487	698825.686	1430248.07	315.138	CALLE

488	698825.448	1430245.621	315.331	TN
489	698825.267	1430242.651	316.07	TN
490	698824.93	1430235.554	316.146	CERCO
491	698844.366	1430259.79	317.192	CERCO
492	698843.01	1430255.184	316.755	TN
493	698842.379	1430251.97	316.568	CALLE
494	698841.473	1430246.264	316.509	CALLE
495	698841.104	1430243.009	316.744	TN
496	698840.984	1430240.851	317.19	TN
497	698839.987	1430233.393	317.178	CERCO
498	698859.541	1430255.874	318.579	CERCO
499	698859.104	1430253.883	318.325	TN
500	698858.727	1430251.245	317.733	TN
501	698858.679	1430249.716	317.618	CALLE
502	698857.471	1430244.087	317.6	CALLE
503	698857.1	1430240.966	317.706	TN
504	698857.422	1430237.601	318.839	TN
505	698857.085	1430230.996	319.371	CERCO
506	698876.998	1430253.403	319.843	CERCO
507	698876.7	1430250.509	319.523	TN
508	698876.304	1430247.476	318.522	CALLE
509	698875.907	1430242.003	318.56	CALLE
510	698875.447	1430239.524	318.914	TN
511	698875.357	1430237.535	319.217	TN
512	698874.146	1430235.132	320.281	TN
513	698873.689	1430228.903	321.104	CERCO
514	698895.247	1430249.169	319.584	TN
515	698894.806	1430245.919	319.298	CALLE
516	698893.847	1430239.799	319.286	CALLE
517	698893.101	1430236.832	319.763	TN

518	698892.295	1430233.648	320.904	TN
519	698890.87	1430229.049	321.15	TN
520	698890.453	1430227.138	321.924	CERCO
521	698913.359	1430250.596	320.674	CERCO
522	698913.002	1430245.897	320.129	TN
523	698912.993	1430243.855	319.91	CALLE
524	698912.381	1430237.751	320.109	CALLE
525	698912.379	1430234.817	320.528	TN
526	698911.678	1430232.49	320.828	TN
527	698910.636	1430229.985	321.808	TN
528	698910.456	1430227.632	321.953	CERCO
529	698929.203	1430243.338	320.475	TN
530	698928.984	1430241.988	320.48	CALLE
531	698927.774	1430235.913	320.632	CALLE 1+800
532	698927.209	1430232.399	321.233	TN
533	698927.33	1430228.926	321.912	TN
534	698927.575	1430226.768	322.648	CERCO
535	699017.617	1430223.379	322.949	PI-11
536	698947.667	1430246.241	321.004	CERCO
537	698947.347	1430241.563	321.346	TN
538	698947.027	1430238.772	321.084	CALLE
539	698945.772	1430231.997	321.326	CALLE
540	698945.57	1430227.895	321.901	TN
541	698944.838	1430223.229	322.858	CERCO
542	698966.408	1430244.084	320.729	CERCO
543	698966.55	1430241.613	321.712	TN
544	698966.17	1430236.066	321.942	CALLE
545	698965.44	1430229.18	322.275	CALLE
546	698965.314	1430226.046	322.208	TN

547	698965.563	1430222.368	323.888	CERCO
548	698986.088	1430241.221	321.763	CERCO
549	698985.906	1430234.115	322.313	CALLE
550	698985.826	1430226.445	322.731	CALLE
551	698985.709	1430223.546	323.114	TN
552	698989.217	1430219.488	326.846	CERCO
553	699002.722	1430239.322	322.802	CERCO
554	699002.433	1430236.596	322.928	TN
555	699002.051	1430232.407	322.708	CALLE
556	699001.765	1430224.445	322.952	CALLE
557	699001.615	1430222.007	323.102	TN
558	699001.481	1430221.074	323.569	TN
559	699001.399	1430220.472	324.244	TN
560	699016.555	1430237.16	323.415	CERCO
561	699016.349	1430233.48	322.91	TN
562	699016.765	1430230.694	322.773	CALLE
563	699016.749	1430222.649	322.853	CALLE
564	699016.614	1430220.109	323.352	TN
565	699016.266	1430218.662	324.963	TN
566	699032.44	1430236.107	323.024	CERCO
567	699032.582	1430233.901	322.886	TN
568	699032.242	1430230.573	322.385	CALLE
569	699032.002	1430223.346	322.563	CALLE
570	699032.095	1430221.304	322.615	TN
571	699032.012	1430218.976	323.562	TN
572	699048.388	1430240.141	322.106	CERCO
573	699048.968	1430237.39	321.973	TN
574	699049.824	1430232.064	321.642	CALLE
575	699051.154	1430225.732	321.749	CALLE
576	699051.842	1430222.625	321.784	TN



577	699051.925	1430221.655	322.654	TN
578	699054.063	1430216.378	326.411	CERCO
579	699065.416	1430243.659	320.468	CERCO
580	699065.485	1430240.057	320.32	TN
581	699065.979	1430235.204	320.539	CALLE
582	699067.263	1430228.133	320.522	CALLE
583	699067.424	1430225.768	320.514	TN
584	699067.599	1430224.968	321.109	TN
585	699067.109	1430220.417	324.32	CERCO
586	699080.804	1430246.78	318.843	CERCO
587	699081.643	1430243.597	318.789	TN
588	699082.938	1430238.302	318.946	CALLE
589	699084.197	1430231.562	319.02	CALLE
590	699085.01	1430228.74	319.194	TN
591	699085.552	1430224.915	320.484	CERCO
592	699098.158	1430250.471	317.144	CERCO
593	699098.153	1430246.692	317.253	TN
594	699099.322	1430241.839	317.387	CALLE 2+000
595	699099.962	1430235.31	317.329	CALLE 2+000
596	699100.929	1430230.975	317.676	TN
597	699101.53	1430228.377	317.964	CERCO
598	699111.334	1430253.358	316.101	CERCO
599	699112.696	1430248.026	316.164	TN
600	699113.017	1430244.802	315.996	CALLE
601	699115.056	1430238.552	315.842	CALLE
602	699115.688	1430235.864	316.005	TN
603	699116.308	1430231.591	316.414	CERCO
604	699127.874	1430256.82	314.473	CERCO

605	699128.696	1430251.495	314.628	TN
606	699128.964	1430248.326	314.356	CALLE
607	699129.907	1430241.786	314.438	CALLE
608	699130.309	1430238.371	314.757	TN
609	699130.702	1430234.468	314.824	CERCO
610	699141.951	1430259.939	313.273	CERCO
611	699143.223	1430254.601	313.205	TN
612	699144.187	1430251.896	312.995	CALLE
613	699146.182	1430245.838	312.814	CALLE
614	699147.246	1430242.76	312.896	TN
615	699148.346	1430238.298	312.758	CERCO
616	699159.145	1430263.372	311.944	CERCO
617	699159.634	1430259.245	311.685	TN
618	699160.348	1430256.19	311.512	CALLE
619	699162.133	1430249.617	311.364	CALLE
620	699162.993	1430245.95	311.579	TN
621	699163.829	1430241.968	311.265	CERCO
622	699176.704	1430266.222	311.148	CERCO
623	699176.631	1430262.22	310.243	TN
624	699177.037	1430260.496	310.227	CALLE
625	699178.448	1430253.697	310.145	CALLE
626	699178.866	1430249.648	310.415	TN
627	699179.624	1430246.792	309.909	CERCO

Fuente: Elaboración Propia.

**Fotografía N°1. Levantamiento topográfico Emp. WanaWana – Barrio Pablo Úbeda.**

Inicio de Levantamiento,  
estación 0+000.



Detalle de Talud, estación  
0+460



Derecho de vía, estación  
0+300



Orilla de calle, estación  
0+700



Fuente: Tomada en el sitio por los sustentantes.



**Fotografía N°2. Levantamiento topográfico Emp. WanaWana – Barrio Pablo Úbeda.**

Ancho de calle, entrada  
Barrio Pablo Úbeda,  
estación 1+800



Límites de propiedad,  
estación 1+900



Estación final, levantamiento de curvas de nivel



Fuente: Tomada en el sitio por los sustentantes.

**Tabla N°63. Resumen de ensayos de laboratorio estación 0+600 – 1+200.**

Estación	Intervalo de profundidad	Espesor del estrato cm	N° Sondeo	N° Muestra	% QUE PASA							LL	LP	IP	Clasificación AASHTO M 145	%G	%A	%F	Descripción
					3"	2"	3/4"	N°.4	N°.10	N°.40	N°.200								
<b>km 0+600</b>	0-40	40	7	1	100	100	73	47	37	23	13	0	0	0	A-1-a (0)	53	34	13	Fragmentos de piedra, grava y arena (Excelente a Bueno)
km 0+600	40-150	110	7	2	100	100	98	95	92	88	81	75	46	29	A-7-5 (20)	5	14	81	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 0+700</b>	0-5	5	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
km 0+700	5-150	145	8	2	100	100	97	95	92	87	84	62	37	25	A-7-5 (18)	5	11	84	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 0+840</b>	0-30	30	9	1	100	93	68	44	33	20	13	32	21	11	A-2-6	56	31	13	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 0+840	30-110	80	9	2	100	100	100	100	99	98	91	63	47	16	A-7-5 (14)	0	9	91	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
km 0+840	110-150	40	9	3	100	100	100	99	99	96	84	60	45	15	A-7-5 (14)	1	15	84	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 0+900</b>	0-20	20	10	1	100	100	75	49	39	29	21	34	22	12	A-2-6 (0)	51	28	21	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 0+900	20-40	20	10	2	100	100	83	51	40	29	22	40	23	17	A-2-6 (0)	49	29	22	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 0+900	40-80	40	10	3	100	100	92	83	77	70	64	64	41	23	A-7-5 (14)	17	19	64	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
km 0+900	80-150	70	10	4	100	100	98	96	95	93	89	77	42	35	A-7-5 (20)	4	7	89	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 1+000</b>	0-30	30	11	1	100	100	69	41	31	19	12	36	23	13	A-2-6 (0)	59	29	12	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 1+000	30-90	60	11	2	100	100	100	96	89	76	64	55	43	12	A-7-5 (9)	4	32	64	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
km 1+000	90-150	60	11	3	100	100	100	100	99	97	85	63	48	15	A-7-5 (14)	0	15	85	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 1+100</b>	0-20	20	12	1	100	100	98	92	86	79	73	38	22	16	A-6 (10)	8	19	73	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
km 1+100	20-150	130	12	2	100	100	95	90	84	76	71	67	41	26	A-7-5 (17)	10	19	71	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 1+200</b>	0-30	30	13	1	100	100	71	42	31	21	14	34	22	12	A-2-6 (0)	58	28	14	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 1+200	30-150	120	13	2	100	100	97	93	87	79	75	70	50	20	A-7-5 (16)	7	18	75	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)

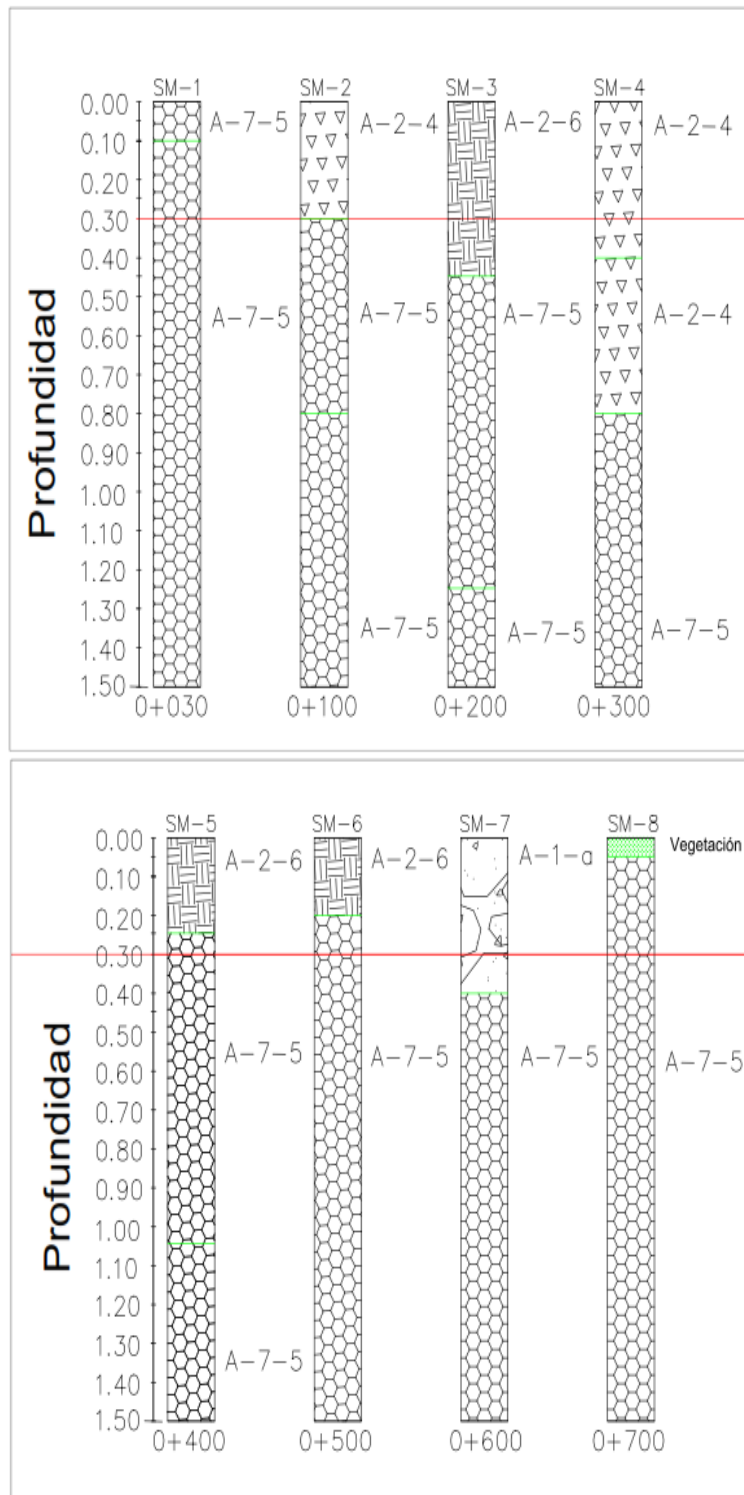
Fuente: Informe Geotécnico. Ingenieros Consultores S.A.

**Tabla N°64. Resumen de ensayos de laboratorio estación 1+200 a la 2+105.**

Estación	Intervalo de profundidad	Espesor del estrato cm	N° Sondeo	N° Muestra	% QUE PASA							LL	LP	IP	Clasificación AASHTO M 145	%G	%A	%F	Descripción
					3"	2"	3/4"	N°.4	N°.10	N°.40	N°.200								
<b>km 1+300</b>	0-30	30	14	1	100	93	72	39	30	19	12	70	49	21	A-2-7 (0)	61	27	12	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 1+300	30-50	20	14	2	100	93	85	51	36	25	19	41	24	17	A-2-7 (0)	49	32	19	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 1+300	50-150	100	14	3	100	100	96	95	95	91	82	71	50	21	A-7-5 (16)	5	13	82	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 1+400</b>	0-50	50	15	1	100	100	75	49	36	22	14	34	22	12	A-2-6 (0)	51	35	14	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 1+400	50-150	100	15	2	100	100	100	91	89	85	82	73	48	25	A-7-5 (18)	9	9	82	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 1+500</b>	0-30	30	16	1	100	88	52	27	20	12	7.6	40	25	15	A-2-6 (0)	73	19.4	7.6	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 1+500	30-150	120	16	2	100	100	97	79	75	71	64	61	45	16	A-7-5 (11)	21	15	64	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 1+600</b>	0-10	10	17	1	100	82	45	20	15	9.9	6.1	34	22	12	A-2-6 (0)	80	13.9	6.1	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 1+600	44,105	10	17	2	100	100	100	98	94	85	79	72	43	29	A-7-5 (20)	2	19	79	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
km 1+600	20-150	130	17	3	100	100	100	99	96	88	82	67	50	17	A-7-5 (15)	1	17	82	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 1+700</b>	0-10	10	18	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
km 1+700	10-150	140	18	2	100	100	100	95	92	88	85	80	45	35	A-7-5 (20)	5	10	85	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 1+800</b>	0-10	10	19	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
km 1+800	10-150	140	19	2	100	100	98	92	89	85	68	61	44	17	A-7-5 (13)	8	24	68	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 1+900</b>	0-50	50	20	1	100	100	100	99	99	95	88	72	51	21	A-7-5 (16)	1	11	88	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
km 1+900	50-150	100	20	2	100	100	100	100	99	95	87	65	41	24	A-7-5 (18)	0	13	87	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 2+000</b>	0-32	32	21	1	100	91	68	43	33	22	16	35	20	15	A-2-6 (0)	57	27	16	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)
km 2+000	32-150	118	21	2	100	100	100	98	95	90	87	84	51	33	A-7-5 (20)	2	11	87	Suelos Arcillosos (Regular a Pobre)
<b>km 2+105</b>	0-50	50	22	1	100	92	66	36	26	16	11	39	26	13	A-2-6 (0)	64	25	11	Grava y Arenas Limosas y arcillas (Excelente a bueno)

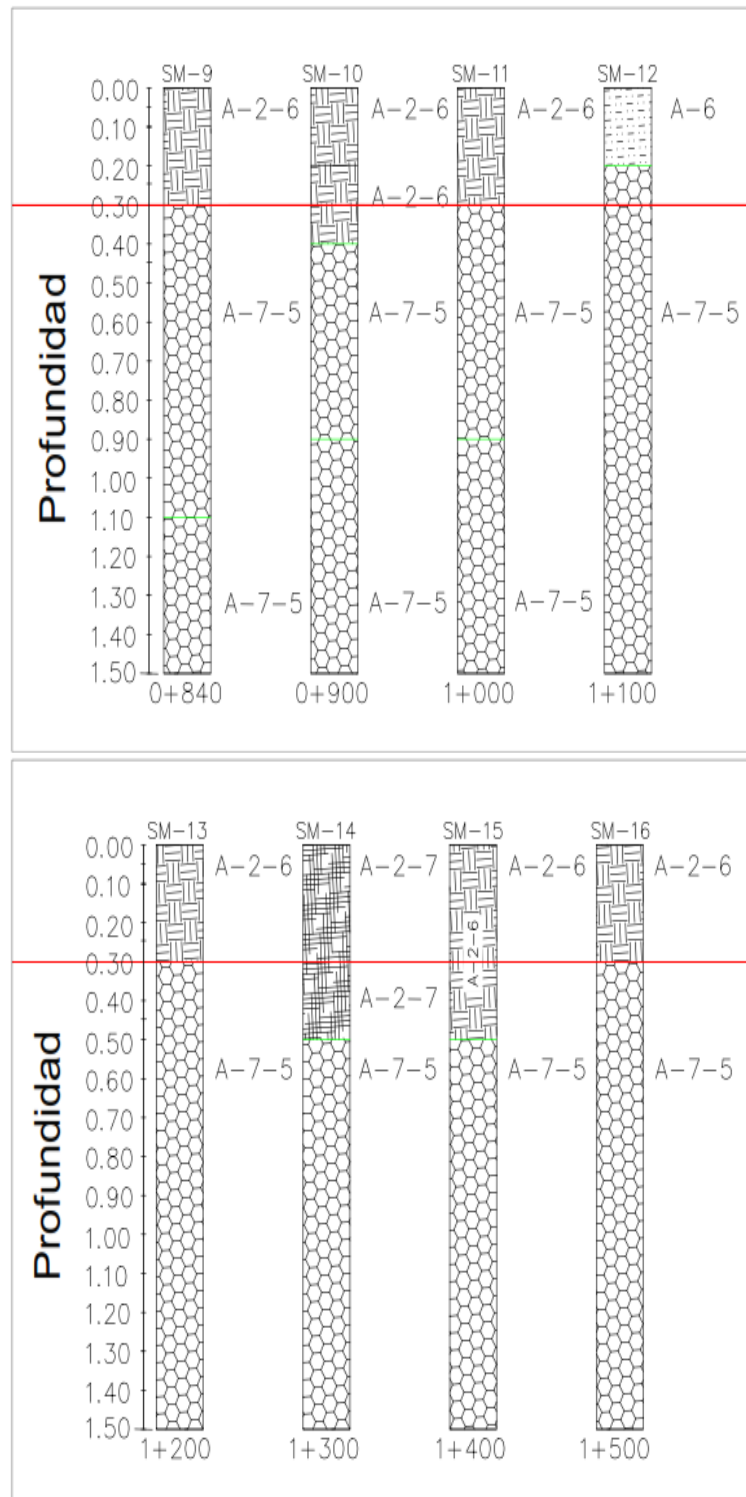
Fuente: Informe Geotécnico. Ingenieros Consultores S.A.

**Figura N°11. Columna estratigráfica estacionamiento 0+030 a 0+700.**



Fuente: Elaboración propia, mediante el programa Auto CAD 2018.

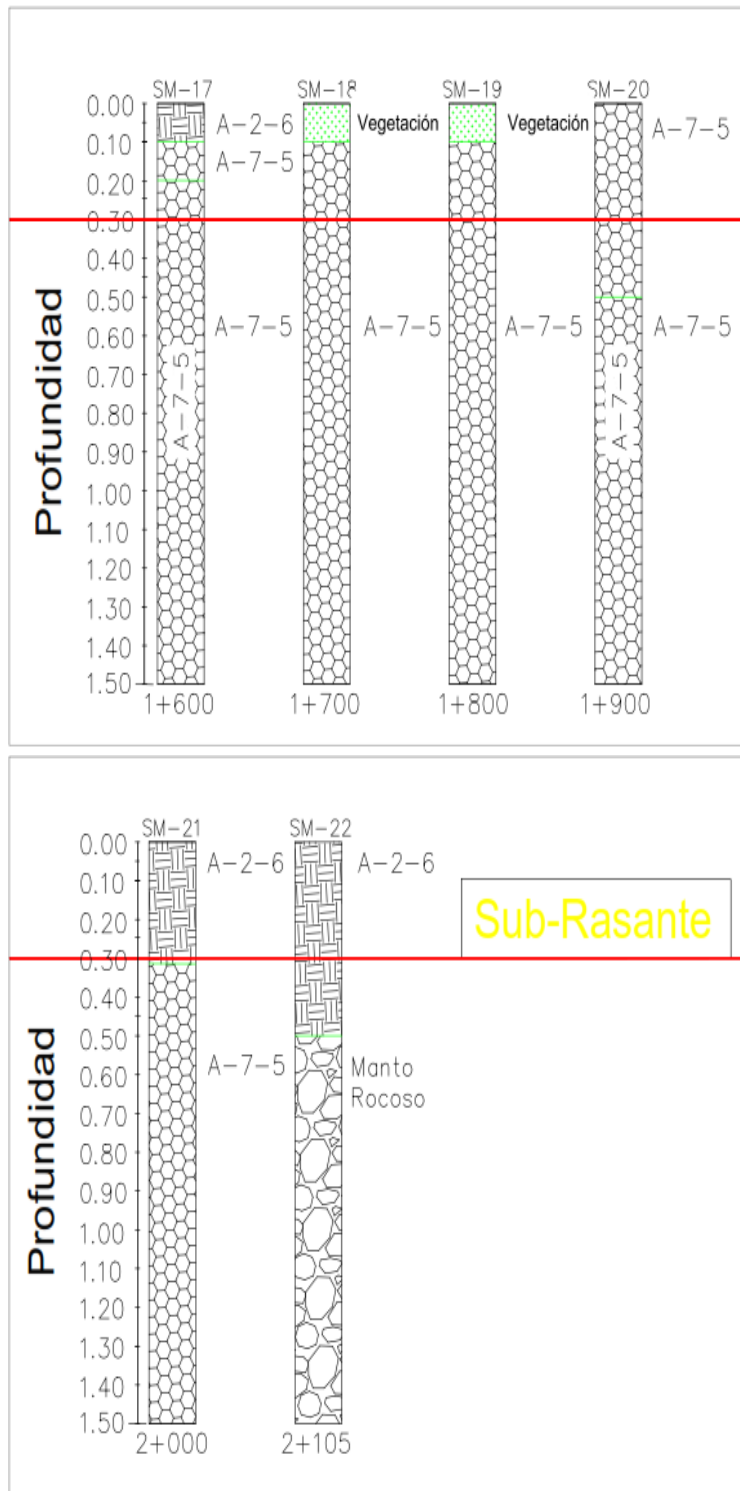
**Figura N°12. Columna estratigráfica de la estación 0+840 a 1+500.**



Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.






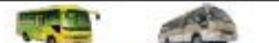












**Figura N°13. Columna estratigráfica de la estación 1+600 a 2+105.**



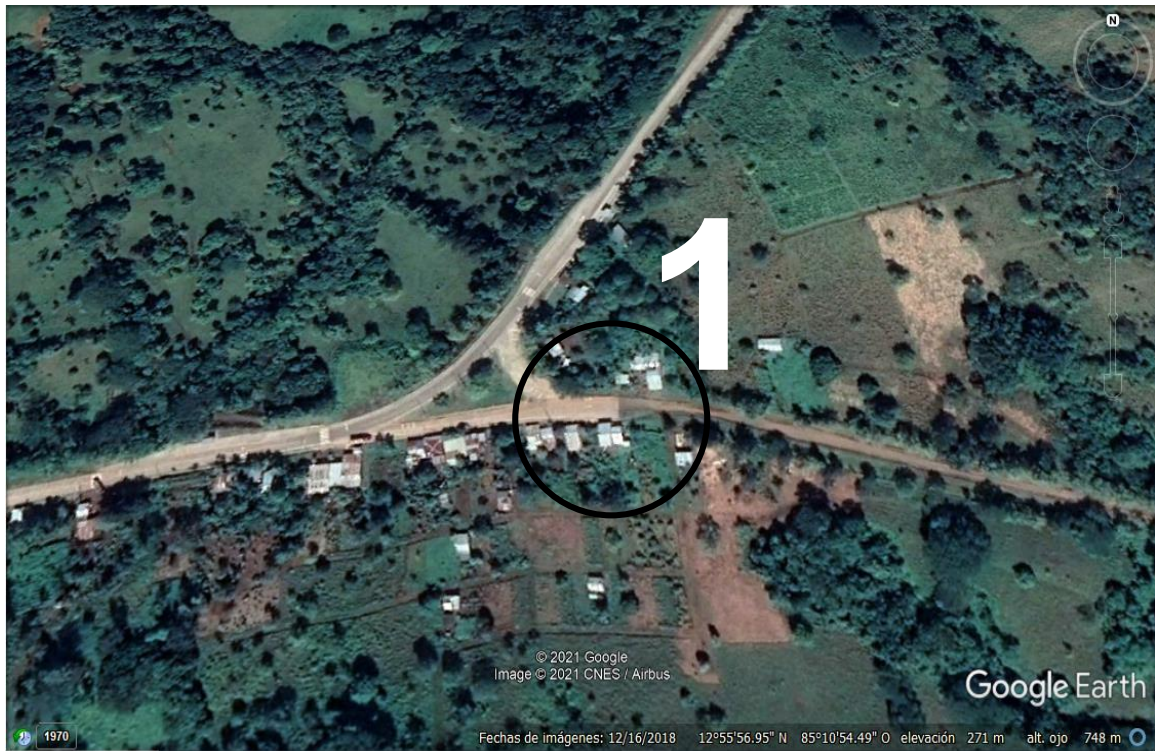
Fuente: Elaboración propia. AutoCAD.

**Figura N°14. Clasificación vehicular**

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

Fuente: Anuario de tráfico del MTI, año 2019, pág. 26.

**Figura N°15. Única estación de conteo en Empalme WanaWana, estación 0+000 km.**



Fuente: Imagen Satelital, Google Earth

## Figura N°16. Producto Interno Bruto expresados en millones de córdobas, periodo comprendido del 2006-2019

Cuadro - Table 1-1

**Producto interno bruto: enfoque de la producción - Gross domestic product: production approach**  
(millones de córdobas constantes - millions of 2006 cordobas)

Conceptos - Concepts	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 <sup>p/</sup>	2019 <sup>e/</sup>
<b>Producto interno bruto - Gross domestic product</b>	<b>118,837.7</b>	<b>124,870.3</b>	<b>129,160.5</b>	<b>124,907.7</b>	<b>130,416.3</b>	<b>138,654.2</b>	<b>147,661.4</b>	<b>154,936.8</b>	<b>162,351.3</b>	<b>170,131.6</b>	<b>177,894.9</b>	<b>186,133.6</b>	<b>178,780.6</b>	<b>171,845.9</b>
Más - Plus: Impuestos netos a los productos - Net taxes on products	11,248.0	12,069.1	12,352.6	12,049.3	12,186.8	13,385.7	14,561.4	14,973.4	15,643.0	16,986.3	17,884.3	18,455.6	16,951.4	16,633.1
<b>Total industrias - All industries</b>														
Agricultura - Agriculture	9,495.3	10,693.4	10,068.2	10,481.3	10,754.8	11,580.4	11,852.9	11,534.4	11,495.9	11,518.9	12,486.6	13,366.4	13,819.3	14,333.7
Pecuario - Livestock	7,067.9	7,932.3	8,787.6	8,403.2	8,610.0	8,897.6	8,207.6	8,022.7	8,322.8	8,241.9	8,412.9	9,571.3	9,179.8	9,622.7
Silvicultura y extracción de madera - Forestry	1,440.4	1,485.6	1,518.1	1,504.0	1,513.9	1,602.6	1,632.8	1,643.5	1,658.8	1,659.6	1,619.4	1,624.9	1,566.8	1,543.8
Pesca y acuicultura - Fishing	891.2	1,008.6	1,178.3	1,344.0	1,415.8	1,358.6	1,523.5	1,601.7	1,883.6	1,752.3	1,711.8	1,874.7	2,145.4	1,833.6
Explotación de minas y canteras - Mining and quarrying	1,089.1	1,048.9	1,013.0	978.7	1,483.5	1,864.6	2,068.4	2,531.6	2,541.1	2,533.8	2,740.8	2,535.8	2,593.6	2,973.6
Industrias manufactureras - Manufacturing	16,153.7	16,758.0	16,988.3	16,057.3	17,486.2	19,207.7	21,170.6	22,554.0	24,260.9	24,863.2	25,774.9	26,511.4	26,649.0	26,695.8
Construcción - Construction	5,791.7	5,304.6	4,486.4	3,179.2	2,632.6	2,917.0	3,706.2	4,113.2	4,186.6	5,251.2	5,179.0	5,623.4	4,748.5	2,939.2
Electricidad - Electricity	1,223.2	1,183.4	1,662.1	1,699.1	1,765.9	1,715.7	2,076.1	2,566.7	2,890.3	2,943.9	2,971.7	2,838.6	2,961.8	2,915.5
Agua - Water supply	550.9	542.4	587.5	667.9	683.0	936.6	984.5	973.6	983.6	1,011.1	1,067.2	1,095.7	1,134.7	1,155.4
Comercio - Trade	12,803.2	13,314.5	14,137.4	13,545.9	14,597.8	16,073.6	17,218.0	17,724.0	18,402.8	19,548.4	20,485.9	21,438.7	18,779.1	17,091.6
Hoteles y restaurantes - Hotels and restaurants	3,446.9	3,727.3	3,606.3	3,600.6	3,801.8	3,986.8	4,283.1	4,537.1	4,655.0	4,835.8	5,139.8	5,898.0	4,706.6	4,867.8
Transporte y comunicaciones - Transport and communication	7,128.1	8,326.7	8,836.0	8,764.5	10,299.5	11,601.0	12,294.2	12,962.8	13,517.6	14,560.0	15,586.6	16,488.3	15,798.7	14,575.2
Intermediación financiera y servicios conexos - Financial intermediation	5,796.7	5,467.7	5,807.5	4,985.1	4,613.3	4,425.1	4,612.9	5,011.4	5,592.8	5,981.0	6,490.3	6,771.2	6,397.4	5,333.1
Propiedad de vivienda - Housing	9,881.6	10,042.5	10,149.3	10,325.0	10,234.2	10,379.0	10,527.1	10,853.7	11,129.6	11,479.8	11,850.6	12,268.1	12,124.4	11,954.3
Administración pública y defensa - Public administration and defense	6,081.4	6,332.7	6,974.9	7,329.6	7,671.6	8,052.7	8,392.4	8,867.5	9,250.9	9,560.3	10,189.3	10,759.8	10,750.1	10,799.3
Enseñanza - Education	5,329.9	5,458.9	5,706.9	5,730.4	5,744.8	5,916.0	6,105.0	6,197.6	6,327.7	6,557.3	6,792.5	6,983.4	7,124.8	7,203.6
Salud - Health	2,817.5	2,980.7	3,078.4	2,972.3	2,981.4	2,999.7	3,154.2	3,571.7	3,642.2	3,859.3	4,045.1	4,316.6	4,434.0	4,475.5
Otros servicios - Other services	10,600.8	11,193.1	12,567.9	12,621.0	13,787.0	13,497.9	14,353.1	15,105.5	16,610.8	17,349.2	18,209.6	18,496.2	18,137.0	17,232.0

p/ : Preliminar - Preliminary.

e/ : Estimado - Estimated.

Nota - Note : De 2008-2019, la discrepancia estadística entre la sumatoria de los componentes está explicada por la aplicación de la metodología de encadenamiento para obtener los valores constantes - From 2008 - 2019, the statistical discrepancy between the sum of the components is explained by the application of the chaining methodology to obtain the constant values.

Fuente - Source : BCN - Central Bank of Nicaragua.

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2019, Banco Central de Nicaragua. Pág. 9



## Figura N°17. Tasa de crecimiento del PIB, periodo 2007-2019

Cuadro - Table I-2

**Producto interno bruto: enfoque de la producción - Gross domestic product: production approach**  
(tasas de crecimiento - Growth rate)

10

Conceptos - Concepts	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 <sup>p/</sup>	2019 <sup>e/</sup>
<b>Producto interno bruto - Gross domestic product</b>	<b>5.1</b>	<b>3.4</b>	<b>(3.3)</b>	<b>4.4</b>	<b>6.3</b>	<b>6.5</b>	<b>4.9</b>	<b>4.8</b>	<b>4.8</b>	<b>4.6</b>	<b>4.6</b>	<b>(4.0)</b>	<b>(3.9)</b>
Más - Plus: Impuestos netos a los productos - Net taxes on products	7.3	2.3	(2.5)	1.1	9.8	8.8	2.8	4.5	8.6	5.3	3.2	(8.2)	(1.9)
<b>Total industrias - All industries</b>													
Agricultura - Agriculture	12.6	(5.8)	4.1	2.6	7.7	2.4	(2.7)	(0.3)	0.2	8.4	7.0	3.4	3.7
Pecuario - Livestock	12.2	10.8	(4.4)	2.5	3.3	(7.8)	(2.3)	3.7	(1.0)	2.1	13.8	(4.1)	4.8
Silvicultura y extracción de madera - Forestry	3.1	2.2	(0.9)	0.7	5.9	1.9	0.7	0.9	0.0	(2.4)	0.3	(3.6)	(1.5)
Pesca y acuicultura - Fishing	13.2	16.8	14.1	5.3	(4.0)	12.1	5.1	17.6	(7.0)	(2.3)	9.5	14.4	(14.5)
Explotación de minas y canteras - Mining and quarrying	(3.7)	(3.4)	(3.4)	51.6	25.7	10.9	22.4	0.4	(0.3)	8.2	(7.5)	2.3	14.7
Industrias manufactureras - Manufacturing	3.7	1.4	(5.5)	8.9	9.8	10.2	6.5	7.6	2.5	3.7	2.9	0.5	0.2
Construcción - Construction	(8.4)	(15.4)	(29.1)	(17.2)	10.8	27.1	11.0	1.8	25.4	(1.4)	8.6	(15.6)	(38.1)
Electricidad - Electricity	(3.3)	40.5	2.2	3.9	(2.8)	21.0	23.6	12.6	1.9	0.9	(4.5)	4.3	(1.6)
Agua - Water supply	(1.5)	8.3	13.7	2.3	37.1	5.1	(1.1)	1.0	2.8	5.5	2.7	3.6	1.8
Comercio - Trade	4.0	6.2	(4.2)	7.8	10.1	7.1	2.9	3.8	6.2	4.8	4.7	(12.4)	(9.0)
Hoteles y restaurantes - Hotels and restaurants	8.1	(3.2)	(0.2)	5.6	4.9	7.4	5.9	2.6	3.9	6.3	14.8	(20.2)	3.4
Transporte y comunicaciones - Transport and communication	16.8	6.1	(0.8)	17.5	12.6	6.0	5.4	4.3	7.7	7.1	5.8	(4.2)	(7.7)
Intermediación financiera y servicios conexos - Financial intermediation	(5.7)	6.2	(14.2)	(7.5)	(4.1)	4.2	8.6	11.6	6.9	8.5	4.3	(5.5)	(16.6)
Propiedad de vivienda - Housing	1.6	1.1	1.7	(0.9)	1.4	1.4	3.1	2.5	3.1	3.2	3.5	(1.2)	(1.4)
Administración pública y defensa - Public administration and defense	4.1	10.1	5.1	4.7	5.0	4.2	5.7	4.3	3.3	6.6	5.6	(0.1)	0.5
Enseñanza - Education	2.4	4.5	0.4	0.3	3.0	3.2	1.5	2.1	3.6	3.6	2.8	2.0	1.1
Salud - Health	5.8	3.3	(3.4)	0.3	0.6	5.2	13.2	2.0	6.0	4.8	6.7	2.7	0.9
Otros servicios - Other services	5.6	12.3	0.4	9.2	(2.1)	6.3	5.2	10.0	4.4	5.0	1.6	(1.9)	(5.0)

p/ : Preliminar - Preliminary.

e/ : Estimado - Estimated.

Nota - Note : Tasas de variación año de referencia 2006 - Figures based reference years 2006.

Fuente - Source : BCN - Central Bank of Nicaragua.

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2019, Banco Central de Nicaragua. Pág. 10

**Fotografía N°3. Aforo vehicular en la única estación de conteo, en el Emp. WanaWana, estación 0+000 km.**



Fuente: Tomada en el sitio por los sustentantes.

**Tabla N°65. Resultados obtenidos de las curvas horizontales, curva N° 1.**

Elemento	Resultados de Curva	Longitud	Rumbo	PC	PI	PT
L1		328.63	S75° 58' 43.90E"	EST-0+000.00		EST-0+328.63
				E-697273.9555		E-697592.7942
				N-1430361.8271		N-1430282.2067
C1	Gc - 8.185 (d)					
	R - 140.00 m					
	$\Delta$ - 35.9543 (d)					
	LC - 87.853 m					
	L. Cuerda - 86.419 m					
	T - 45.427 m					
	E - 7.186 m					
	S – 2.703 m					
	e – 7.708 %					
	LT – 42.924 m					
	N – 16.70 m					
				EST-0+328.63	EST-0+374.06	EST-0+416.48
				E-697592.7942	E-697636.8678	E-697679.0068
				N-1430282.2067	N-1430271.2006	N-1430288.1688

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°66. Resultados obtenidos, curva N° 2.**

Elemento	Resultados de Curva	Longitud	Rumbo	PC	PI	PT
<b>L2</b>		82.61	N68° 04' 00.65E"	EST-0+416.48		EST-0+499.09
				E-697679.0068		E-697755.6335
				N-1430288.1688		N-1430319.0240
<b>C2</b>	Gc - 5.209 (d)					
	R - 220.00 m					
	$\Delta$ - 17.2772 (d)					
	LC - 66.340 m					
	L. Cuerda - 66.089 m			EST-0+499.09	EST-0+532.51	EST-0+565.43
	T - 33.423 m			E-697755.6335	E-697786.6378	E-697819.9509
	E - 2.524 m			N-1430319.0240	N-1430331.5085	N-1430334.2216
	S – 1.799 m					
	e – 6.117 %					
	LT – 34.064 m					
	N – 21.051 m					

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla N°67. Resultados obtenidos, curva N° 3.**

Elemento	Resultados de Curva	Longitud	Rumbo	PC	PI	PT
<b>L3</b>		178.6	N85° 20' 38.49E"	EST-0+565.43		EST-0+744.03
				E-697819.9509		E-697997.9597
				N-1430334.2216		N-1430348.7189
<b>C3</b>	Gc - 3.016 (d)					
	R - 380.00 m					
	$\Delta$ - 11.9856 (d)					
	LC - 79.492 m					
	L. Cuerda - 79.347 m			EST-0+744.03	EST-0+783.92	EST-0+823.52
	T - 39.891 m			E-697997.9597	E-698037.7195	E-698077.2850
	E - 2.088 m			N-1430348.7189	N-1430351.9570	N-1430346.8677
	S – 1.114 m					
	e – 4.058 %					
	LT – 22.598 m					
	N – 31.733 m					

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°68. Resultados obtenidos, curva N° 4.**

Elemento	Resultados de Curva	Longitud	Rumbo	PC	PI	PT
<b>L4</b>		931.63	S82° 40' 13.24E"	EST-0+823.52		EST-1+755.15
				E-698077.2850		E-699001.3054
				N-1430346.8677		N-1430228.0118
<b>C4</b>	Gc - 5.730 (d)			EST-1+755.15 E-699001.3054 N-1430228.0118	EST-1+790.74 E-699036.6068 N-1430223.4710	EST-1+825.60 E-699071.3073 N-1430231.3878
	R - 200.00 m					
	$\Delta$ - 20.1815 (d)					
	LC - 70.447 m					
	L. Cuerda - 70.083 m					
	T - 35.592 m					
	E - 3.142 m					
	S - 1.958 m					
<b>L5</b>	e - 6.495 %	109.64	N77° 08' 53.21E"	EST-1+825.60 E-699071.3073 N-1430231.3878		EST-1+935.24 E-699178.2031 N-1430255.7758
	LT - 36.169 m					
	N - 19.826					

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°69. Cálculo de Curva vertical 1, curva en columpio**

<b>Pendiente de entrada</b>		<b>-5.63</b>	<b>%</b>
<b>Pendiente de Salida</b>		<b>-0.50</b>	<b>%</b>
<b>Coeficiente de fricción longitudinal</b>		<b>0.33</b>	
<b>Velocidad de diseño</b>		<b>60</b>	<b>KPH</b>
<b>Estacionamiento EST. PIV</b>		<b>0+180.090</b>	<b>m</b>
<b>Elevación ELEV. PIV</b>		<b>268.745</b>	<b>m</b>
<b>G = P1-P2</b>	<b>-5.130</b>		
<b>K</b>	<b>18</b>		
<b>L = K * G</b>	<b>-92.340</b>		
<b>Distancia de visibilidad de parada</b>			
<b>D1 = 0.278 * V * t</b>	<b>0.278</b>		
<b>V = 60 KPH</b>	<b>60</b>		
<b>t = 2.5 s</b>	<b>2.500</b>		
<b>D1</b>	<b>41.700</b>		
<b>Distancia de frenado</b>			
<b>V</b>	<b>60</b>		
<b>f</b>	<b>0.330</b>		
<b>G</b>	<b>-0.050</b>		
<b>D2</b>	<b>50.850</b>		
<b>DVP</b>	<b>92.550</b>		
<b>Longitud mínima de la Curva</b>			
<b>L</b>	<b>108.71</b>		
<b>L &gt; DVP</b>	Se propone una longitud de curva de 150	<b>150</b>	
<b>EST. PCV = EST. PIV - L/2</b>	<b>105.090</b>		
<b>EST. PTV = EST. PIV + L/2</b>	<b>255.090</b>		
<b>Elv. PCV = Elv. PIV - P1 * L/2</b>	<b>272.968</b>		
<b>Elv. PTV = Elv. PIV + P2 * L/2</b>	<b>268.370</b>		
<b>Externa</b>			
<b>E = (P2-P1/200L)*(L/2)^2</b>	<b>0.868</b>		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°70. Cálculo de Curva vertical 2, curva en columpio.**

<b>Pendiente de entrada</b>		<b>-0.5</b>	<b>%</b>
<b>Pendiente de Salida</b>		7.47	%
<b>Coeficiente de fricción longitudinal</b>		0.33	
<b>Velocidad de diseño</b>		60	KPH
<b>Estacionamiento EST. PIV</b>		682.16	m
<b>Elevación ELEV. PIV</b>		266.235	m
<b>G = P1-P2</b>	-7.97		
<b>K</b>	18		
<b>L = K * G</b>	-143.46		
<b>Distancia de visibilidad de parada</b>			
<b>D1 = 0.278 * V * t</b>	0.278		
<b>V = 60 KPH</b>	60		
<b>t = 2.5 s</b>	2.5		
<b>D1</b>	41.7		
<b>Distancia de frenado</b>			
<b>V</b>	60		
<b>F</b>	0.33		
<b>G</b>	-0.08		
<b>D2</b>	56.62		
<b>DVP</b>	98.32		
<b>Longitud mínima de la Curva</b>			
<b>L</b>	190.61		
<b>L &gt; DVP</b>	Se propone una longitud de curva de 150	150	
<b>EST. PCV = EST. PIV - L/2</b>	607.16		
<b>EST. PTV = EST. PIV + L/2</b>	757.16		
<b>Elv. PCV = Elv. PIV - P1 * L/2</b>	266.610		
<b>Elv. PTV = Elv. PIV + P2 * L/2</b>	271.838		
<b>Externa</b>			
<b>E = (P2-P1/2L)*Pi*Ld</b>	1.494		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°71. Cálculo de curva vertical 3, curva en cresta.**

<b>Pendiente de entrada</b>	<b>7.47</b>	<b>%</b>	
<b>Pendiente de Salida</b>	2.96	%	
<b>Coeficiente de fricción longitudinal</b>	0.33		
<b>Velocidad de diseño</b>	60	KPH	
<b>Estacionamiento EST. PIV</b>	960	m	
<b>Elevación ELEV. PIV</b>	287	m	
<b>G = P1-P2</b>	4.51		
<b>K</b>	11		
<b>L = K * G</b>	49.61		
<b>Distancia de visibilidad de parada</b>			
<b>D1 = 0.278 * V * t</b>	0.278		
<b>V = 60 KPH</b>	60		
<b>t = 2.5 s</b>	2.5		
<b>D1</b>	41.7		
<b>Distancia de frenado</b>			
<b>V</b>	60		
<b>F</b>	0.33		
<b>G</b>	0.05		
<b>D2</b>	37.79		
<b>DVP</b>	79.49		
<b>Longitud mínima de la Curva</b>			
<b>L</b>	70.49		
<b>L &gt; DVP</b>	Se propone una longitud de curva de 350	350	
<b>EST. PCV = EST. PIV - L/2</b>	785		
<b>EST. PTV = EST. PIV + L/2</b>	1135		
<b>Elv. PCV = Elv. PIV - P1 * L/2</b>	273.928		
<b>Elv. PTV = Elv. PIV + P2 * L/2</b>	292.180		
<b>Externa</b>			
<b>E = (P2-P1/2L)*Pi*Ld</b>	-1.973		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°72. Calculo de curva vertical 4, curva en columpio.**

<b>Pendiente de entrada</b>		<b>2.96</b>	<b>%</b>
<b>Pendiente de Salida</b>		<b>8.00</b>	<b>%</b>
<b>Coeficiente de fricción longitudinal</b>		<b>0.33</b>	
<b>Velocidad de diseño</b>		<b>60</b>	<b>KPH</b>
<b>Estacionamiento EST. PIV</b>		<b>1395.07</b>	<b>m</b>
<b>Elevación ELEV. PIV</b>		<b>299.896</b>	<b>m</b>
<b>G = P1-P2</b>	-5.04		
<b>K</b>	18		
<b>L = K * G</b>	-90.72		
<b>Distancia de visibilidad de parada</b>			
<b>D1 = 0.278 * V * t</b>	0.278		
<b>V = 60 KPH</b>	60		
<b>t = 2.5 s</b>	2.5		
<b>D1</b>	41.7		
<b>Distancia de frenado</b>			
<b>V</b>	60		
<b>F</b>	0.33		
<b>G</b>	-0.05		
<b>D2</b>	50.69		
<b>DVP</b>	92.39		
<b>Longitud mínima de la Curva</b>			
<b>L</b>	106.42		
<b>L &gt; DVP</b>	Se propone una longitud de curva de 150	150	
<b>EST. PCV = EST. PIV - L/2</b>	1320.07		
<b>EST. PTV = EST. PIV + L/2</b>	1470.07		
<b>Elv. PCV = Elv. PIV - P1 * L/2</b>	297.676		
<b>Elv. PTV = Elv. PIV + P2 * L/2</b>	305.896		
<b>Externa</b>			
<b>E = (P2-P1/2L)*Pi*Ld</b>	0.945		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°73. Calculo de curva vertical 5, curva en cresta.**

<b>Pendiente de entrada</b>		<b>8</b>	<b>%</b>
<b>Pendiente de Salida</b>		<b>-2.47</b>	<b>%</b>
<b>Coeficiente de fricción longitudinal</b>		<b>0.33</b>	
<b>Velocidad de diseño</b>		<b>60</b>	<b>KPH</b>
<b>Estacionamiento EST. PIV</b>		<b>1695.49</b>	<b>m</b>
<b>Elevación ELEV. PIV</b>		<b>323.929</b>	<b>m</b>
<b>G = P1-P2</b>	<b>10.47</b>		
<b>K</b>	<b>11</b>		
<b>L = K * G</b>	<b>115.17</b>		
<b>Distancia de visibilidad de parada</b>			
<b>D1 = 0.278 * V * t</b>	<b>0.278</b>		
<b>V = 60 KPH</b>	<b>60</b>		
<b>t = 2.5 s</b>	<b>2.5</b>		
<b>D1</b>	<b>41.7</b>		
<b>Distancia de frenado</b>			
<b>V</b>	<b>60</b>		
<b>F</b>	<b>0.33</b>		
<b>G</b>	<b>0.10</b>		
<b>D2</b>	<b>32.60</b>		
<b>DVP</b>	<b>74.30</b>		
<b>Longitud mínima de la Curva</b>			
<b>L</b>	<b>143.00</b>		
<b>L &gt; DVP</b>	Se propone una longitud de curva de 420	<b>420</b>	
<b>EST. PCV = EST. PIV - L/2</b>	<b>1485.49</b>		
<b>EST. PTV = EST. PIV + L/2</b>	<b>1905.49</b>		
<b>Elv. PCV = Elv. PIV - P1 * L/2</b>	<b>307.129</b>		
<b>Elv. PTV = Elv. PIV + P2 * L/2</b>	<b>318.742</b>		
<b>Externa</b>			
<b>E = (P2-P1/2L)*Pi*Ld</b>	<b>-5.497</b>		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°74. Factores equivalentes de cargas para pavimentos flexibles, ejes simples,  $p_t = 2.0$ , SN = 5**

*Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples,  $p_t = 2.0$*

Carga por eje		SN					
(kips)	(KN)	1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	pulg 3.0 (76.2)	(mm) 4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	17.8	.002	.003	.002	0.002	.002	.002
6	26.7	.009	.012	.011	0.10	.009	.009
8	35.6	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	44.5	.075	.085	.090	.085	0.79	.076
12	53.4	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	62.3	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	71.2	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.0	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.5	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	142.4	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	151.3	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	160.0	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	178.0	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	186.9	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	204.7	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	213.6	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93, capítulo 3, pág. 22.



**Tabla N°75. Factores equivalentes de cargas para pavimentos flexibles, ejes tándem,  $p_t = 2.0$ , SN = 5**

*Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem,  $p_t = 2.0$*

Carga por eje (kips)	(KN)	SN					
		1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	pulg 3.0 (76.2)	(mm) 4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267.0	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	275.9	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	284.7	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	293.6	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	302.5	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	311.4	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	320.3	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	329.2	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347.0	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	364.8	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	373.7	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	382.6	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	391.5	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	400.4	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93, capítulo 3, pág. 23.

**Tabla N°76. Factores equivalentes de cargas para pavimentos flexibles, ejes tridem,  $p_t = 2.0$ , SN = 5**

*Tabla 3.3. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tridem,  $p_t = 2.0$*

Carga por eje		SN					
(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	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001	.0001
6	26.7	.0004	.0004	.0003	.0003	.0003	.0003
8	35.6	.0009	.0010	.0009	.0008	.0007	.0007
10	44.5	.002	.002	.002	.002	.002	.001
12	53.4	.004	.004	.004	.003	.003	.003
14	62.3	.006	.007	.007	.006	.006	.005
16	71.2	.010	.012	.012	.010	.009	.009
18	80.0	.016	.019	.019	.017	.015	.015
20	89.0	.024	.029	.029	.026	.024	.023
22	97.9	.034	.042	.042	.038	.035	.034
24	106.8	.049	.058	.060	.055	.051	.048
26	115.7	.068	.080	.083	.077	.071	.068
28	124.6	.093	.107	.113	.105	.098	.094
30	133.5	.125	.140	.149	.140	.131	.126
32	142.4	.164	.182	.194	.184	.173	.167
34	151.3	.213	.233	.248	.238	.225	.217
36	160.0	.273	.294	.313	.303	.288	.279
38	169.1	.346	.368	.390	.381	.364	.353
40	178.0	.434	.456	.481	.473	.454	.443
42	186.9	.538	.560	.587	.580	.561	.548
44	195.8	.662	.682	.710	.705	.686	.673
46	204.7	.807	.825	.852	.849	.831	.818
48	213.6	.976	.992	1.015	1.014	.999	.987
50	222.5	1.17	1.18	1.20	1.20	1.19	1.18
52	231.4	1.40	1.40	1.42	1.42	1.41	1.40
54	240.3	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
56	249.2	1.95	1.95	1.93	1.93	1.94	1.94
58	258.1	2.29	2.27	2.24	2.23	2.25	2.27
60	267.0	2.67	2.64	2.59	2.57	2.60	2.63
62	275.9	3.10	3.06	2.98	2.95	2.99	3.04
64	284.7	3.59	3.53	3.41	3.37	3.42	3.49
66	293.6	4.13	4.05	3.89	3.83	3.9	3.99
68	302.5	4.73	4.63	4.43	4.34	4.42	4.54
70	311.4	5.40	5.28	5.03	4.90	5.00	5.15
72	320.3	6.15	6.00	5.68	5.52	5.63	5.82
74	329.2	6.97	6.79	6.41	6.20	6.33	6.56
76	338.1	7.88	7.67	7.21	6.94	7.08	7.36
78	347.0	8.88	8.63	8.09	7.75	7.90	8.23
80	355.9	9.98	9.69	9.05	8.63	8.79	9.18
82	364.8	11.2	10.8	10.1	9.60	9.80	10.2
84	373.7	12.5	12.1	11.2	10.6	10.8	11.3
86	382.6	13.9	13.5	12.5	11.8	11.9	12.5
88	391.5	15.5	15.5	13.8	13.0	13.2	13.8
90	400.4	17.2	16.6	15.3	14.3	14.5	15.2

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93, capítulo 3, pág. 24.