

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES

UCC

CAMPUS MATAGALPA.



Coordinación: Ingeniería e Informática

Culminación de Pensum

Proyecto de Graduación para optar al título de grado Ingeniería Civil.

Proyecto de investigación:

Estudio técnico y socioeconómico para el diseño geométrico y estructural de un tramo vial de 2 km con pavimento articulado en la comunidad Las Tejas # 2, departamento de Matagalpa, durante el segundo cuatrimestre del 2025”

Elaborado por:

Br. Mondoy Urbina Jarling Francisca

Br. Gutiérrez López Cristhian Magdiel

Tutor técnico y metodológico:

Ing. Christopher Vargas Lumbi

Matagalpa, 07 de noviembre del 2025.

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES

UCC

CAMPUS MATAGALPA.



Coordinación: Ingeniería e Informática

Culminación de Pensum

Proyecto de Graduación para optar al título de grado Ingeniería Civil.

Proyecto de investigación:

“Estudio técnico y socioeconómico para el diseño geométrico y estructural de un tramo vial de 2 km con pavimento articulado en la comunidad Las Tejas # 2, departamento de Matagalpa, durante el segundo cuatrimestre del 2025”

Elaborado por:

Br. Mondoy Urbina Jarling Francisca

Br. Gutiérrez López Cristhian Magdiel

Tutor técnico y metodológico:

Ing. Christopher Vargas Lumbi

Matagalpa, 07 de noviembre del 2025.

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES
CAMPUS MATAGALPA



COORDINACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL
Proyecto de Graduación
AVAL DEL DOCENTE

Ing. Christopher Vargas Lumbi tiene a bien:

CERTIFICAR

Que el proyecto final titulado: ***“Estudio técnico y socioeconómico para el diseño geométrico y estructural de un tramo vial de 2km con pavimento articulado en la comunidad de las Tejas #2, departamento de Matagalpa, durante el segundo cuatrimestre del 2025”***, elaborado por los estudiantes **Br. Cristhian Magdiel Gutiérrez López, Br. Jarling Francisca Mondoy Urbina** ha sido debidamente dirigido y supervisado por el suscrito, en cumplimiento de los lineamientos académicos establecidos por la Universidad de Ciencias Comerciales (UCC), sede Matagalpa.

Verificado que el referido proyecto cumple con los **requisitos académicos, metodológicos y técnicos** establecidos por la normativa institucional vigente, se **autoriza su presentación y defensa** ante el tribunal evaluador correspondiente.

Para los fines que estime pertinentes, se extiende la presente en la ciudad de **Matagalpa**, a los **tres días del mes de noviembre del año dos mil veinticinco**.

Tutor Técnico y Metodológico
Ing. Christopher Vargas Lumbi

DEDICATORIA

Principalmente dedicada a DIOS padre celestial por tener misericordia por nosotros y sostenerlos de pies no dejarlos vencer en los momentos difíciles durante el proceso de nuestra etapa universitaria. También se la dedicamos a las personas que amamos con el corazón a nuestros padres: Juana López Rodríguez, José Filemón Gutiérrez y Paula del Carmen Urbina, Humberto Méndez, ejemplo vivo de inspiración y mucho sacrificio, y fuente de ayuda emocional.

Dedico estos 5 años a nuestros maestros por su apoyo incondicional hacia nosotros, a nuestros amigos y compañeros que formaron parte de este viaje.

Cristhian Magdiel Gutiérrez López.

Jarling Francisca Urbina Mondoy.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente, agradezco a Dios por la vida, salud, inteligencia y darme la perseverancia y de este modo culminar nuestro proyecto de graduación

Agradecemos a nuestro tutor técnico y metodológico ing. Christopher Vargas Lumbi, ya que, sin su apoyo técnico, crítico y emocional este proyecto no hubiera sido posible.

Agradecemos también al ing. Milton Calero Calderón por su ayuda esforzada e incondicional.

Cristhian Magdiel Gutiérrez López

Jarling Francisca Urbina Mondoy

- i. Carta aval de tutor
- ii. Dedicatoria
- iii. Agradecimientos

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO	2
1.1 Antecedentes y Contexto Del Problema	2
1.1.2 Antecedentes Internacionales	2
1.1.3 Antecedentes Nacionales	3
1.1.4 Antecedentes Locales	4
1.2 Objetivos.	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos.	5
1.3 Descripción del Problema y Preguntas de Investigación.	6
1.4 Justificación.....	8
1.5 Alcances y Limitaciones del Proyecto.....	9
1.5.1 Alcances	9
1.5.1.1 Estudio Socioeconómico De La Comunidad:.....	9
1.5.1.2 Diagnóstico Del Estado Actual Del Camino:	9
1.5.1.3 Diseño Geométrico Vial:	9
1.5.1.4 Uso Del Software CIVIL 3D Para El Diseño Geométrico Vial:	9
1.5.2 Limitaciones Del Proyecto	11
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	12
2.1 Estado del Arte.....	12

2.2 Marco Conceptual y Teórico	15
2.2.1 Estudio Socioeconómico:	15
2.2.2 Estudio de Transito	15
2.2.2.1 Aforo Vehicular:	16
2.2.2.2. Tránsito Promedio Diurno Semanal (TPDIS).....	17
2.2.2.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).	17
2.2.2.4 Factores Utilizados Para El Cálculo Del TPDA.....	18
2.2.2.5 Factores Estacionales:	18
2.2.2.6 Tasas de crecimiento.....	19
2.2.2.7 Clasificación de las Carreteras Regionales.	21
2.2.2.8 Proyección de tránsito.	23
2.2.2.9 Factor de Ejes Equivalentes (F´ESAL).	25
2.2.2.10 Tránsito de Diseño (TD).	25
2.2.2.11 Ejes Equivalentes (ESAL O W18).....	26
2.2.2.12 Factor de Distribución por Dirección (Fd).	27
2.2.2.13 Factor por Distribución por Carril (fc).....	28
2.2.2.14 Factor de Crecimiento (FC).	28
2.2.2.15 Período de Diseño (PD).....	29
2.2.3 Estudio Topográfico	30
2.2.3.1 Planimetría.	30
2.2.3.2 Ángulos Horizontales.....	30
2.2.3.3 Pendiente del Relieve del Terreno.	31
2.2.3.4 Perfiles Topográficos.....	32
2.2.3.5 Curvas de Nivel.	32
2.2.4 Estudios de Suelos Para el Diseño de Pavimento	32
2.2.4.1 Clasificación de los Suelos AASHTO.	34

2.2.4.2 California Bearing Ratio (CBR).....	35
2.2.5 Método AASHTO 93.....	36
2.2.5.1 Serviciabilidad.....	37
2.2.5.2 Confiabilidad.....	37
2.2.5.3. Módulo de Resiliencia (MR).....	39
2.2.5.4 Cálculo del CBR de Diseño: CBR (California Bearing Ratio).....	40
2.2.5.5 Número Estructural Asumido (SN).	40
2.2.5.6 Coeficiente de Capa (a1, a2, a3).....	40
2.2.5.7 Coeficiente de Drenaje (m):.....	41
2.2.5.8 Factor de Equivalencia (F´ESAL).	41
2.2.5.9 Desviación Estándar (So).....	42
2.2.5.10 Período de Diseño.	42
2.2.5.11 Elementos de la Estructura de Pavimento Articulado.....	42
2.2.6 Diseño Geométrico Vial.....	46
2.2.6.1 Velocidad.....	46
2.2.6.2 Alineamiento Horizontal.....	53
2.3 Marco Legal.....	63
2.3.1 Reglamento del Sistema Vial para Nicaragua.	63
2.4. Marco Contextual, Institucional.....	67
2.4.1 Marco contextual	67
2.4.2 Marco Institucional.....	68
CAPÍTULO III. MARCO METODOLOGICO.....	74
3.1 Tipo De Investigación y de Proyecto.	74
3.2 Área de Estudio: Macro y Micro Localización.....	75
3.2.1 Macro Localización.....	75
3.2.2 Micro Localización.....	76
3.3 Unidades de análisis: Población y muestra.	77

3.3.1 Población:	77
3.3.2 Muestra:	77
3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	78
3.5 Confiabilidad y Validez de los Instrumentos	79
3.5.1 Validación de instrumentos.	79
3.5.1.1 Alpha de Cronbach.....	79
3.6 Procesamiento de Datos y Análisis de la Información	81
CAPÍTULO IV: PROYECTO	82
4.1 Identificación del Proyecto.	82
4.1.1 Diagnóstico de la Situación Actual.	82
4.1.1.1 Diagnóstico del Área de Influencia.	86
4.1.1.2 Diagnóstico de Involucrados.....	86
4.1.2 Definición del problema: Causas y efecto	90
4.1.2.1 Definición del problema central.	90
4.1.2.2 Análisis de Causas.	90
4.1.2.3 Análisis de Efectos	93
4.1.3 Objetivo del Proyecto: medios y Fines.	95
4.1.3.1 Definición del Objetivo Central.	95
4.1.3.2 Análisis de medios del proyecto	96
4.1.3.3 Análisis de fines del proyecto.	97
4.1.4 Alternativas de Solución	99
4.1.4.1 Identificación de Acciones.	99
4.1.4.2 Planeamiento de Alternativas.	100
4.2 Formulación de Proyecto.	101
4.2.1 Análisis de la Demanda.	101
4.2.1.1 Caracterización de los Usuarios del Proyecto.	101
4.2.1.2 Aforo vehicular.....	101

4.2.1.3 Composición del Tráfico.	103
4.2.1.4 Asolación de Estaciones.....	106
4.2.1.5 Definición del TPDA.....	106
4.2.1.6 Factores de Ajuste.....	106
4.2.1.7 Proyección de la Demanda.....	110
4.2.1.8 Producto Interno Bruto (PIB).	113
4.2.1.9 Crecimiento Poblacional.	114
4.2.2 Análisis de la Oferta	115
4.2.3 Análisis Técnico de las Alternativas.	118
4.2.3.1 Tamaño o Características Técnica de Alternativas.	118
4.2.4 Estudio de Suelos.....	118
4.2.4.1 Investigación de la fuente de materiales.....	123
4.2.4.2 Determinación del CBR de Diseño.	124
4.2.5 Diseño de Pavimento.....	127
4.2.5.1 Consideraciones del Diseño AASHTO-93:	127
4.2.5.1.1 Carga de Ejes Simples Equivalentes.	127
4.2.5.1.2 Confiabilidad.	127
4.2.5.1.3 Desviación Estándar (So).....	130
4.2.5.1.4 Serviciabilidad.....	130
4.2.5.1.5 Coeficiente de Drenaje.	131
4.2.5.2 Cálculo del CBR de diseño.....	132
4.2.5.3 Cálculo de Espesores.....	133
4.2.5.4 Espesores Finales de Diseño.	135
4.2.6. Diseño Geométrico	137
4.2.6.1 Características del camino existente.	137

4.2.6.2 Vehículo de Diseño.....	139
4.2.6.3 Clasificación Funcional.....	139
4.2.6.4 Velocidad de Diseño.....	140
4.2.6.5 Curvas de Transición.	140
4.2.6.6 Radio Máximo de la Curva de Transición	141
4.2.6.7 Radios mínimos y grados máximos de curvas.	142
4.2.7. Carga de diseño	143
4.2.5 Elementos de la vía.....	146
4.2.6 La tecnología para el proceso de construcción.....	146
4.2.7 Análisis de Riesgo a Desastres.	148
4.2.7.1 Conceptos claves.	150
4.2.7.2 Análisis de desplazamiento.	150
4.2.7.3 Análisis de Vulnerabilidad.	150
4.2.7.4 Valoración del impacto ambiental	151
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN .	152
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
ANEXOS	159
Planos del Proyecto.....	171

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Base de datos relacionados a nuestro estudio.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2 Investigaciones relacionadas a nuestro estudio.....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3 Clasificación de las carreteras según TPDA</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 4 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 5 Niveles de confiabilidad (R) en función del tipo de caminos.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 6 Valores de Zr en función de la confiabilidad R</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 7 Capacidad del drenaje para remover la humedad.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 8 Especificaciones de materiales para base</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 9 Especificaciones de materiales para subbase.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 10 Especificaciones de materiales para sub rasante</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 11 Velocidades de diseño en KPH, en función de volúmenes de tránsito y del tipo de terreno</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 12 Dimensiones de vehículos de diseño</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 13 Distancia mínima para carreteras rurales de dos carriles.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 14 Radios máximos para el uso de curvas de transición.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 15 Leyes reguladoras de construcción.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 16 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 17 Listado de causas del problema.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 18 conversión de Causas a medios</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 19 Efectos vs fines del proyecto.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 20 Resumen del aforo vehicular de los días consecutivos.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 21 Factores de ajustes estación de mayor cobertura ENTRADA AL INCAE - EL CRUCERO.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 22 Cálculo del TPDA</i>	<i>109</i>
<i>Tabla 23 Tasa de crecimiento de promedio geométrico.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 24 Datos de TPDA histórico estación de corta duración Ent. El Guayacán – Matagalpa.....</i>	<i>111</i>
<i>Tabla 25 Proyección del TPDA</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 26 Producto interno bruto de Nicaragua (PIB 2024).....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 27 Datos históricos del crecimiento poblacional de Nicaragua.....</i>	<i>114</i>

<i>Tabla 28 Matriz de Condiciones de Transitabilidad de la Zona de Estudio</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 29 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales..</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 30 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales..</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 31 Sondeos efectuados y resultados de ensayos (1er Parte).</i>	<i>120</i>
<i>Tabla 32 Sondeos efectuados y resultados de ensayos (2da Parte)</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 33 Características de los Bancos de materiales.....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 34 Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 35 Niveles de Confiabilidad R en Función del Tipo de Carretera</i>	<i>128</i>
<i>Tabla 36 Valores de Zr en función de la confiabilidad.....</i>	<i>129</i>
<i>Tabla 37 Desviación Estándar Dependiendo de las Condiciones de Servicio</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 38 Factores de Serviciabilidad.</i>	<i>130</i>
<i>Tabla 39 Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 40 Porcentaje del Tiempo que el Pavimento está Expuesto a Niveles de Humedad Cercanos a la Saturación.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 41 Tabla Correlación entre el CBR Y Módulo Resiliente para Sub rasante.</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 42: Espesores Mínimos Sugeridos para Base granular.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 43 Espesores de Diseño</i>	<i>135</i>
<i>Tabla 44 Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales..</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 45 Factores de sobre elevación según localización de la vía.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 46 Dimensiones de los vehículos de diseño.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 47 Longitud deseable de la curva de transición</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 48 Reporte para el diseño del alineamiento vertical estación 0+.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 49 Reporte para el diseño del alineamiento vertical.....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 50 Criterios para periodo de diseño segun la ASSTHO - 93</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 51 Cálculo de ESALS de diseño</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 52 Actividades para la realización del proyecto.....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 53 Reducción de daño se implementará medidas de prevención y mitigación.</i>	<i>149</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Componentes de una estructura de pavimento articulado</i>	<i>45</i>
<i>Figura 2 Ilustración de distancia de visibilidad de parada</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3 Distancia de rebase para carretera de dos carriles</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4 criterios para sobre ancho de calzada.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5 Ilustración de sobre ancho de curvas.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 6 Componentes de la curva circular simple.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 7 Sección típica de cuneta</i>	<i>57</i>
<i>Figura 8 Elementos de una curva vertical</i>	<i>59</i>
<i>Figura 9 Distancia visual de parada de diseño de curvas en columpio</i>	<i>60</i>
<i>Figura 10 Ilustración visibilidad de una curva vertical cóncava o columpio.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 11 Macro localización del sitio del proyecto</i>	<i>75</i>
<i>Figura 12 Micro localización del sitio del proyecto</i>	<i>76</i>
<i>Figura 13 Validación de encuesta a través de SPSS.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 14 Estadística de grado de confiabilidad a través de SPSS</i>	<i>80</i>
<i>Figura 15 Grafico de estado actual de la carretera a través de encuesta</i>	<i>83</i>
<i>Figura 16 Gráfico de barra frecuencia de uso del tramo de carretera</i>	<i>84</i>
<i>Figura 17 Grafico de barra, principales actividades económicas de la comunidad</i>	<i>85</i>
<i>Figura 18 Comunidades beneficiadas con el tramo de carretera</i>	<i>88</i>
<i>Figura 19 Diagramas variables del diagnóstico del área de influencia.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 20 Árbol de causas</i>	<i>92</i>
<i>Figura 21 Árbol de efecto.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 22 Objetivo central del proyecto.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 23 Árbol de medios</i>	<i>99</i>
<i>Figura 24 Composición de tráfico comunidad Las Tejas #2.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 25 Conteo vehicular en la estación 0+000 en Las Tejas #2.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 26 Composición de tráfico comunidad Las Tejas #2.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 27 TPDA Histórico en la estación de corta duración Ent. El Guayacán – Matagalpa.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 28 Ilustración de inventarios de obras de drenaje existente.....</i>	<i>116</i>

<i>Figura 29 Gráfico Selección del CBR de Diseño.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 30 Gráfico Obtención de los números estructurales (SN)</i>	<i>136</i>
<i>Figura 31 Gráfico espesores de capas finales</i>	<i>137</i>

INDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1 formato de encuesta hoja 1</i>	160
<i>Anexo 2 formato de encuesta hoja 2</i>	161
<i>Anexo 3 formato de encuesta hoja 3</i>	162
<i>Anexo 4 Tabla de operacionalización de variables</i>	163
<i>Anexo 5 Dia 1 de recolección de datos a través de aforo vehicular estación 1+400</i>	165
<i>Anexo 6 Dia 3 en la recolección de datos a través de aforo vehicular estación</i> <i>1+400</i>	165
<i>Anexo 7 Estado de la carpeta de rodamiento estación 1+450</i>	166
<i>Anexo 8 Recopilación de datos de la población de la comunidad, área de</i> <i>estadística del SILAIS MATAGALPA.</i>	166
<i>Anexo 9 Producción de frijol</i>	167
<i>Anexo 10 Puente de una sola vía en la estación 1+038</i>	167
<i>Anexo 11 Actividad vehicular en la zona camioneta de una cabina</i>	168
<i>Anexo 12 Actividad vehicular de la zona bus de transporte publico</i>	168
<i>Anexo 14 Levantamiento topográfico primer día</i>	169
<i>Anexo 13 Actividad económica de la zona camión de carga C2</i>	169
<i>Anexo 15 Levantamiento topográfico con estación total segundo día</i>	169
<i>Anexo 16 Aplicación de encuesta comunidad Las Tejas #2</i>	170

RESUMEN

El siguiente documento, titulado “Estudio técnico y socioeconómico para el diseño geométrico y estructural de un tramo vial de 2 km con pavimento articulado en la comunidad Las Tejas # 2, departamento de Matagalpa, durante el segundo cuatrimestre del 2025”, aborda el deterioro de la infraestructura vial en zonas rurales como un factor que limita la movilidad y el desarrollo económico de las comunidades. El objetivo principal fue realizar un estudio técnico y socioeconómico para diseñar un tramo con pavimento articulado como alternativa de bajo costo y fácil mantenimiento. La metodología de la investigación utiliza un enfoque mixto, combinando análisis cuantitativos con herramientas cualitativas para aplicar el método de diseño AASHTO 1993, estudios de tránsito, análisis geotécnicos y caracterización de materiales, obteniéndose un tránsito de diseño de 301,680 ESALs, una confiabilidad del 80%, desviación estándar de 0.45 y un CBR de la subrasante de 17.6% equivalente a un módulo resiliente de 12,647 psi. Asimismo, el banco de préstamo presentó un valor soporte del 84% y un volumen suficiente para cubrir la obra, determinándose espesores de 10 cm para la carpeta de adoquín, 5 cm para la capa de arena y 10 cm para la base granular, alcanzando un total de 25 cm. Los resultados demuestran que la implementación de pavimento articulado es técnica y económicamente viable para caminos rurales de bajo a mediano tránsito, siempre que se garantice un control riguroso de calidad de materiales y un adecuado sistema de drenaje.

Palabras clave: pavimento articulado, AASHTO 1993, diseño geométrico, infraestructura vial, Matagalpa.

ABSTRACT

The following document, entitled "Technical and socioeconomic study for the geometric and structural design of a 2 km road section with articulated pavement in the community of Las Tejas # 2, department of Matagalpa, during the second quarter of 2025", addresses the deterioration of road infrastructure in rural areas as a factor that limits the mobility and economic development of communities. The main objective was to carry out a technical and socioeconomic study to design a section with articulated pavement as a low-cost and easy-to-maintain alternative. The research methodology uses a mixed approach, combining quantitative analysis with qualitative tools to apply the AASHTO 1993 design method, transit studies, geotechnical analysis and material characterization, obtaining a design transit of 301,680 ESALs, a reliability of 80%, standard deviation of 0.45 and a subgrade CBR of 17.6% equivalent to a resilient modulus of 12,647 psi. Likewise, the loan bank presented a support value of 84% and a sufficient volume to cover the work, determining thicknesses of 10 cm for the cobblestone folder, 5 cm for the sand layer and 10 cm for the granular base, reaching a total of 25 cm. The results show that the implementation of articulated pavement is technically and economically viable for rural roads of low to medium traffic, as long as a rigorous quality control of materials and an adequate drainage system are guaranteed.

Keywords: articulated pavement, AASHTO 1993, geometric design, road infrastructure, Matagalpa.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación aborda el diseño geométrico y estructural de un tramo vial de 2 km en la comunidad Las Tejas #2, departamento de Matagalpa, con el propósito de mejorar la transitabilidad mediante un pavimento articulado de adoquín. El estudio se fundamentó en normativas internacionales como la AASHTO 93 y la SIECA 2011, garantizando un diseño técnico adecuado a las condiciones de la zona rural y al volumen vehicular registrado. El pavimento propuesto se compone de adoquines de 3500 psi con dimensiones de 22 x 24 x 10 cm, una camada de arena de 5 cm y una base granular de 10 cm, diseñado para un periodo de 20 años

La metodología de la investigación utiliza un enfoque mixto, combinando análisis cuantitativos con herramientas cualitativas.

El problema central identificado radica en la deficiente transitabilidad y el mal estado del camino existente, lo que afecta la conectividad y la productividad local. A través de un aforo vehicular en la estación 0+000, se determinó que la circulación diaria es de 229 vehículos por día (TPDA 2025), con una composición significativa de 34% vehículos de carga (C2 y C3), 24% de vehículos de pasajeros, 18% vehículos livianos y 17% motocicletas. Estos valores sirvieron de base para calcular una carga de diseño de 301,680 ESALs, lo que permitió dimensionar el pavimento para soportar la demanda futura y reducir fallas prematuras.

La relevancia del estudio se justifica en el impacto positivo que tendrá en la movilidad, seguridad vial y desarrollo socioeconómico de Las Tejas #2, una comunidad con marcada actividad agrícola (producción de chayote, granadilla, frijol, maíz, entre otros) que depende del transporte eficiente para comercializar sus productos en Matagalpa. La metodología aplicada incluyó levantamientos topográficos, encuestas dirigidas a la población, estudios geotécnicos para determinar el CBR de la subrasante y la simulación del diseño con software Civil 3D.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes y Contexto Del Problema

1.1.2 Antecedentes Internacionales

San José, Costa Rica, (Ureña, 2020), se realizó una tesis con el título "Propuesta metodológica para el diseño y construcción de pavimentos de adoquín", Opta una metodología en donde se enfoca en el diseño de un pavimento flexible con adoquín, como solución a problemas en las épocas de lluvias y su acumulación en las vías, generando con ella, reducciones del nivel de confianza e incorrectos medios de evacuación de aguas.

Tras la realización de la tesis, se obtuvo como conclusiones que:

El empleo de este tipo de pavimentos deberá ser normalmente usados en parqueos o calles de baja transitabilidad vehicular, menor de 1.000.000 ESALs; el diseño sería flexible con el adoquín permeable como carpeta de rodadura, tomando como guía de diseño estructural a (Officials, American Association of State Highway and Transportation, 96) ASSHO96 y 93, y guía hidráulica a normas chilenas.

Canchaje, Huancabamba – Peru, (Bautista, 2021), realizó la tesis titulada “Seguridad Vial – Planificación de diseño geométrico de carreteras el cual busca identificar los puntos de riesgos, verificar el cumplimiento de los parámetros fijados por las normativas vigentes en la elaboración del estudio, con el objetivo de analizar el diseño geométrico proyectado, inicialmente bajo la implementación de medidas que permitan mejorar la seguridad vial.

Provincia de Puno – Peru, (Mamani, 2019), realizó la tesis de grado “Estudio de las causas del deterioro Prematuro del Pavimento Articulado de la plaza de las armas en la localidad del Paucarcolla de la provincia del Puno, donde esta población es la más antigua de la región por su gran importancia es el hecho de que este adoquinada, el cual este estudio se realizó con el objetivo de analizar el deterioro de dicha estructura de pavimento, por lo que fue necesario determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de la subrasante y su base.

1.1.3 Antecedentes Nacionales

Managua, Nicaragua, (Molina & Cerda, 2003), la tesina para optar al título de master titulada “Metodología para el diseño de proyectos viales” , aborda dos aspectos importantes: La planificación y el proceso de diseño, aportando pautas en el criterio para la clasificación de una red vial y haciendo énfasis en el estudio de factibilidad proporcionando indicadores técnicos y económicos que permiten conocer la vialidad de un proyecto vial.

Managua – Nicaragua, (Escorcía Cano , 2013), presentó la monografía titulada “Cálculo del valor patrimonial de la red vial pavimentada de Nicaragua ” donde a través de un estudio de la red vial pavimentada hasta el 2012 de Nicaragua, se pretende dar un preámbulo de su valor en la actualidad con el objetivo de analizar los costos de mantenimientos rutinarios y periódicos de las carreteras.

También calcular el patrimonio de la red vial pavimentada mediante hojas de cálculo electrónica que permita una mejor visualización de estos datos clasificados por departamentos.

Managua, Nicaragua, (Ávila et al., 2015), Elaboró la tesis titulada “Diseño de 1.5 km de pavimento articulado, por el método AASHTO 93, del tramo Las Sabanas – El Ciprián, municipio de Las Sabanas, departamento de Madriz”, donde se investigó una propuesta técnica para mejorar un camino rural deteriorado. El objetivo fue diseñar una estructura de pavimento articulado aplicando el método AASHTO 93, considerando las condiciones de suelo, tránsito y espesor de capas. Entre los beneficios destacan la mejora de la movilidad, la reducción de costos de transporte y el impulso al desarrollo socioeconómico local. Este estudio se relaciona con el tema propuesto, ya que aplica los mismos principios de diseño estructural para pavimentos articulados en zonas rurales. En conclusión, la investigación demostró la viabilidad técnica y económica del pavimento articulado como solución duradera para caminos rurales.

1.1.4 Antecedentes Locales

Terrabona, Matagalpa, (Rodriguez et al., 2024), elaboro la tesis titulada “Diseño de espesores de pavimento para el Proyecto: Empalme Terrabona–Terrabona (6 km)”, en la cual se investigaron las condiciones del suelo y el tránsito vehicular para determinar una estructura de pavimento eficiente. El objetivo fue establecer los espesores adecuados mediante una metodología investigativa que incluyó estudios de campo y ensayos de laboratorio conforme al método AASHTO 93. Entre sus beneficios destacan la mejora de la durabilidad vial, la optimización de costos y el fortalecimiento de la seguridad del transporte rural. Este antecedente se relaciona con el tema propuesto porque aplica un enfoque técnico y metodológico similar al diseño geométrico y estructural en zonas rurales del departamento de Matagalpa. En conclusión, la investigación evidenció que el análisis técnico previo es esencial para garantizar pavimentos duraderos y sostenibles.

Santa Rita, Matagalpa, (Espinoza & Picado., 2022), elaboró la tesis “Diseño geométrico y diseño de pavimento articulado de 1.5 km del tramo vial de la comunidad La Fundadora hacia Santa Enriqueta”, en la que se investigó el diseño geométrico y estructural del pavimento articulado mediante estudios topográficos, de tránsito y geotécnicos, aplicando el método AASHTO 93. El objetivo fue proponer un diseño técnico que garantizara durabilidad y funcionalidad de la vía rural. Los beneficios incluyen mejorar la accesibilidad, reducir costos de mantenimiento y fortalecer la infraestructura vial local. En conclusión, la investigación proporcionó un diseño viable que puede servir de modelo para proyectos similares.

Matagalpa, (Arauz et al. 2018), estudiantes de la carrerade ing. Civil de la Universidad de Ciencias Comerciales – Matagalpa elaboraron el documento “Informe Carretera Matagalpa–Jinotega Km 140–145”, cuyo propósito fue evaluar el estado físico y las condiciones de seguridad del tramo mediante una inspección superficial. El estudio buscó determinar el cumplimiento de las normativas viales nacionales donde se concluyo que estaba en condiciones de transitabilidad aceptables con fisuras superfisales en el ultimo kilometros.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo General.

- Realizar el estudio técnico y socioeconómico para el diseño geométrico y estructural de un tramo vial de 2 km con pavimento articulado en la comunidad Las Tejas # 2, Matagalpa durante el segundo cuatrimestre del 2025.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Evaluar el impacto socioeconómico del actual estado del camino a través de una encuesta aplicada a la población local, para la obtención de datos relacionados a las necesidades de sus habitantes.
- Realizar un estudio de tránsito por medio de un aforo vehicular para la obtención del ESAL´s de diseño mediante el método AASHTO 93.
- Caracterizar las condiciones topográficas y geométricas del terreno mediante levantamiento alti-planimétrico como base para el diseño vial en la comunidad Las Tejas #2.
- Analizar los resultados del estudio geotécnico proporcionados por la Alcaldía de Matagalpa, para el cálculo de valor del California Bearing Ratio (CBR) de la subrasante según la Nic – 2019.
- Dimensionar la estructura de pavimento articulado aplicando el método AASHTO 93 para que garantice la durabilidad y funcionalidad de la vía.
- Emplear los criterios de alineamientos establecidos en las Normas para el Diseño Geométrico de carreteras SIECA 2011, según su clasificación y condiciones topográficas.

1.3 Descripción del Problema y Preguntas de Investigación.

El área en estudio comunidad Las Tejas #2, es una vía que comunica otras comunidades con un alto crecimiento de producción agrícola y por ende económico para el municipio de Matagalpa lo que manifiesta la importancia de una vía en buenas condiciones.

En temporada lluviosa hay sectores donde el agua se estanca debido al poco drenaje y pendiente necesaria para el desagüe, provocando acumulación de lodo, cabe señalar que gran parte de la población en horas tempranas se ve en la necesidad de transportarse a pie debido a la poca cantidad de transporte público y por tanto la movilidad se hace incomoda por el exceso de lodo en la vía afectando de forma negativa a la población. Por otro lado, en la época seca, la circulación constante de vehículos genera grandes cantidades de polvo, lo cual representa un riesgo para la salud de los habitantes que se encuentran a lo largo de la vía, especialmente en niños y adultos mayores, al incrementar los casos de enfermedades respiratorias.

El tramo vial carece de un diseño geométrico funcional y técnico, lo cual aumenta el riesgo de accidentes y el desperfecto mecánico de vehículos, por esta razón, se pretende proponer un diseño de estructura de pavimento articulado considerando y aplicando las normativas de diseño AASHTO-93 y SIECA 2011 para mejorar el flujo vehicular y el crecimiento económico de los pobladores.

De lo antes expuesto se plantearon las siguientes preguntas:

¿Cuál es el impacto socioeconómico con la mejora de la infraestructura vial en la calidad de vida de los habitantes de la comunidad Las Tejas #2?

¿Cómo influye el tipo y volumen vehicular en el diseño estructural del pavimento articulado según el método AASHTO 93?

¿Qué características geométricas y estructurales son necesarias para diseñar un camino adecuado a las condiciones topográficas y de tránsito de la zona?

¿Qué aporte tendrá el estudio geotécnico para el desarrollo de la infraestructura vial?

¿Cuál es la función de las normativas para las dimensiones de la estructura de pavimento articulado?

¿Con que propósito se implementaran los criterios de la normativa sieca2011 en diseño geométrico?

1.4 Justificación

En Nicaragua, la implementación de caminos con pavimento articulado mediante los Módulos Comunitarios de Adoquinado (MCA), promovidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), ha demostrado ser una estrategia eficaz y sostenible, reconocida a nivel internacional por organismos como la DIRCAIBEA (directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica), organismo que aglutina a las autoridades de las Administraciones de Carreteras de 22 países. El desarrollo y mejoramiento de la red vial rural es un factor clave para la integración territorial, el acceso a servicios básicos y el fortalecimiento de las actividades productivas en las comunidades más lejanas (Muzira, 2013).

Este modelo combina soluciones técnicas duraderas, como el uso del adoquín, con la participación activa de las comunidades, promoviendo la inclusión de jóvenes y mujeres, la generación de empleo local y el sentido de pertenencia. La construcción de más de 1,175 km de carreteras bajo este enfoque evidencia su viabilidad y beneficios en términos de sostenibilidad, bajo mantenimiento y alto impacto social.

En este contexto, el presente estudio se justifica por su contribución al fortalecimiento de este modelo en un nuevo tramo rural, a través del diseño geométrico vial y estructural de pavimento articulado, respaldado por metodologías reconocidas como el método AASHTO 93 y la norma SIECA 2011. Asimismo, el proyecto busca beneficiar directamente a más de 250 familias, mejorar la conectividad local y generar información técnica útil para futuras intervenciones, promoviendo el desarrollo territorial y la reducción de la pobreza en el entorno rural.

Metodológicamente, el estudio aporta una estructura clara basada en la integración de un enfoque mixto donde se aportan datos cuantitativos provenientes del aforo vehicular, las encuestas socioeconómicas y los ensayos geotécnicos, con análisis cualitativos orientados a comprender las condiciones de uso de la vía.

1.5 Alcances y Limitaciones del Proyecto

1.5.1 Alcances

1.5.1.1 Estudio Socioeconómico De La Comunidad: Se les realizara un estudio a los habitantes de la zona de influencia directa del tramo, con el fin de conocer el impacto del camino en su calidad de vida, acceso a servicios, actividades productivas, gastos de transporte y percepción sobre la necesidad de mejoramiento vial.

1.5.1.2 Diagnóstico Del Estado Actual Del Camino: Se realizará un reconocimiento de campo, levantamiento topográfico y análisis del terreno, evaluando el estado físico del camino.

1.5.1.3 Diseño Geométrico Vial: Se proporcionará el diseño del alineamiento horizontal y vertical, secciones típicas, radios de curvatura, pendientes y visibilidad de parada y rebase, conforme a la Norma para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales y agregar info en función del software, CIVILCAD (SIECA, 2011).

1.5.1.4 Uso Del Software CIVIL 3D Para El Diseño Geométrico Vial: Es un software desarrollado por Autodesk especializado para la ingeniería civil el cual integra el modelado 3D de superficies, permite el análisis y generación de planos para el diseño vial.

i. Procesos del Civil3D para el diseño vial

- Importación, clasificación y análisis de datos topográficos recolectados en sitio con estación total, GPS y GNSS.
- Creación de los alineamientos vertical y horizontal del trazado del eje del camino en planta y elevación, con curvas y tangentes.
- Definición de los criterios geométricos según las normativas considerando velocidad de diseño, radios mínimos, sobre anchos. Etc.

- Edición dinámica permite generar automáticamente secciones transversales que incluyen: Carriles, bermas, cunetas, taludes. Dentro de las secciones transversales se pueden incorporar capas estructurales del pavimento

ii. Modelado del corredor vial

- Combinación del alineamiento, perfil y sección típica se puede generar un corredor en 3D.
- Civil 3D crea automáticamente todas las secciones transversales a lo largo de la vía.
- Se puede integrar con sub ensamblajes dinámicos que se adaptan a cambios de pendiente o a la topografía

iii. Producción de planos y documentación

- Planos en planta, perfil y secciones transversales listos para impresión.
- Etiquetado automático de distancias, elevaciones, radios y pendientes.
- Tablas dinámicas que se actualizan al modificar el diseño.

iv. Diseño estructural del pavimento articulado:

Se utilizará el método AASHTO 93, para determinar el espesor de las capas estructurales del pavimento de adoquín, considerando el tránsito proyectado, la capacidad portante del suelo (CBR), numero estructural asumido, coeficiente, de drenaje, factor de equivalencia, periodo de diseños.

1.5.2 Limitaciones Del Proyecto

Este anteproyecto se limita a un enfoque técnico – académico, lo cual no contempla la ejecución del mismo, no obstante, puede servir de antecedente para su ejecución.

Actualmente no se dispone de un estudio hidrológico e hidráulico que respalde el diseño de las obras de drenaje menor de la vía, lo cual resulta fundamental para garantizar una evacuación eficiente de las aguas y preservar la vida útil del pavimento.

Basados en los datos obtenidos durante el periodo de la evaluación de la investigación condiciones de tránsito, clima, suelo podría variar con el tiempo, cabe señalar que el sitio requiere de estudios adicionales como impacto ambiental y control de calidad de material para una mejor ejecución.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

2.1 Estado del Arte

Tabla 1

Base de datos relacionados a nuestro estudio

Base de datos científicos utilizados.	N° de publicaciones relacionadas con la investigación de acuerdo a la base de datos.	N°de publicaciones con mayor reconocimiento científico	Tipo de publicaciones identificadas
GOOGLE ACADEMY	20 diseño de estructuras de pavimentos	8 diseños de estructuras de pavimentos articulada,	6 relacionados directamente a diseño de estructuras de pavimento
VBOO, PUB	5 con enfoque constructivos de obras horizontales.	1 diseño de estructuras	2 informe informativo sobre el diseño de pavimentos en su proceso de desarrollo.
SCRIBD	19 temas relacionado a la investigación de diseño de pavimento	1 tema de estudio de diseño de pavimento afirmado.	10 artículo de Criterios básicos para diseño de carretera.
STUDOCU	25 enfocados en el desarrollo para el diseño de geométrico de pavimento.	10 diseño de pavimento articulado, regido, flexible.	10 realización de ensayos Los distintos diseños de pavimento flexible
SciELO	10 para diseño y estructura vial de pavimento articulado.	2 tienen variaciones similares para el diseño de pavimento articulado.	Cantidad 2 libros de tesis para el diseño geométrico y estructura vial.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2

Investigaciones relacionadas a nuestro estudio

Investigaciones relacionadas a nuestro tema de estudio

Temas	Principales teorías y aportes al tema de investigación
Estudio técnico y económico de adoquinado de las calles <i>“La aguja del barrio 26 de febrero</i> . (ubicado al costado del sur y sureste del mercado de Masaya), Durante el 2008.	Masaya siendo uno de los departamentos, con más poblados de Nicaragua requiere de una infraestructura vial que brinde un excelente servicio a los usuarios.
Diseño geométrico y estructura de pavimento articulado, aplicando el método AASHTO 93 en 2KM del tramo <i>el rodeito_ valle san Nicolás</i> , departamento de león. 2024	Con el objetivo de atender unas problemáticas en red vial de transporte de Nicaragua como el tramo <i>El Rodeito-Valle San Nicolas</i> que carece de calidad de camino.
Diseño de estructura de pavimento articulado empleando el método AASHTO 93, en la comarca <i>jocote dulce – camino las viudas</i> (2.6 km aprox.) del distrito del departamento de managua, 2022.	Para la comarca <i>jocote dulce – camino las viudas</i> (2.6 km aprox.) del distrito del departamento de managua con el objetivo de atender una problemática real y mejorar la calidad de vida de los pobladores del lugar.
Diseño geométrico y estructura de pavimento de 5.3 km de longitud a través del método de diseño de pavimentos rígidos de la asociación del cemento portland (pca) en el tramo <i>carretera Veracruz - km. 17.3 ctra a Masaya</i> , (Managua abril 2008).	Con el objetivo de unir dos carreteras troncales como son la <i>carretera Panamericana Norte</i> y la <i>carretera Managua a Masaya</i> . Para cumplir este propósito el MTI1 ha desarrollado los esfuerzos respectivos para realizar el diseño de estos tramos de carreteras.

Diseño geométrico y estructural de pavimento articulado del tramo entrada del bejuco – colegio chino – carretera Masaya, municipio de ticuantepe, departamento de managua, utilizando el método AASHTO 93, año 2022	Determinar ampliar el derecho de vía existente mediante la compra de los lotes aledaños, con el fin de ampliar el radio de curva ubicado entre los estacionamientos: 0+588.5 y 0+605.98, así mismo hacer una propuesta de diseño de drenaje pluvial
---	---

Fuente: Elaboración propia

2.2 Marco Conceptual y Teórico

2.2.1 Estudio Socioeconómico:

Es un documento que nos permite conocer el entorno económico, social, cultural y laboral de una persona o de un conglomerado; dicho documento se enriquece con información adquirida por medio de la entrevista domiciliaria “Encuesta”. (CENEPRED, 2014).

Se puede valorar la importancia de contar con este tipo de diagnóstico social y económico antes de emprender una obra pública. No solo garantiza que el diseño del proyecto se adapte a las verdaderas necesidades de la comunidad, sino que promueve la equidad y la sostenibilidad social del mismo. También se puede cuestionar si los métodos de recolección de datos (como encuestas domiciliarias) son suficientemente amplios y representativos para captar toda la diversidad y complejidad del entorno.

En el estudio técnico del tramo vial en Las Tejas #2, se pretende analizar adecuadamente los hallazgos socioeconómicos en el diseño geométrico y estructural, considerando aspectos como el tipo de pavimento más adecuado para las condiciones de uso y como este podría dar beneficios a la comunidad.

2.2.2 Estudio de Transito

Según (Montejo Fonseca, 2002) es una actividad que permite clasificar, conocer el volumen y dimensiones de los vehículos que influyen en el diseño geométrico, así como, el peso de los ejes que son los factores determinantes en el diseño de la estructura de pavimento (Ingeniería de Pavimentos, 2002, pág. 20). Se puede deducir que la recolección de datos sobre el tipo y características de los vehículos no solo tiene fines estadísticos, sino que cumple un papel técnico fundamental en la ingeniería vial. Esta actividad permite anticipar las demandas que el tránsito impondrá a la vía, asegurando así un diseño más eficiente y duradero. También se infiere que el peso por eje es un factor clave en la vida útil del pavimento, el estudio de tránsito es de suma importancia ya que a través de

este obtenemos datos valiosos para el análisis de la infraestructura del tramo de carretera en estudio donde estos valores permitirán optimizar la seguridad vial además de reducir los costos a largo plazo al reducir el tiempo de transporte, confort en los usuarios y acortar el deterioro en las unidades de transporte.

2.2.2.1 Aforo Vehicular: Es el conteo de vehículos que pasan por un punto en un período de tiempo determinado. El objetivo es cuantificar el número de vehículos que circulan por un lugar. (Ingeniería de Pavimentos, 2002, pág. 20).

Se puede deducir que el conteo vehicular no solo proporciona datos numéricos, sino que también permite tomar decisiones técnicas sobre el tipo de diseño geométrico y estructural más adecuado. En el caso específico del tramo vial en estudio, los resultados del conteo influyen en la selección del pavimento articulado como solución estructural, ya que permiten estimar las cargas a las que estará sometida la vía. Además, esta información ayuda a evaluar la capacidad vial y la necesidad de posibles ampliaciones o medidas complementarias para mejorar la circulación y la seguridad vial en la comunidad.

El conteo vehicular o aforo vehicular depende de la forma en que se realiza: si no se aplica de manera sistemática y representativa, los resultados podrían inducir a errores de diseño. En el proyecto en Las Tejas #2, la adecuada ejecución del conteo vehicular contribuye no solo al diseño eficiente del tramo, sino también al respaldo técnico del estudio socioeconómico, al justificar la inversión pública con base en la necesidad real de la comunidad. En otras palabras, este tipo de análisis garantiza que las decisiones de infraestructura vial respondan tanto a criterios técnicos como al impacto social y económico que tendrá la obra en la población beneficiada.

2.2.2.2. Tránsito Promedio Diurno Semanal (TPDIS). El tránsito promedio diario semanal es una variable aleatoria que se puede estimar a partir del tráfico promedio diario anual (TPDA) y de factores estadísticos

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

$$TPDIS = \frac{\text{Total Diurno Semanal}}{7 \text{ días}} \quad \text{Ec. 1}$$

En el caso específico del tramo en Las Tejas #2, calcular el TPDIS permite anticipar el nivel de carga que soportará la infraestructura vial, y también prever si será necesario incluir elementos de seguridad vial adicionales o ajustes geométricos por razones de flujo además relacionar el TPDIS con aspectos socioeconómicos permite evaluar la importancia de la vía en la movilidad local, así como su impacto en el desarrollo económico y acceso a servicios.

2.2.2.3 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA). Según Montejo Fonseca se refiere al volumen vehicular que representa el promedio de todos los volúmenes diarios en un año. Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA. (Ingeniería de Pavimentos, 2002, pág. 18)

El TPDA es un indicador muy valioso de la cantidad de vehículos de diferentes tipos (livianos y pesados), que se sirve de la carretera existente como su tránsito normal y que continuará haciendo uso de dicha carretera una vez sea mejorada o ampliada, o que se estima utilizará la carretera nueva al entrar en servicio para los usuarios.

Para calcular el tráfico promedio diario anual, se determina con la siguiente expresión matemática: (Anuarios de Aforos de Tráfico, 2022)

$$TPDA = TPDIS_{12H} * FD * FT * FS * F_{fs} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$TPDIS_{12H}$: Tránsito promedio diurno 12 horas.

FD : Factor día.

FT : Factor temporada.

FS : Factor semanal.

F_{fs} : Factor fin de semana.

2.2.2.4 Factores Utilizados Para El Cálculo Del TPDA. El factor para expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas se obtiene mediante los resultados correspondiente a conteos de 24 horas que no es más que el cálculo de: (MTI, Anuarios de Aforos de Tráfico, 2022)

$$F_D = \frac{T. Nocturno}{T. Diurno} + 1 \quad \boxed{\text{Ec. 3}}$$

Al utilizar únicamente datos de tráfico de 12 horas podría subestimar el volumen vehicular total diario, afectando decisiones en el diseño vial. Por tanto, aplicar el "factor Día" permite ajustar la información para reflejar de forma más realista las condiciones de tránsito. Esto indica que existe una variabilidad significativa entre el tráfico diurno y el nocturno, la cual debe ser considerada en estudios técnicos. Es fundamental que nosotros nos apoyemos en aforos locales confiables que representen adecuadamente las condiciones específicas del tramo de 2 km en Las Tejas #2. Solo así el factor aplicado será verdaderamente representativo y podrá respaldar un diseño geométrico y estructural eficiente y sostenible desde el punto de vista técnico y socioeconómico.

2.2.2.5 Factores Estacionales: Para ajustar el tráfico promedio diario que cubre una semana específica o período del año al TPDA. (MTI, Anuarios de Aforos de Tráfico, 2022).

Cuando se plantea la necesidad de ajustar el tráfico promedio diario de un periodo específico al TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual), se está implicando que los valores de tránsito pueden variar significativamente dependiendo de la temporada, los días de la semana o eventos particulares. Aunque no se dice de forma explícita, se puede deducir que este ajuste busca una representación más realista y equilibrada del comportamiento vehicular a lo largo del año, lo cual es fundamental para el diseño de una vía eficiente y duradera. En el contexto del estudio vial en Las Tejas #2, inferir correctamente ese promedio permite anticipar el desgaste real que sufrirá la estructura y, por ende, garantiza una solución más adaptada a las necesidades de la población local.

Considerar los factores estacionales en el análisis del tránsito durante el periodo que se estará haciendo el estudio que será en el segundo cuatrimestre del 2025 demuestra una visión técnica responsable, especialmente en contextos rurales donde las condiciones climáticas influyen directamente en la movilidad. En el caso de la comunidad Las Tejas #2, no se deberá de olvidar estos factores que se toan en cuenta por las épocas del año donde el diseño estructural sub dimensionadas, lo que comprometería la durabilidad y funcionalidad del pavimento articulado. Sin embargo, la calidad del ajuste dependerá en gran medida de que se utilicen factores validados por estudios previos o normas reconocidas como las de SIECA o el MTI. Si se recurre únicamente a estimaciones generales o sin respaldo empírico, el riesgo de error aumenta. Por tanto, aunque el enfoque metodológico es técnicamente correcto, su efectividad está condicionada por la calidad y pertinencia de los datos utilizados.

2.2.2.6 Tasas de crecimiento. La tasa de crecimiento poblacional: Es la tasa a la que está aumentando (o disminuyendo) una población durante un año determinado a causa de aumentos naturales y migración neta, que se expresa como un porcentaje de la población base. (Instituto Nacional de informacion de Desarrollo, 2012)

- **Tasa de crecimiento vehicular:** Es el incremento anual del volumen de tránsito en una vía, expresado en porcentaje, el cual se determina en base a los datos de las estaciones de conteo, extrapolarlo la tendencia de los datos. (MTI, Anuarios de Aforos de Tráfico, 2022)

Según las tasas en el estudio, el crecimiento de la población y el aumento del número de vehículos motorizados en varias regiones juegan un papel significativo en cómo los diseñadores deben determinar el uso de sus materiales.

Una tasa de crecimiento poblacional más alta puede implicar un aumento potencial en la demanda de servicios esenciales, movilidad y transporte, para lo cual se requiere un diseño de carreteras que considere más peatones y movimientos de vehículos. De manera similar, altas tasas de crecimiento vehicular sugerirían que se necesitan carreteras más fuertes para soportar el peso y volumen del tráfico proyectado a mediano y largo plazo.

Por lo tanto, el equipo técnico debe estudiar estos determinantes para dimensionar correctamente la sección de la carretera, los espesores estructurales y los elementos de seguridad vial necesarios para mantener la carretera operativa durante su vida útil.

El uso de estimaciones de tasas de crecimiento proporciona un método profético y sostenible para el diseño de carreteras. Sin embargo, vale la pena considerar si los datos empleados para estas proyecciones son actuales y relevantes para el contexto de Las Tejas #2 y, lo más probable, la mayoría de las estadísticas nacionales o departamentales no representarán con precisión las circunstancias locales. Si los datos no corresponden al contexto real, podrían resultar en un subdimensionamiento o sobredimensionamiento del proyecto, influyendo así tanto en términos de costo como de funcionalidad.

Para calcular las tasas de crecimiento interanual se utilizó siguiente ecuación:

$$TC_n = \left[\left(\frac{Año_n}{Año_{n-1}} \right) - 1 \right] * 100 \quad \boxed{\text{Ec. 4}}$$

Donde:

TC_n: Tasa de crecimiento en el periodo de análisis.

Año n: Año actual

Año n-1: Año anterior

2.2.2.7 Clasificación de las Carreteras Regionales. Las Carreteras

y caminos se clasifican de acuerdo a:

- Tipo de construcción
 - Por la división política del país
 - Por su funcionalidad
- i. **Arterial principal:** Sirven como corredor para viajes a larga distancia como tráfico inter-departamental o Inter-regional. Tienen un volumen de tráfico de más de 10,000 vehículos por día, y la velocidad de operación es de 100 Kph.
 - ii. **Arterial menor:** Une centros urbanos con poblaciones entre los 10,000 y 50,000 habitantes. El volumen de tráfico es de 3,000 – 10,000 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 a 60 kph.
 - iii. **Colectora mayor:** Une centros urbanos con 4,000 a 10,000 habitantes. Su volumen de tráfico es de 10,000 – 20,000 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 a 60 kph.

- iv. **Colectora menor:** Une principalmente zonas con poblaciones inferiores a los 400 habitantes con un tipo de camino superior. Su volumen de tráfico es de 500 a 3,000 vehículos por día y su velocidad de operación es de 30 a 50 kph.
- v. **Local:** Conectan fincas y poblados con las carreteras de las categorías anteriores. Esta clasificación es de tipo administrativo y no tiene relación con las normas y estándares de diseño de ingeniería, los cuales están relacionados al volumen de tránsito, uso del suelo y a la topografía del terreno.

Tiene acceso a zonas poblacionales inferiores a los 300 habitantes. Su volumen de tráfico es menor de 500 vehículos por día y su velocidad de operación es de 40 kph.

Tabla 3

Clasificación de las carreteras según TPDA

Función	Clase de carretera	Nomenclatura	TPDA (Año final de diseño)	Número de carriles
	Autopista	AA	> 20,000	6 - 8
Arterial Principal	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 Rural	LR	100 - 500	2
Local	Local Urbana	LU	100 - 500	2
	Rural	R	<100	1 - 2

Nota: Tomado de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011 (Cap. 1, p. 33).

2.2.2.8 Proyección de tránsito. Los volúmenes de tránsito futuro, para efecto de proyecto se derivan a partir del tránsito actual y del incremento del tránsito, esperando al final del periodo o año meta seleccionado.

Por lo tanto, la proyección de tránsito se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$PDT_n = PDT_o * (1 + TC)^n \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

PDT_n: Tránsito proyectado.

PDT_o: Tránsito Inicia del periodo considerado.

TC: Tasa de Crecimiento Inicial.

n: Período de proyección en años.

La proyección de los volúmenes de tránsito futuro implica anticipar la demanda vehicular que circulará por el tramo vial en un horizonte determinado, considerando el crecimiento progresivo del tráfico a lo largo de los años. En el contexto del estudio técnico y socioeconómico para el diseño geométrico y estructural de los 2 km con pavimento articulado en la comunidad Las Tejas # 2, esta estimación permite dimensionar la vía para que soporte de manera eficiente la carga vehicular esperada, evitando que la infraestructura se vea sobrepasada en un corto plazo. Inferir estos valores no se limita a una operación matemática, sino que incorpora la comprensión de factores como el desarrollo económico local, el aumento de actividades productivas y la mejora del acceso a servicios, los cuales, de forma indirecta, incrementan el flujo de vehículos en la zona.

La expansión de Las Tejas #2 no se considera en el diseño geométrico y estructural del pavimento articulado; las fallas prematuras ocurren con más frecuencia y el servicio permite menos costos de mantenimiento que una carretera construida con materiales de mejor calidad.

Desde una perspectiva crítica, esta proyección debe basarse en la solidez de los datos (esto debe cubrir no solo el comportamiento histórico del tráfico y los proyectos económicos, sino también los nuevos patrones de movilidad y posibles transformaciones urbanas futuras, etc.).

Así, se garantiza que la infraestructura ya esté destinada a las necesidades reales y futuras de la población, preservando la mayor cantidad posible de los recursos invertidos sin comprometer la calidad de vida de sus usuarios.

2.2.2.9 Factor de Ejes Equivalentes (F´ESAL). Es el número de repeticiones de un eje tipo que producirían el mismo grado de fallas que el ocasionado por un conjunto de los ejes del tráfico pesado real que circule por el mismo. Razón que permite dimensionar los espesores de la estructura de pavimento.

Se obtiene de las tablas de la AASHTO-93 para ejes sencillos, dobles. Conociendo la serviciabilidad final, el número estructural asumido (SN) y los pesos (las cargas se encuentran en Kips) se obtienen los factores de equivalencia. (AASHTO-93).

2.2.2.10 Tránsito de Diseño (TD). Éste dato se calculó según la expresión matemática establecida por la AASHTO, que considera el tránsito promedio diario anual (TPDA) de cada una de las categorías de los vehículos obtenidos del aforo vehicular, el factor de crecimiento (Fc), el factor de distribución por sentido o factor direccional (Fd) y el factor de distribución por carril (fc) y la cantidad de días que tiene el año.

El cálculo de los datos de acuerdo con la fórmula AASHTO incorpora no solo una operación matemática, sino que también incorpora variables que pueden usarse para tener en cuenta provisiones más realistas para la demanda futura de vehículos.

Dentro del contexto de un estudio técnico y socioeconómico para el diseño de 2 km de pavimento articulado en la comunidad Las Tejas #2, esto significa que el ADT (ajustado por factores de crecimiento, direccionalidad y distribución de carriles) no es un valor único, sino un insumo esencial para estimar la carga de diseño que circulará sobre él. Por lo tanto, se considera en las condiciones de uso a lo largo de la vida del proyecto para asegurar que un mejor diseño geométrico y estructural satisfaga tanto las necesidades reales de la población como el comportamiento proyectado del tráfico.

Esta es una buena elección técnica porque utiliza datos reales de conteo de tráfico combinados con la metodología AASHTO para predecir el volumen de tráfico considerando los cambios en el tráfico y la distribución de cargas en la estructura a lo largo del tiempo. Sin embargo, la fiabilidad de este resultado en sí misma depende en gran medida de cuán bien se recopilen dichos datos y si los factores considerados reflejan la realidad.

Dado esto, el cálculo no solo debe entenderse como una mera necesidad técnica, sino como un medio para garantizar que la inversión en pavimento articulado se traduzca en durabilidad, seguridad y beneficio socioeconómico para la comunidad en el cuarto trimestre de 2025 y años posteriores.

$$TD = TPDA * FC * Fs * Fc * 365$$

Ec. 6

Donde:

TD: Tránsito de Diseño

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

FC: Factor de Crecimiento.

Fs: Factor de Distribución por Sentido.

del fc: Factor por Distribución por Carril.

365: Constante equivalente a la estimación para los 365 días año.

2.2.2.11 Ejes Equivalentes (ESAL O W18). Es el número de pasadas de un eje tipo que producirían en un firme el mismo grado de fallas que el ocasionado por un conjunto de los ejes del tráfico pesado real que circule por el mismo. Este se obtiene conociendo el tránsito de diseño (TD) y los factores de equivalencia (FESAL). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$ESAL \text{ ó } W18 = TD * FESAL$$

Ec. 7

Donde:

TD: Tránsito de Diseño

FESAL: factores de equivalencia.

La carga proyectada que el pavimento soportará a lo largo de su vida útil, en términos del número de repeticiones de un eje de referencia.

Con el desarrollo de los dos mil metros de carretera en la comunidad de Las Tejas #2, para el diseño geométrico y estructural que hace referencia tanto al estudio técnico como económico, se debe ver que no se limita solo a contar vehículos, sino a producir un flujo equivalente a partir de las condiciones reales de tráfico pesado para saber con certeza calcular la resistencia adecuada demandada en un pavimento personalizable articulado con esta información.

Este tráfico de diseño y los factores de equivalencia también resultan en un valor equivalente que nos ayudará a predecir una estructura que pueda sostenerse bajo condiciones de carga reales durante la vida útil especificada.

El número de pasajes de un eje estándar que se puede utilizar, de manera aproximada, para estimar la carga para la cual un pavimento tendrá que ser diseñado y dimensionado durante su vida útil es lo que llamamos servicialidad.

Por lo tanto, dentro de este estudio técnico y socioeconómico para el diseño geométrico y estructural de este tramo de carretera de 2 km de largo en la comunidad de Las Tejas #2, significa darse cuenta de que no se trata de contar muchos vehículos, sino más bien de homogeneizar el tráfico pesado real en un solo valor que nos permita calcular con precisión la resistencia requerida del tipo de pavimento: articulado.

2.2.2.12 Factor de Distribución por Dirección (Fd). El factor de distribución por sentido (fd) permite cuantificar la fracción del total del tránsito que circulará en el sentido de diseño.

El factor de distribución por dirección (fd), más allá de ser un número matemático, significa en términos de diseño vial para la comunidad “Las

Tejas #2 es necesario anticipar cómo se comportará el flujo en cada dirección durante la vida útil de nuestro pavimento. Por esta razón, se requiere el empleo de un factor de tráfico adicional que permita calcular de manera más precisa las cargas que recibirá cada vía, y lo anterior afecta directamente los espesores y la elección de materiales para un pavimento articulado también. Cuando este valor se interpreta correctamente, resulta en un diseño que se adapta al uso real de la sección, evitando así costos excesivos debido a sobredimensionamiento o subdimensionamiento que perjudica la vida útil del trabajo.

Este valor se encuentra equilibrado entre una mayor precisión técnica y una reducción de beneficios sociales. Una contabilidad incorrecta podría resultar en un pavimento que se deteriorará rápidamente, o por otro lado, tener una inversión exagerada sin satisfacer las necesidades reales de los residentes, a través de su correcta aplicación aseguramos que el uso del dinero público sea responsable y que nuestra infraestructura sirva a los patrones de movilidad local, lo que lleva a una mejora en la conectividad y apalanca el desarrollo económico y social para la población.

2.2.2.13 Factor por Distribución por Carril (fc). El carril de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de 2 carriles, cualquiera de los 2 puede ser el camino de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril.

2.2.2.14 Factor de Crecimiento (FC). Es un factor que toma en cuenta la variación del volumen de tránsito en el período de diseño considerado, y se utiliza para determinar las cargas equivalentes acumuladas. Conforme a publicaciones del MTI, el factor de crecimiento recomendado se calcula a partir de la siguiente expresión:

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

Ec. 8

Donde:

FC: Factor de Crecimiento.

i: Tasa de Crecimiento.

n: Período de Diseño.

2.2.2.15 Período de Diseño (PD). Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera.

Este número de años es el período para el cual se diseñó la estructura del pavimento, en el que la construcción se considera como su horizonte de vida útil antes de que sean necesarias intervenciones mayores. Eso significa predecir el desgaste, como el tráfico, así como las condiciones climáticas que tendrían un efecto en su estructura desde la perspectiva de un proyecto vial.

En una zona como la sugerida, este enfoque parece dirigir tanto la calidad del espesor como los materiales y está afectando una inversión inicial importante para garantizar que la capacidad de la calle cumpla con las expectativas durante todo el período planificado.

En proyectos de pavimento articulado que buscan ser beneficiosos para la conectividad y el desarrollo local, este factor debe pasar por un análisis técnico preciso y realista para lograr el mejor compromiso entre durabilidad, seguridad y viabilidad económica.

2.2.3 Estudio Topográfico

La topografía es una ciencia aplicada que, a partir de principios, métodos y con la ayuda de instrumentos permite representar gráficamente las formas naturales y artificiales que se encuentran sobre una parte de la superficie terrestre, como también determinar la posición relativa o absoluta de puntos sobre la Tierra. (Gonzalo Gimenez Cleves, 2017).

En un estudio de carreteras, el análisis topográfico comienza a ser el indicador de cómo cada proyecto debe ajustarse a la realidad de las condiciones del terreno que esperan y advierte sobre avances como pendientes, curvas, irregularidades que implican pérdida de durabilidad y degradación de la funcionalidad.

En el estudio de topografía, se debe tener en cuenta que no solo se basa en medir y representar el relieve del terreno, sino que constituye todas aquellas mediciones que permiten una base técnica perfecta para hacer posible la proyección segura y rentable de obras de infraestructura.

Una carretera toma el análisis topográfico y se define guiando cómo se insertará en ese entorno, es decir, dónde y cómo lo que se acaba de medir encaja o encajará en ese lugar. Lo cual es fundamental como diseño para cómo comportarse en la realidad de las condiciones del terreno, permitiendo anticipaciones como: inclinaciones, curvas o diferencias de nivel que pueden afectar el ciclo de vida completo de la obra.

2.2.3.1 Planimetría. Parte de la topografía que se refiere a la posición de puntos y su proyección sobre un plano horizontal. (Gonzalo Gimenez Cleves, 2017, pág. 16).

2.2.3.2 Ángulos Horizontales. Tiene como origen la línea horizontal; se dice de elevación o positivo si su lado terminal está por encima de la horizontal, si está por debajo se dice negativa o depresión. El ángulo al horizonte del cenit vale $+90^\circ$, del nadir -90° . (Gonzalo Gimenez Cleves, 2017, pág. 68).

2.2.3.2.1 Distancia Inclinada. Es la distancia que se mide entre el punto de estación del equipo hasta el punto donde se requiere la medida.

- i. **Altimetría.** Es la parte de la topografía que tiene por objeto el estudio de los métodos y procedimientos para representar el relieve del terreno. (Gonzalo Gimenez Cleves, 2017, pág. 96)
- ii. **Ángulos Verticales.** Es un ángulo que existe entre dos líneas que se intersecan en un plan vertical Generalmente se entiende que una de estas es una línea horizontal (Gonzalo Gimenez Cleves, 2017, pág. 97).
- iii. **Distancias Verticales.** Se puede definir como la diferencia de elevación o cota entre ambos puntos. (Leonardo Casanova Matera, 2002).

2.2.3.3 Pendiente del Relieve del Terreno. La pendiente es un concepto que permite medir el grado de inclinación del terreno.

Es la relación entre el espacio que recorreremos verticalmente y el espacio que recorreremos horizontalmente, se calculó con la siguiente expresión:

$$P = \frac{Elev.I - Elev.F}{Longitud\ del\ tramo} * 100$$

Ec. 9

Donde:

Elev. I: Elevación Inicial

Elev. Final: Elevación Final

Tabla 4

Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

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

Fuente: Tomado de Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, SIECA 2011.

2.2.3.4 Perfiles Topográficos. Es una representación del relieve del terreno que se obtiene cortando transversalmente las líneas de un mapa de curvas de nivel, o mapa topográfico.

Cada curva de nivel puede definirse como una línea cerrada que une puntos del relieve situados a igual altura sobre el nivel del mar. Se dibuja generalmente en la misma escala horizontal que el mapa, pero la utilización de una escala vertical realzada o exagerada es aconsejable para subrayar los elementos del relieve.

2.2.3.5 Curvas de Nivel. Se llama curvas de nivel a una línea imaginaria cuyos puntos están todos a la misma altura sobre un plano de referencia, pudiendo considerarse como la intersección de una superficie de nivel con el terreno. (Gonzalo Gimenez Cleves, 2017)

2.2.4 Estudios de Suelos Para el Diseño de Pavimento

Un estudio de suelos permite dar a conocer las características físicas y mecánicas del suelo, es decir, la composición de las capas de terreno en la profundidad. Se necesitan habitualmente para conocer el tipo de cimentación más acorde para una obra a construir y los asentamientos de la estructura en relación al peso que va a soportar.

Según Montejo Fonseca en la ingeniería de pavimentos se considera como roca a un agregado natural de granos minerales, unidos por grandes y permanentes fuerzas de cohesión. Por otra parte, se considera que suelo es un agregado natural de granos minerales, con o sin componentes orgánicos, que pueden separarse por medias mecánicas comunes, tales como la agitación en agua. Aunque estas definiciones son las que se utilizarán en este texto, es conveniente aclarar que en la práctica no existe una diferencia tan simple entre roca y suelo, pues, las rocas más rígidas y fuertes pueden debilitarse al sufrir el proceso de meteorización, y algunos suelos muy endurecidos pueden presentar resistencias comparables a las de la roca meteorizada. (Ingeniería de Pavimentos, 2002).

Dado este texto, la distinción entre suelo y roca no es un contraste marcado, ya que factores ambientales como la meteorización pueden alterar sus propiedades físicas y mecánicas. Esto significa que, en un proyecto vial, el estudio del suelo no solo identifica de qué está compuesto el terreno y su resistencia, sino que también puede predecir cómo estos materiales pueden evolucionar con el tiempo y el uso. Esta comprensión es crucial en el diseño de pavimentos articulados y ayuda a estimar las respuestas estructurales, lo que permite dar forma al diseño geométrico y estructural de acuerdo con las características del terreno.

El documento anterior indica correctamente que la falla de capacidad de carga está más estrechamente asociada con la elección de una cimentación adecuada al terreno y requiere un estudio del suelo. Sin embargo, el mérito de esto no radica solo en la clasificación de materiales, sino en cómo pueden ser alterados debido a procesos naturales que requieren un enfoque resiliente en el diseño de carreteras. Por lo tanto, la lectura precisa de ellos, por supuesto dentro de un proyecto de Las Tejas #2, no solo permite una optimización del diseño estructural, sino que también ayuda a hacer el trabajo financiero y ambientalmente eficiente, evitando costos adicionales o decretos acelerados.

2.2.4.1 Clasificación de los Suelos AASHTO. La American Association of State Highway Officials adoptó este sistema de clasificación de suelos (AASHTO M 145), tras varias revisiones del sistema adoptado por el Bureau of Public Roads de Estados Unidos, en el que los suelos se agrupan en función de su comportamiento como capa de soporte o asiento del firme. Este sistema más utilizado en la clasificación de suelos en carreteras.

Grava: de un tamaño menor a 76.2 mm (3") hasta No 10 (10.2 mm)

Arena gruesa: de un tamaño menor a 2 mm hasta tamiz No. 40 (0.425 mm)

Arena fina: de un tamaño menor a 0.425 mm hasta tamiz No. 200 (0.075 mm)

Limos y Arcillas: tamaños menores de 0.075 mm.

Este método clasifica los suelos, según su composición granulométrica, su límite líquido y su índice de plasticidad, en siete grupos de A-1 a A-7. Los suelos cuyas partículas pasan el tamiz No. 200 (0,075 mm) en un porcentaje menor al 35 %, forman los Grupos A1, A2, A3 y los sub-grupos que corresponden. En cambio, los suelos finos limo-arcillosos que contienen más del 35 % de material fino que pasa el Tamiz N^o. 200, constituyen los Grupos A-4, A-5, A-6, A-7 y los correspondientes subgrupos.

Se puede evaluar la calidad del suelo a través del "Índice de Grupo". Los suelos que tienen similar comportamiento se encuentran en el mismo grupo y están representados por un determinado Índice. Los índices de grupo de los materiales granulares están comprendidos entre 0 y 4, los correspondientes a suelos limosos entre 8 y 12, y los correspondientes a suelos arcillosos entre 11 y 20 ó un número mayor.

El índice de grupo debe ser escrito entre paréntesis, su valor puede ser determinado mediante la fórmula siguiente:

$$IG = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01(F - 15)(IP - 10)$$

Ec. 10

Donde:

F = Porcentaje que pasa el tamiz No. 200

LL = Límite Líquido

IP = Índice de Plasticidad

Se concluye de lo descrito anteriormente, que es suficiente conocer la granulometría y plasticidad de un suelo para predecir su comportamiento mecánico.

2.2.4.2 California Bearing Ratio (CBR). Es la carga unitaria correspondiente 0.1" o 0.2" de penetración, expresada en porciento en su respectivo valor estándar, también mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada, dicho ensayo permite conocer un numero de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

El valor CBR comprende tres ensayos:

1. Determinación de (SIECA, 2002) la densidad y humedad
2. Las propiedades expansivas del material
3. La resistencia de penetración

(Diseño de pavimentos, SIECA 2002, págs. 3, Cap. 4)

Para encontrar el valor C.B.R de diseño para los diferentes tipos de suelo encontrados en la línea que servirá como sub-rasante se hará con la siguiente expresión:

$$CBR = \left(\frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria del patrón}} \right) * 100(\%)$$

Ec. 11

2.2.5 Método AASHTO 93.

El método que se utilizó para realizar el diseño de la estructura de pavimento en este trabajo monográfico será el de la AASHTO 93.

El método de diseño AASHTO, originalmente conocido como AASHO, fue desarrollado en los Estados Unidos en la década de los 60, basándose en un ensayo a escala real realizado durante 2 años en el estado de Illinois, con el fin de desarrollar tablas, gráficos y fórmulas que representen las relaciones deterioro-solicitación de las distintas secciones ensayadas. (Diseño de pavimentos, SIECA 2002, págs. 4, Cap. 1).

La aplicación del Método AASHTO-72 se mantuvo hasta mediados del año 1983, cuando se determinó que, aun cuando el procedimiento que se aplicaba alcanzaba sus objetivos básicos, podían incorporársele algunos de los adelantos logrados en los análisis y el diseño de pavimentos que se habían conocido y estudiado desde ese año 1972.

Por esta razón, en el período 1984-1985 el Subcomité de Diseño de Pavimentos junto con un grupo de ingenieros Consultores comenzó a revisar el "Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO-72", y a finales del año 1986 concluye su trabajo con la publicación del nuevo "Manual de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO '86", y sigue una nueva revisión en el año 1993, por lo cual, hoy en día, el método se conoce como Método AASHTO-93. Cuya ecuación es:

$$\log_{10} Wt_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \frac{(\Delta PSI)}{4.2-1.5}}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07 \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

Wt18: Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 KN acumuladas en el período de diseño (n).

ZR: Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

So: Desvío estándar de todas las variables.

ΔPSI: Pérdida de serviciabilidad.

MR: Módulo Resiliente de la sub-rasante.

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

2.2.5.1 Serviciabilidad. La serviciabilidad: es la condición de un pavimento para proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios en un determinado momento. Para el cálculo se usan dos índices: inicial P_o y el índice final P_f , la pérdida de serviciabilidad se calcula mediante la ecuación 12:

$$\Delta PSI = P_o - P_f \quad \boxed{\text{Ec. 13}}$$

i. Índice de serviciabilidad inicial

$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos

$P_o = 4.2$ para pavimentos articulados

ii. Índice de Serviciabilidad Final

$P_f = 2.5$ o más para caminos importantes

$P_f = 2.0$ para caminos de tránsito menor

2.2.5.2 Confiabilidad. La confiabilidad de diseño es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla con su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones que tienen lugar en ese lapso.

Este concepto fue utilizado por primera vez para el diseño de pavimentos flexibles en 1973 en Texas, (Texas Highway Department) y posteriormente

desarrollado e incorporado en los procedimientos de diseño de la guía A.A.S.H.T.O de 1986.

Tabla 5

Niveles de confiabilidad (R) en función del tipo de caminos

Tipos de Caminos	Confiabilidad Recomendada (R)	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas Interestatales y autopistas	85 - 99.9	80 – 99.9
Arterias Principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Nota: Tomado de Guía de Diseño para Estructura de Pavimentos, AASHTO 93, Pág. 137

Tabla 6

Valores de Zr en función de la confiabilidad R

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar (Zr)
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476

94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Nota: Tomado del Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, SIECA 2002, cap. 7, p. 55

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

Como no es fácil tener el equipo adecuado para llevar a cabo este tipo de pruebas, se han establecido factores de correlación entre el módulo de resiliencia (Mr) y la prueba del CBR (AASHTO T-193); los valores obtenidos son bastantes aproximados, sin embargo, para obtener resultados más precisos es necesario llevar a cabo la prueba del Módulo de Resiliencia (Mr) de la subrasante.

Para calcular el módulo de resiliencia a partir del CBR se han desarrollado las siguientes fórmulas empíricas:

$$cbr < 10\% \quad MR = 1500 * CBR \quad \boxed{\text{Ec. 14}}$$

$$cbr > 10\% \quad MR = 4326 * \ln(CBR) + 241 \quad \boxed{\text{Ec. 15}}$$

2.2.5.4 Cálculo del CBR de Diseño: CBR (California Bearing Ratio). El ensayo de CBR mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, además se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y subrasantes bajo el pavimento de carreteras.

2.2.5.5 Número Estructural Asumido (SN). Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18, se debe de asumir un valor inicial de SN.

Para el cálculo de espesores se utilizó la guía para diseño de pavimento A.A.S.H.T.O 93, el SN según este método se calcula teniendo los siguientes valores:

- Confiabilidad (R).
- Desviación estándar.
- Esal's de diseño.
- MR, Modulo resiliente efectivo de sub-rasante
- Pérdida de Serviciabilidad

La fórmula general que relaciona el número estructural SN con los espesores de capa es la siguiente:

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

Ec. 16

2.2.5.6 Coeficiente de Capa (a1, a2, a3). El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (an), Vos cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos articulados. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales SN.

Para encontrar el valor del coeficiente de capa (an) basados en el CBR de diseño tanto para la capa base y sub base (Dn, an), se traza una línea horizontal desde la línea vertical correspondiente al CBR extremo derecho

hasta encontrar el valor correspondiente del coeficiente de capa en el extremo izquierdo.

2.2.5.7 Coeficiente de Drenaje (m):

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

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

Tabla 7

Capacidad del drenaje para remover la humedad

Capacidad del drenaje para remover la humedad		
Calidad del drenaje	Aguas removidas en:	
	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Malo	No drena	Mucho más de 10 horas

Nota: Tomado de la Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO-93, p. 148.

2.2.5.8 Factor de Equivalencia (F´ESAL). Se obtiene de las tablas de la AASHTO-93 para ejes sencillos, dobles. Conociendo la serviciabilidad final, el número estructural asumido (SN) y los pesos (las cargas se encuentran en Kips) se obtienen los factores de equivalencia. Este Factor numérico

relaciona el número de aplicaciones de las cargas por eje de referencia que produce en el pavimento un determinado deterioro y el número requerido de aplicaciones de otra carga por eje para producir el mismo deterioro

2.2.5.9 Desviación Estándar (So). Factor que toma en cuenta la variación por errores en los materiales asociados al diseño así mismo la variabilidad y propiedades de los suelos, estimaciones de tráfico, condiciones de clima y calidad de construcción.

El rango que recomienda la AASHTO ROAD TEST para pavimentos articulado es 0.40 - 0.50.

2.2.5.10 Período de Diseño. Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente.

2.2.5.11 Elementos de la Estructura de Pavimento Articulado.

2.2.5.11.1 Superficie de Rodamiento Adoquín. Se refiere a la superficie de rodamiento estará compuesta por una estructura de pavimento articulada formada de unidades de adoquín. (MTI, 2019)

- i. **Los bloques o adoquines:** son elementos contruidos con material pétreo y cemento, pudiendo tener varias formas, todas ellas regulares, y que son colocados sobre una cama de arena de 3 a 5 centímetros de espesor, la que tiene como función primordial absorber las irregularidades que pudiera tener la base, proporcionando a los adoquines un acomodamiento adecuado y ofreciendo una sustentación y apoyo uniforme en toda su superficie.
- ii. **La arena:** es uno de los materiales de construcción más utilizados por los grandes beneficios que ofrece. Está formada por un conjunto de

fragmentos sueltos de rocas o minerales de pequeño tamaño (de 0,063 a 2 milímetros),

En cuanto a la composición de la arena, esta puede variar de un lugar a otro. La sílice (en forma de cuarzo) es uno de los componentes más habituales, además de la caliza molida, hierro o feldespato.

La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser lavada, dura y uniforme y no deberá contener más del 3% de limo y/o arcilla en peso; su granulometría será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido por el tamiz No. 10.

2.2.5.11.2 Base. Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

La base se deberá colocar en una capa y compactarse a un mínimo de 95% Próctor Modificado (ASTM D 1557). El material usado como base deberá satisfacer los siguientes requisitos, ver tabla No.1

Tabla 8

Especificaciones de materiales para base

N°	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	10% máx.	AASHTO-90
3	CBR	80% min.	AASHTO-193
4	Desgaste de los Ángeles	35% máx.	AASHTO-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba proctor modificado (AASHTO-180)	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Nota: Tomado de Especificaciones NIC-2019 Sección 1003. 08 (a y b), pág. 809-810.

2.2.5.11.3 Sub-base. Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento. Esta deberá ser colocada sobre la terracería en una capa compactada hasta alcanzar el 95% mínimo de su peso volumétrico seco máximo (ASTM D 1557). El material para utilizar como capa de sub-base deberá cumplir con los requisitos siguientes, ver tabla No.2

Tabla 9

Especificaciones de materiales para subbase

N°	Propiedad	Especificación	Metodología
1	Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
2	Índice Plástico	6% máx.	AASHTO-90
3	CBR	40% min	AASHTO-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
5	Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
6	Compactación	95% min del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado	AASHTO-191 Y/O T-238 (In Situ)

Fuente: Tomado de Especificaciones NIC-2019 Sección 1003. 08 (a y b), pág. 809-810.

2.2.5.11.4 Subrasante. Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. (MTI, 2019).

Generalmente los materiales apropiados para capa subrasante son los granulares con porcentuales de hinchamiento según ensayos AASHTO, ver tabla No.3.

Tabla 10

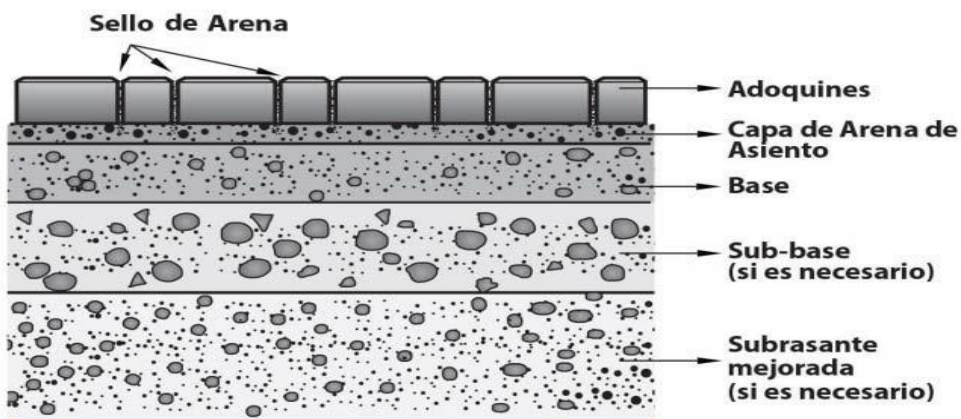
Especificaciones de materiales para sub rasante

N°	Propiedad	Terraplenes	Capa Sub-rasante	Metodología
1	% de malla No. 200	40 % máx.	30% máx.	AASHTO T-11
2	Límite Líquido	40 % máx.	30% máx.	AASHTO-89
3	Índice Plástico	15% máx.	10% máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10% min	20% máx.	AASHTO T- 193
5	Intemperismo acelerado	12% máx.		AASHTO - 104
6	Compactación	95 % min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado (AASHTO-99)	95% min. Del peso volumétrico seco máx. Obtenido por medio de la prueba Proctor modificado (AASHTO-T-180)	AASHTO-T- 191 Y/O T- 238

Fuente: Tomado de Especificaciones NIC-2019 Sección 1003. 08 (a y b), p. 829-830.

Figura 1

Componentes de una estructura de pavimento articulado



Fuente: AASTHO 93

2.2.6 Diseño Geométrico Vial.

El diseño geométrico es la parte más importante del proyecto de una carretera, estableciendo en base a los condicionantes o factores existentes la configuración geométrica definitiva del conjunto tridimensional que supone, para satisfacer al máximo los objetivos fundamentales, es decir, la funcionalidad, la seguridad, la comodidad, la integración ambiental en su entorno, la armonía o estética y la economía, todos estos aspectos son de suma importancia y requieren de un análisis exhaustivo para que sean funcionales y lógicos. (García, Pérez, & Camacho, 2006)

2.2.6.1 Velocidad. La velocidad es uno de los factores más importantes para el viajero al selecciona.

- i. **Opciones de itinerarios o de modos de transporte:** Para el conductor, la velocidad es uno de los elementos críticos a considerar e++n la selección de la ruta a transitar o la escogencia de un determinado modo de transporte, ponderándose su importancia en términos de tiempos de recorrido, de costos de viaje, de la combinación de los dos factores anteriores y de la conveniencia de los usuarios (SIECA, 2011, pág. 53).

2.2.6.1.1 Velocidad de Operación. La velocidad de operación es la velocidad a la que los conductores son: observados operando su vehículo bajo condiciones favorables.

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. (SIECA, 2011, pág. 54)

2.2.6.1.2 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 recorra ese tramo.

2.2.6.1.3 Velocidad de Diseño (Vd). 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 (SIECA, 2011, pág. 55).

Tabla 11

Velocidades de diseño en KPH, en función de volúmenes de tránsito y del tipo de terreno

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

Fuente: Tomado de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, SIECA 2011, Cap.2, pp.55-57

2.2.6.1.4 Vehículos de Diseño. Los vehículos de diseño son los vehículos predominantes y de mayores exigencias en el tránsito que se desplaza por la carretera.

Debido a las dimensiones tan variables de los vehículos 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.

Entre los vehículos de diseño que pueden tomarse están:

- i. **Vehículo Liviano:** incluye los automóviles, automóviles compactos, jeeps, camionetas agrícolas, vehículos deportivos, vans, minivans y pick-ups.
- ii. **Buses:** incluye los buses extraurbanos, buses urbanos, buses escolares y buses articulados.
- iii. **Camión:** incluye los camiones de unidad única (2 ó 3 ejes), cabezal con semirremolque o un cabezal con semirremolque más remolque completo.

Entre los vehículos de diseño que pueden tomarse están:

Tabla 12

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: Tomado de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, cap. 2-p. 38

2.2.6.1.5 Radio Mínimo de Giro del Vehículo de Diseño (RMG). 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 muestran en, A Policy on Geometric Design of Highways and Street, 2011, p. 24.

2.2.6.1.6 Distancia de Visibilidad en Carreteras.

i. La Distancia de Visibilidad:

Es la longitud de la carretera que un conductor ve continuamente delante de él, cuando las condiciones atmosféricas y de tránsito son favorables.

Existen dos distancias de visibilidad; la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad de rebase.

ii. Distancia de visibilidad de Parada:

Es la mínima requerida para que se detenga un vehículo que viaja de diseño, antes de que alcance un objeto inmóvil que se encuentra en su trayectoria. Se considera obstáculo aquél de una altura igual o mayor a 0.15 m, estando situados los ojos del conductor a 1.15 m, sobre la rasante del eje de su pista de circulación. Todos los puntos de una carretera deberán estar previstos de la distancia mínima de visibilidad de parada. La distancia de parada sobre una alineación recta de pendiente uniforme, se calculó mediante las siguientes ecuaciones:

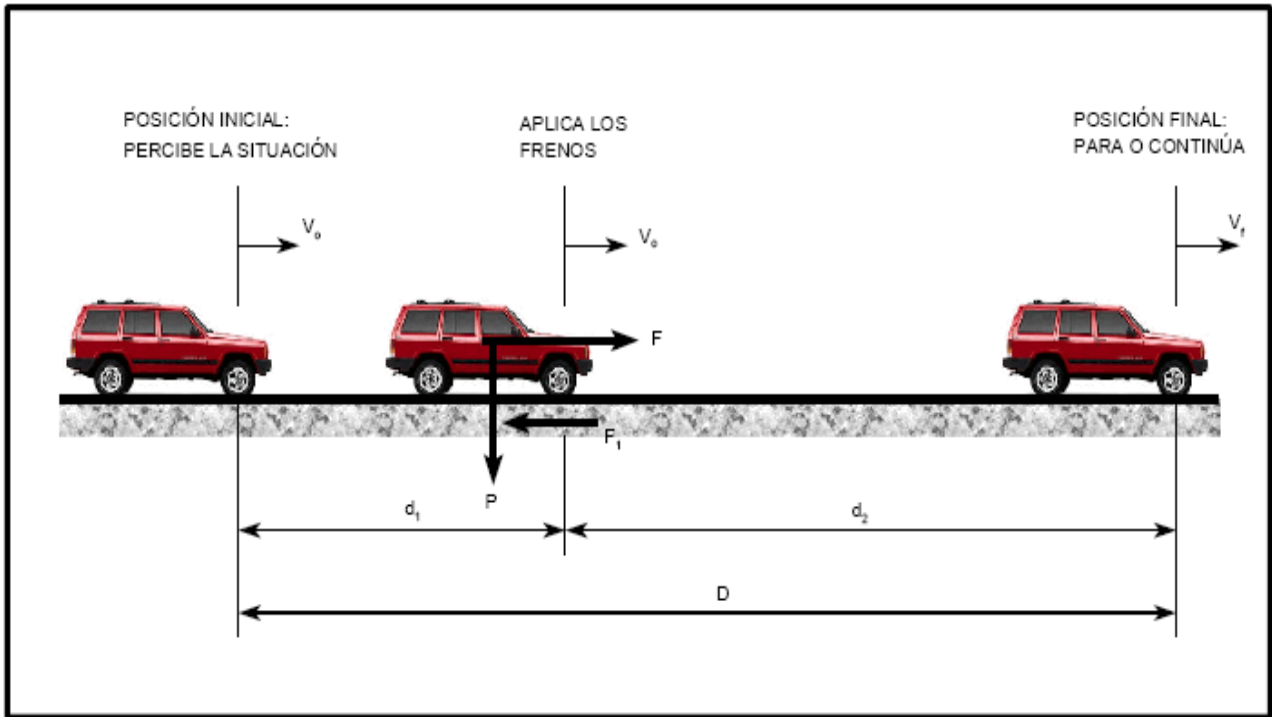
$$D_p = d_1 + d_2 \text{ (metros)} \quad \text{Ec. 17}$$

$$d_1 = 0.278 * V * t \text{ (metros)} \quad \text{Ec. 18}$$

$$d_2 = \frac{V^2}{254(f + p)} \text{ (metros)} \quad \text{Ec. 19}$$

Figura 2

Ilustración de distancia de visibilidad de parada



Fuente: Tomado de Componentes del Diseño Geométrico Manual SIECA

Donde:

v : velocidad inicial (km/h)

t : corresponde al tiempo de percepción de 2.5 seg.

p = pendiente de la carretera (m/m)

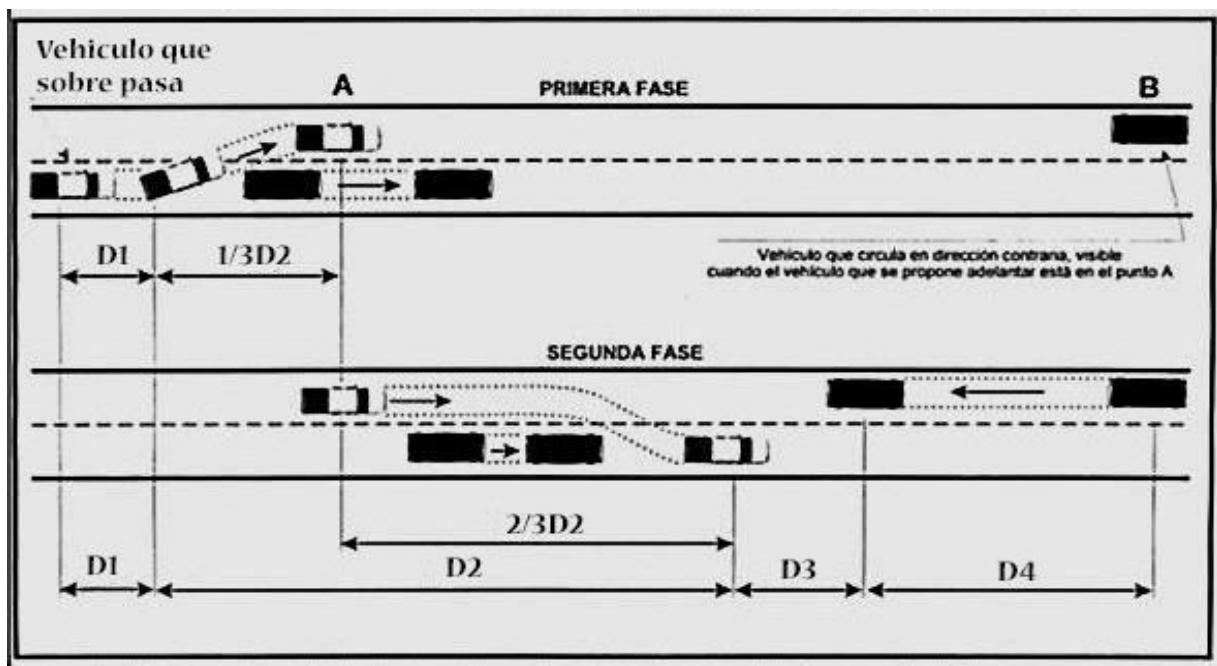
f = coeficiente de fricción longitudinal entre llanta y superficie de rodamiento

i. Distancia de visibilidad de rebase (DR):

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

Figura 3

Distancia de rebase para carretera de dos carriles



Nota: Tomado de Componentes del Diseño Geométrico Manual SIECA, Cap. 4

Tabla 13

Distancia mínima para carreteras rurales de dos carriles

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas de Carreteras Regionales SIECA 2004, Cap. 4, p. 30

iii. Perfil longitudinal:

Un perfil longitudinal es un plano que muestra las diferencias de altitud de un trayecto o de dos puntos específicos. Se utiliza en topografía para representar gráficamente el corte que produce un plano vertical en el terreno. (Gonzalo Gimenez Cleves, 2017)

iv. Sección transversal:

La sección transversal de una carretera en un punto de ésta, es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural. (Cárdenas Grisales, 2004)

v. Sobreancho:

Es una ampliación de la superficie de rodadura de una carretera en los tramos curvos. Se utiliza para compensar el mayor espacio que necesitan los vehículos al girar. (SIECA, 2011, pág. 109)

Cálculo de Sobre ancho de diseño:

$$W_c = N(U + C) + (N - 1)F_A + Z$$

Ec. 20

Donde:

- N : Números de carriles
- U : Ancho de la huella del vehículo de diseño (m)
- C : Claro lateral (m)
- F_A : Ancho de saliente frontal carril interior (m)
- Z : Ancho extra recomendable (m)

Figura 4

Criterios para sobre ancho de calzada

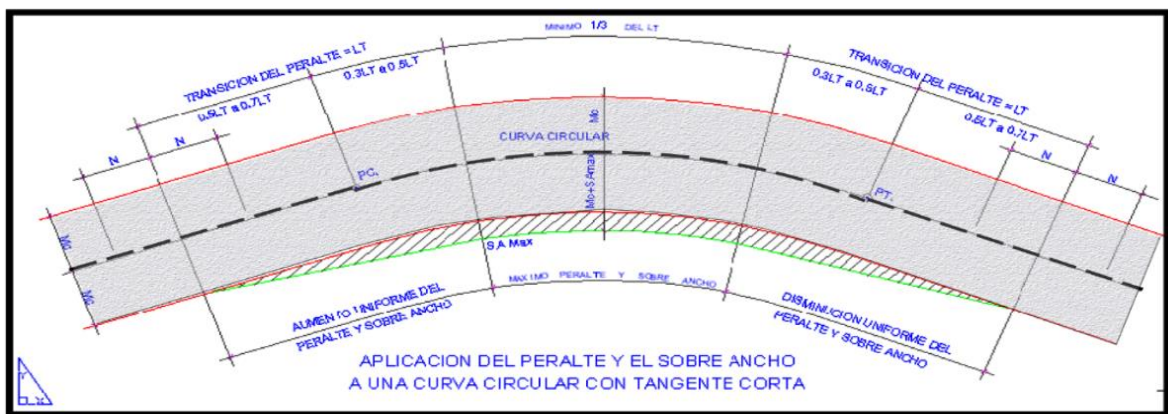
Ancho Calzada Radio de Curva (m)	6.6 metros							6.0 metros						
	Velocidad de diseño (Km/h)							Velocidad de diseño (Km/h)						
	50	60	70	80	90	100	110	50	60	70	80	90	100	110
1500	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
1000	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6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

Nota: Tomado de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004, cap. 4-p. 51

2.2.6.2 Alineamiento Horizontal. Es una proyección sobre un plano horizontal de la vía en la cual se representa su eje central, y sus bordes derecho e izquierdo, lo cual incluye el carril, hombro, cunetas, área verde y aceras, las curvas circulares son un elemento importante en este alineamiento.

Figura 5

Ilustración de sobre ancho de curvas



Nota: Tomado de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2004

Donde:

R : Radio mínimo de curva, en metros

e : Tasa de sobreelevación en fracción decimal

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

V : Velocidad de diseño, en kilómetros por hora

Tabla 14

Radios máximos para el uso de curvas de transición

Sistema Métrico			Sistema Americano		
Velocidad de Diseño (km/h)		Radio Máximo (m)	Velocidad de Diseño (mph)		Radio Máximo (ft)
20		24	15		114
30		54	20		203
40		95	25		317
50		148	30		456
60		213	35		620
70		290	40		810
80		379	45		1025
90		480	50		1265
100		592	55		1531
110		716	60		1822
120		852	65		2138
130		1000	70		2479
			75		2846
			80		3238

Nota: Es probable que los beneficios de seguridad de las curvas de transición en espiral sean insignificantes para radios más grandes

2.2.6.2.3 Intersecciones. Es el área general donde dos o más carreteras se unen o cruzan, incluyendo la calzada y las instalaciones al borde de la carretera para el movimiento del tráfico dentro del área. La intersección en T es un cruce de tres ramales, donde la carretera secundaria accede perpendicularmente a la vía principal o cuando el ángulo mínimo entre dos ramales sea superior a 60°.

2.2.6.2.4 Sección Transversal. La sección transversal de una carretera o calle urbana, es un corte vertical que se realiza perpendicular al eje longitudinal, permitiendo definir la disposición y dimensiones de los elementos que la conforman, dicha sección normalmente está compuesta por ancho de calzada, bombeo, drenaje superficial, hombros, entre otros.

2.2.6.2.5 Ancho de Carriles. El ancho comprendido entre los bordes interiores de los cordones laterales, permitido para que los vehículos puedan circular de manera libre sobre la vía.

Según lo establecido en la norma AASHTO 2011, los carriles de calles deben ser entre 3 a 3.3m y en zonas industriales de 3.6m, en caso de que el derecho de pase imponga severas limitaciones se pueden usar carriles de 2.7m en zonas residenciales y 3.3m en zonas industriales, o bien ajustarse al ancho disponible del lugar.

2.2.6.2.6 Bombeo. El bombeo normal es la pendiente que se establece a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el fin de generar un fácil escurrimiento del agua que cae sobre las carreteras drenando hacia los hombros.

Según la AASHTO 2011, se debe proporcionar bombeos que permitan un drenaje adecuado, normalmente este va de 1.5 a 2% en superficies pavimentadas y de 2 a 6% en superficies sin pavimentar donde hay hombros al ras. En lugares donde haya bordillo, estos valores mencionados anteriormente pueden aumentar de 0.5 a 1%. Para este diseño se eligió un bombeo de 3% para que esta permita un buen drenaje de las aguas

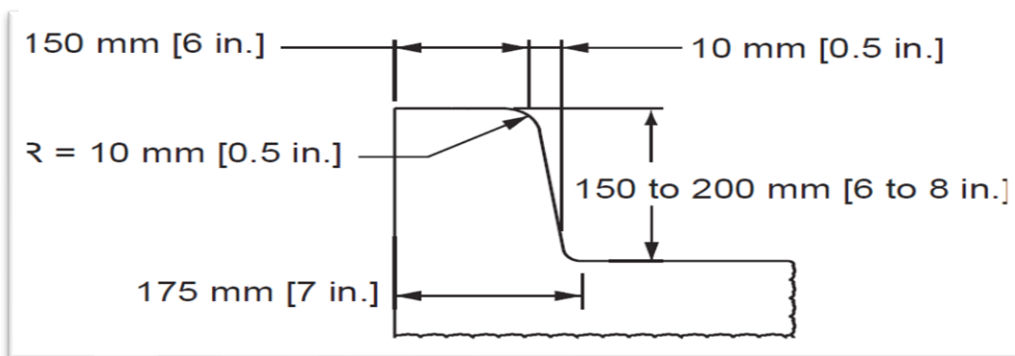
provenientes de las zonas montañosas adyacentes a la parte este y oeste del barrio.

2.2.6.2.7 Cunetas. Son canales que se construyen a ambos lados de la calzada con el objetivo de drenar el agua que cae sobre los taludes y posteriormente a la carretera.

Las cunetas urbanas usualmente están compuestas por bordillo y caite, a continuación, en la figura No. 7 se muestra la sección típica brindada por la norma AASHTO 201

Figura 7

Sección típica de cuneta



Fuente: Tomado de A Policy on Geometric Design of Highways and Street, 2011, p. 347

2.2.6.2.8 Alineamiento Vertical. El alineamiento vertical de una vía es la proyección del eje de esta sobre una superficie vertical paralela al mismo, 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; debe garantizar comodidad y seguridad para el usuario, así como también economía en cuanto a movimientos de tierra, de igual forma debe ser agradable a la vista del conductor y permitir el adecuado drenaje del agua, esto cumpliendo con la pendiente mínima estipulada.

2.2.6.2.9 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 identificadas con pendientes ascendentes con signos positivos y descendentes con signos negativos.

2.2.6.2.10 Pendiente. Es la inclinación que hay de una superficie con respecto a la horizontal, suele medirse como ángulo o como un porcentaje. La norma indica que las pendientes no deben ser mayores a 15% en calles de residencias locales y en calles de zonas comerciales e industriales se debe tomar pendientes máximas de 8%, también estipula una pendiente mínima de 0.3% con el propósito de considerar un drenaje apropiado, en caso que no se logre cumplir la pendiente mínima establecida, es permitido un 0.20%.

$$G = (P1 - P2)$$

Ec. 22

G: Diferencia algebraica de pendientes = P1 – P2

P1(%): Pendiente inicial o de llegada expresada en porcentaje.

P2(%): Pendiente final o de salida expresada en porcentaje.

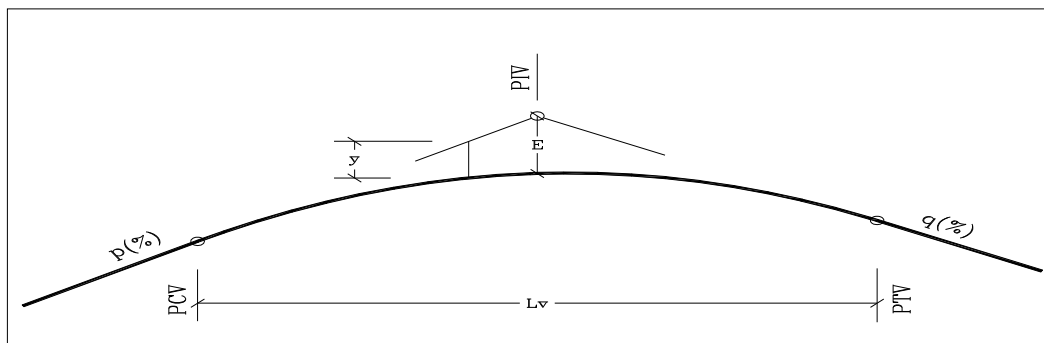
2.2.6.2.12 Curvas Verticales. Son utilizadas con el objetivo de suavizar los cambios en dirección vertical, debido a que se encargan de enlazar dos tangentes consecutivas en el alineamiento vertical para que en su longitud se logre el paso gradual de la pendiente entre la tangente de entrada a la tangente de salida, facilitando una trayectoria vehicular segura, y que a la vez permita un drenaje adecuado.

Para realizar una curva vertical debe existir una pendiente mínima entre 0.35% a 0.5% debido a que en casos inferiores a este rango el terreno suele perderse durante la construcción al ser un cambio tan despreciable.

Las curvas verticales se pueden clasificar en cresta o convexas (cóncavas hacia abajo) y columpio o vaguada (cóncavas hacia arriba), y estas a su vez se subclasifican en curvas simétricas y asimétricas por la diferencia de longitud existente entre sus ramas.

Figura 8

Elementos de una curva vertical



Nota: Tomado de Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina 2002, p. 402

PCV: Principio de curva vertical.

PIV: Punto de intersección vertical

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

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

L_v: Longitud de curva vertical

P1(%): Pendiente inicial o de llegada expresada en porcentaje.

P2(%): Pendiente final o de salida expresada en porcentaje.

Y: Corrección vertical

G: Diferencia algebraica de pendientes = $P2 - P1$

2.2.6.2.13 Curvas en Cresta. Las curvas en cresta también conocidas como divisorias son aquellas que al interceptar sus tangentes forman una especie de colina, para su diseño es recomendable considerar distancia visual de

adelantamiento 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

$$K = \frac{Lv}{G} \quad \text{Ec. 23}$$

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%.

Donde:

K: Parámetro de curvatura

Lv: Longitud de la curvatura vertical

G: Valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes

2.2.6.2.14 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

Figura 9

Distancia visual de parada de diseño de curvas en columpio

Metric				U.S. Customary			
Design Speed (km/h)	Stopping Sight Distance (m)	Rate of Vertical Curvature, K^a		Design Speed (mph)	Stopping Sight Distance (ft)	Rate of Vertical Curvature, K^a	
		Calculated	Design			Calculated	Design
20	20	2.1	3	15	80	9.4	10
30	35	5.1	6	20	115	16.5	17
40	50	8.5	9	25	155	25.5	26
50	65	12.2	13	30	200	36.4	37
60	85	17.3	18	35	250	49.0	49
70	105	22.6	23	40	305	63.4	64
80	130	29.4	30	45	360	78.1	79
90	160	37.6	38	50	425	95.7	96
100	185	44.6	45	55	495	114.9	115
110	220	54.4	55	60	570	135.7	136
120	250	62.8	63	65	645	156.5	157
130	285	72.7	73	70	730	180.3	181
				75	820	205.6	206
				80	910	231.0	231

Nota: Tomado de A Policy on Geometric Design of Highways and Street, 2011, p. 307

2.2.6.2.15 Criterios para Determinar Longitud de Curva Vertical en Columpio. El análisis para la curva vertical cóncava o en columpio se realiza teniendo en cuenta la visibilidad nocturna donde la iluminación

producida por las luces delanteras del vehículo juega un papel importante. La visibilidad diurna no representa ningún problema ya que todo conductor ubicado dentro de una curva vertical cóncava siempre tendrá la visibilidad necesaria para su seguridad a menos que dentro de la curva vertical este ubicada una curva horizontal.

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

Según (SIECA, 2011) en su sección 4-69 para el diseño de Curvas en Columpios o Cóncavas se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas en columpios.

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

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

Distancia de Visibilidad de parada > Longitud Vertical. Se tiene la Ilustración 17 donde aparecen los siguientes elementos:

L: Longitud curva vertical en metros

DVP: Distancia de visibilidad de parada requerida en metros

P1: Pendiente inicial en porcentaje

P2: Pendiente final en porcentaje

G: Diferencia algebraica de pendientes en porcentaje

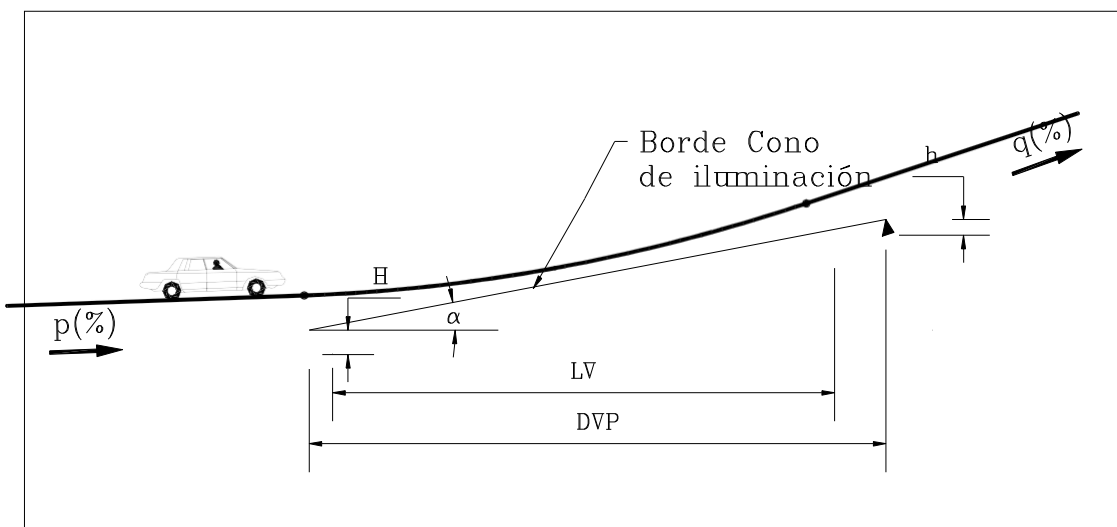
h1: = 1.07 m

h2: Altura del obstáculo = 0.15 m

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

Figura 10

Ilustración visibilidad de una curva vertical cóncava o columpio



Nota: Tomado de Diseño Geométrico de vías, Jhon Agudelo Ospina 2002, p. 384

2.3 Marco Legal.

Son leyes y normativa relacionadas al desarrollo de proyectos de obras horizontales como el diseño geométrico y estructura de tramos de carreteras vial de pavimento articulado siendo fundamentales para el requerimiento, ejecución y cumplimiento de normativas jurídicas, técnicas para asegurar la durabilidad, funcionalidad, sostenibilidad de la infraestructura.

2.3.1 Reglamento del Sistema Vial para Nicaragua.

Arto. 1: El presente Reglamento que forma parte del Plan Regulador, tiene por objeto dictar las normas técnicas y de procedimiento que debe cumplir, todo desarrollo urbano y obra de construcción afectado por el sistema vial, que se efectúen dentro del área.

Arto. 3: Todo desarrollo urbano y de obra de construcción afectados por el sistema vial, deberán cumplir con las especificaciones técnicas y normas mínimas, que para tal efecto se establecen en el presente Reglamento y obtener en el Ministerio de la Vivienda y Asentamiento Humanos, el correspondiente Permiso de Desarrollo Vial establecido en el Reglamento de Permiso de Construcción; previa autorización del Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Tabla 15

Leyes reguladoras de construcción

Leyes reguladoras de la construcción	Año de aprobación	Objetivo de la ley
Ley n 185, código del trabajo.	Aprobación el 5 de septiembre de 1996, publicada en la gaceta del diario oficial n, 205 del 30 de octubre de 1996	El presente código las relaciones de trabajo establecido los derechos y deberes mínimos de empleadores y disposiciones de este código y de la legislación laboral son de aplicación obligatoria a todas las personas naturales o jurídicas que se

		encuentran establecidas o se establezcan en Nicaragua.
Ley 237 reguladora de actividad de diseño y construcción.	Aprobada el 6, de julio del 2021 publicada en la Gaceta Diario Oficial no.10 del 18 de enero del 2022. Decreto ejecutivo no 237.	La ley tiene por objeto regular en el país la actividad y diseño construcción, a fin de conocer y racionalizar los recursos existentes y orientarlos de acuerdos a los planes de desarrollo del sector.
Reglamento sobre calidad de material de construcción Decreto no 3.	Aprobado el 17 de octubre de 1973, publica en la Gaceta, Diario Oficial.	Especialmente en los referentes a las normas y especificaciones contenidas en este reglamento, aplicable a los materiales que se vayan a usar en las construcciones, tanto los elaborados en fábricas o plantas, como los usados directamente en la obra.
Decreto no 891, Legislativo sobre construcción de carreteras.	Decreto legislativo no.891 aprobado el 20 de noviembre de 1963, publicada en la Gaceta Diario Oficial no.21 del 25 de enero de 1964.	Declarase de interés social, de utilidad pública y de conveniencia nacional, la construcción de una carretera que pueda usarse durante todas las épocas del año.
Decreto no 891, Legislativo sobre construcción de carreteras.	Decreto legislativo no.891 aprobado el 20 de noviembre de 1963, publicada en la Gaceta Diario Oficial no.21 del 25 de enero de 1964.	Declarase de interés social, de utilidad pública y de conveniencia nacional, la construcción de una carretera que pueda usarse durante todas las épocas del año.
Ley de Normas Mínimas para el Diseño de Estructuras	Aprobada el 6 de abril en 1972	La presente ley tiene por objetivo establecer los requisitos mínimos para el diseño y construcción y

	Publicado el 7 de abril de 1972 en La Gaceta, Diario Oficial No. 75.	otras estructuras resistentes de los terremotos.
Decreto no 891, Legislativo sobre construcción de carreteras.	Decreto legislativo no.891 aprobado el 20 de noviembre de 1963, publicada en la Gaceta Diario Oficial no.21 del 25 de enero de1964.	Declarase de interés social, de utilidad pública y de conveniencia nacional, la construcción de una carretera que pueda usarse durante todas las épocas del año.
Sistema de evaluación ambiental de permiso y autorización para el uso sostenible de recursos naturales. Decreto no 20_2017.	Aprobado el 28 de noviembre de 2017 publicado en la Gaceta, Diario Oficial no 228 del 29 de noviembre del 2017.	Establecerle sistema de evaluación ambiental con las disposiciones administrativa que regulan los permisos, autorizaciones; constancias, avales, carta de no objeción, que emite el MARENA para el uso sostenible de los recursos naturales de conformidad con el actual crecimiento económico social del país.
Ley de Normas Mínimas para el Diseño de Estructuras	Aprobada el 6 de abril en 1972 Publicado el 7 de abril de 1972 en La Gaceta, Diario Oficial No. 75.	La presente ley tiene por objetivo establecer los requisitos mínimos para el diseño y construcción y otras estructuras resistentes de los terremotos.
Norma ASSHTO 93, de diseño de estructuras de pavimentos.	publicada originalmente en el año 1993 por la American Association of State Highway.	objetivo principal de la norma AASHTO 93 es proporcionar un método confiable y estandarizado para el diseño estructural de pavimentos, flexibles o rígidos, abarcado criterios especificados por la ASSHTO, como determinar el espesor adecuado, comportamiento estructural, estimar el número de estructura,

Normas de diseño Geométrico de carreteras SIECA 2011.	Confirmada con la resolución 03_1999(COMITRAN XXI), del 18 de noviembre de 1999 armonización y modernización de normas técnicas aplicables a carreteras y al transporte de carretera.	para garantizar la durabilidad y seguridad infraestructura vial. con el objetivo en la aplicación técnicas para diseño geométricos de carreteras para todas las regiones que contribuirán, con la aplicación de mejorar la seguridad vial y reducir la vulnerabilidad ante desastres.
Norma NIC_19 de especificaciones generales para construcción de caminos, calles y puentes.	Fue presentada oficialmente el 6 de diciembre de 2019 por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) de Nicaragua.	Contiene aspectos generales que permiten administrar de formas más efectiva los proyectos de carreteras, caminos, calles y puentes apoyándose a las leyes, se abarca técnicas se actualizo respecto a los materiales para la construcción de pavimento como flexible o rígidos.

.

Fuente: Elaboración propia

2.4. Marco Contextual, Institucional.

2.4.1 Marco contextual

La comunidad Las Tejas #2, situada en el municipio de Matagalpa, Nicaragua, constituye un entorno rural caracterizado por una geografía accidentada, con pendientes considerables, suelos de diversa composición y condiciones climáticas propias de una zona montañosa. Durante la estación lluviosa, las intensas precipitaciones provocan encharcamientos y acumulación de lodo debido a la inexistencia de obras de drenaje adecuadas, lo que limita la movilidad de la población. En la estación seca, en cambio, el tránsito vehicular genera grandes cantidades de polvo, lo cual representa un riesgo constante para la salud respiratoria de los habitantes, especialmente en sectores vulnerables como la niñez y la tercera edad.

El estudio se sitúa en el segundo cuatrimestre del año 2025, momento en el cual se plantea una intervención técnica y académica con el fin de responder a una necesidad histórica de la comunidad: contar con una vía transitable y segura durante todo el año. La falta de accesibilidad vial ha limitado durante años el acceso a servicios básicos como salud, educación y comercio, afectando la calidad de vida de los más de 250 núcleos familiares que residen en la zona.

Económicamente, la comunidad se sustenta principalmente de actividades agropecuarias, destacando cultivos como maíz, frijol, café y hortalizas. La ineficiencia vial actual representa un obstáculo para el transporte oportuno de estas mercancías hacia los centros de acopio o mercados, elevando los costos logísticos y reduciendo la competitividad de los productores locales. Un diseño vial eficiente permitiría no solo una mayor movilidad de personas y mercancías, sino también una revalorización de las tierras y una activación del comercio formal e informal en la zona.

Tomando en cuenta la información la intervención vial que combine criterios técnicos, sociales y económicos, lo cual justifica la realización de un estudio que proponga un diseño geométrico y estructural, bajo metodologías reconocidas como el método (ASSTHO 96) las normas del diseño geométrico. (SIECA, 2011).

2.4.2 Marco Institucional.

Universidad de Ciencias comerciales (UCC)

Fuente: (UCC, 2025)

Antecedentes

La Universidad de Ciencias Comerciales UCC, fundada en 1964 como Instituto de Ciencias Comerciales y elevada a universidad en 1997 por el Consejo Nacional de Universidades, se define institucionalmente por su misión de formar profesionales íntegros, éticos, humanísticos y emprendedores comprometidos con el desarrollo nacional, bajo el lema “Gente que triunfa” Con presencia en el departamento de Matagalpa, la UCC se caracteriza por su compromiso con la mejora continua, evidenciado en procesos de acreditación y capacitación docente permanente y por su impulso a actividades académicas y científicas de índole interdisciplinaria, como el Seminario “Conectando saberes, transformando futuros” celebrado en 2025.

Misión

La UCC se dedica a formar profesionales integrales, éticos, con visión humanística, competitivos, emprendedores y con liderazgo, comprometidos con el desarrollo del país.

Visión

La universidad aspira a ser reconocida por sus más altos estándares de formación profesional, respondiendo eficazmente a las necesidades de la sociedad y al compromiso que implica su proyecto educativo.

Valores Institucionales

Los valores que guían las políticas y prácticas de la UCC incluyen: Liderazgo, Ética Profesional, Creatividad y Calidad

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI)

Fuente: (MTI, 2025)

Información Institucional

El Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI de Nicaragua es el ente gubernamental encargado de dirigir y implementar la política sectorial en materia de transporte y desarrollo de infraestructura, trabajando de manera coordinada con el Ministerio de Gobernación, los municipios y entidades sociales para garantizar la planificación y ejecución adecuada en tránsito, transporte y obras viales. Entre sus funciones principales se encuentran la construcción, conservación y supervisión de carreteras, puentes y terminales de transporte a nivel nacional; la regulación de tarifas y licencias del servicio público de transporte terrestre, ferroviario, aéreo y de cabotaje; así como la emisión de normas técnicas para asegurar la seguridad, comodidad y eficiencia en los sistemas de transporte. El MTI también participa en la autorización de nuevas infraestructuras como puertos y terminales, y promueve el cumplimiento de estándares técnicos en coordinación interinstitucional, sustentándose en un marco legal conformado por la Constitución Política, la Ley 290 y la Ley 524 de transporte terrestre.

Misión

Contribuir al desarrollo económico y social del país, mediante la construcción de carreteras, caminos y puentes que garanticen una conectividad permanente a todas las comunidades, asegurando servicios de transporte seguros, cómodos y eficientes.

Visión

Ser la institución líder en la gestión pública del sector transporte e infraestructura, facilitando la integración regional, el crecimiento económico y el desarrollo social, elevando así la calidad de vida de la población, en armonía con el entorno ambiental.

Funciones Principales

El MTI tiene múltiples responsabilidades centrales, entre las que destacan

- Dirigir la política sectorial y coordinar la planificación con municipios y otros ministerios.
- Administrar y supervisar la conservación y el desarrollo de infraestructura de transporte.
- Supervisar la seguridad y normativas en medios de transporte, puertos y terminales.
- Formular políticas tarifarias y conceder licencias para transporte público.
- Autorizar la construcción de infraestructuras portuarias, aéreas y terrestres.
- Establecer normas técnicas nacionales en coordinación con otros organismos competentes.

Asimismo, el MTI integra y supervisa instituciones especializadas como la Dirección General de Transporte Acuático (DGTA), que regula el transporte marítimo, fluvial y lacustre, asegurando normativas de seguridad y coordinación con autoridades navales.

Alcaldía municipal de Matagalpa

Fuente: (Alcaldía de Matagalpa, 2025).

Información Institucional

La Alcaldía Municipal de Matagalpa liderada por el alcalde Sadrach Zeledón, es la institución encargada de gobernar y gestionar el municipio de Matagalpa, cabecera del departamento homónimo en Nicaragua. Su misión se centra en promover el desarrollo integral económico, social, cultural y político de la población urbana y rural, ejecutando proyectos, obras y servicios con eficiencia, transparencia y

enfoque de género, en coordinación con la sociedad civil local. Con una población municipal que supera los 170 000 habitantes distribuidos en alrededor de 620 km², Matagalpa se destaca como la "Perla del Septentrión" y la "Capital de la Producción" por su dinamismo comercial y agroindustrial, especialmente en café, leche, vegetales y artesanías. La Alcaldía opera desde la ciudad de Matagalpa, ubicada a unos 125–130 km al noreste de la capital Managua, y desde su portal oficial difunde iniciativas como mejoras en infraestructura urbana, educación, transporte, vivienda y proyectos comunitarios enfocados en la calidad de vida de la población.

Misión

Destacar en su compromiso con una gestión pública eficaz, eficiente y transparente, enfocada en la realización de programas, obras, proyectos y servicios municipales con criterios de igualdad, equidad y sostenibilidad, en beneficio del bienestar ciudadano.

Visión

proyecta consolidar un modelo de buen gobierno sustentado en valores cristianos, socialistas y solidarios, que impulse el desarrollo humano inclusivo, el crecimiento económico, y construya una ciudad sostenible, segura y ordenada mediante la participación activa de las familias y la comunidad.

Valores Institucionales

Justicia social, solidaridad, pluralismo, integridad, tolerancia, honestidad, responsabilidad ambiental, lealtad, respeto y transparencia. Estos principios representan el marco ético sobre el cual se estructuran todas las actividades de la alcaldía y constituyen los cimientos de sus políticas y programas.

Organización Institucional

la alcaldía funcione con autonomía municipal, según lo dispuesto por la legislación nacional. Administra y gestiona los asuntos públicos conforme a sus competencias constitucionales, que incluyen el desarrollo socioeconómico, la conservación del medio ambiente, la prestación de servicios municipales, la planificación y ejecución de obras, la recaudación y administración de recursos públicos, entre otros

“El Concejo Municipal” representa la máxima autoridad normativa y tiene a su cargo la elaboración, aprobación y supervisión de planes de desarrollo, presupuestos, arbitrios, proyectos de inversión pública y normativa interna. Por su parte, el “alcalde Municipal”, como autoridad ejecutiva, dirige la administración municipal, coordina y ejecuta los planes y políticas aprobadas, y rinde cuentas ante el Concejo y la ciudadanía

Sistema de Inversión Pública.

Fuente: (SNIP, 2025)

Información Institucional

El SNIP fue oficialmente creado mediante el Decreto N° 61 de 2001, con el objetivo de establecer las normas administrativas para su organización y funcionamiento. Posteriormente, operativizó su funcionamiento a través del Decreto N° 83-2003. Uno de los componentes clave de su estructura es el Banco de Proyectos, administrado por la Unidad Integrada de Proyectos (UIP), que actúa como registro público de todos los proyectos.

Propósito y Funciones

El SNIP es el sistema rector del proceso de inversión pública en Nicaragua. Su objetivo es garantizar la calidad de las inversiones estatales mediante normas, procesos y mecanismos de evaluación rigurosos.

Misión y Visión

Pese a que el sitio web oficial no brinda una formulación explícita de misión y visión, se puede inferir que:

- La misión del SNIP es fortalecer la capacidad institucional del sector público para formular, evaluar y administrar proyectos de inversión pública, promoviendo la eficiencia, la transparencia y el impacto social positivo.

- La visión es consolidarse como un sistema moderno y confiable, capaz de orientar la inversión pública de forma estratégica para el desarrollo sostenible del país.

Valores e Institucionalidad

Aunque no se encuentran valores explícitos en las fuentes consultadas, los principios que guían al SNIP incluyen la transparencia en los procesos de inversión, la eficiencia en la asignación de recursos, la rendición de cuentas y el enfoque en resultados económicos y sociales

CAPÍTULO III. MARCO METODOLOGICO

3.1 Tipo De Investigación y de Proyecto.

Tipo y enfoque de la investigación se enmarca dentro de un diseño metodológico cuantitativo, descriptivo, no experimental y transaccional.

Cuantitativo: Se basa en la obtención y análisis de datos numéricos con el fin de medir, comparar y establecer relaciones entre las variables estudiadas. Permite obtener resultados objetivos y verificables mediante procedimientos estadísticos que facilitan la interpretación de los datos recolectados.

Descriptiva: En la recolección bajo este método, se realizará un enfoque cuantitativo con las variables plasmadas con el objetivo de caracterizar las condiciones de la infraestructura vial, tales como TPDA, resultados geotécnicos, relieve del terreno, espesores del pavimento y el impacto social económico en la comunidad.

No experimental: Las variables no tienen que ser maniobradas de manera intencionada, éstas tienen que estar sujetas a un ex post factor, es decir variable y hechos que ya pasaron y situaciones ya establecidas, tales como: información de libros, trabajos documentales, etc.

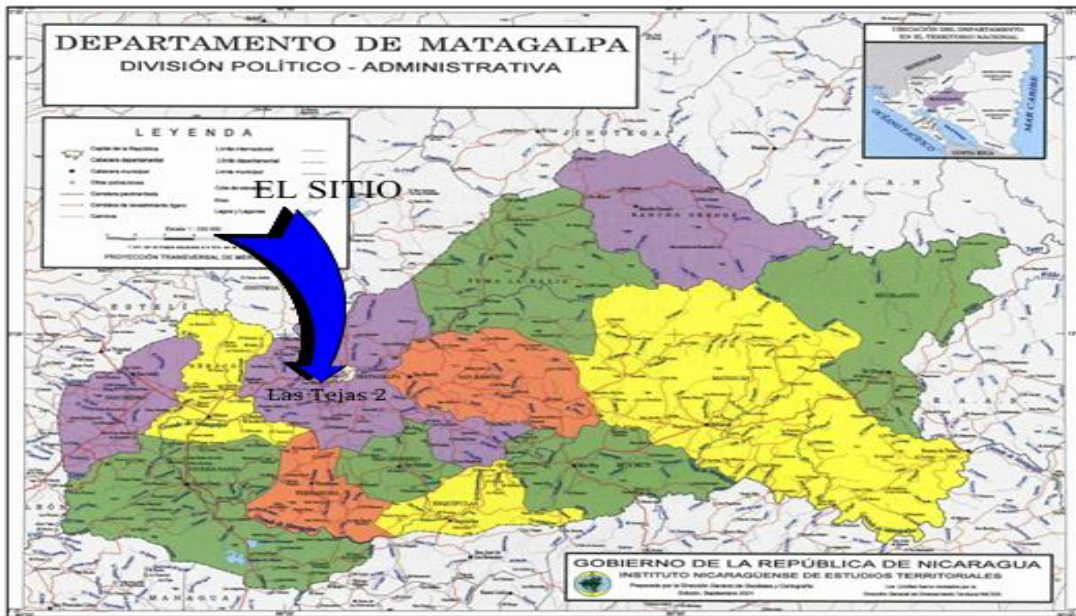
Diseño transaccional o transversal: En las variables se tiene que analizar y describir de acuerdo a su influencia y su tiempo en el año determinado de la presente investigación, dado que la recolección de datos fue en un único momento durante el año 2025, lo cual no considera evaluar cambios en el tiempo.

3.2 Área de Estudio: Macro y Micro Localización.

3.2.1 Macro Localización.

Figura 11

Macro localización del sitio del proyecto



Nota: Obtenido de la página oficial del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI)

El departamento de Matagalpa, con una extensión territorial de 6,806.86 kilómetros cuadrados y una población de 580,000 habitantes, se encuentra localizado a 131 km de la capital, ubicado a más de 3,000 pies sobre el nivel del mar, por lo que esta región goza de un clima más fresco que el resto del país, con ríos y pequeños lagos excelentes para la pesca de pequeños ejemplares. Es uno de los departamentos más productivos del país, y en sus valles se genera una gran diversidad de productos: arroz, maíz, flores y hortalizas variadas, y es donde se encuentran concentrados los principales productores del café y ganado. (Alcaldía de Matagalpa)

El departamento de Matagalpa está conformado por 14 municipios: Matagalpa, Sébaco, San Isidro, Ciudad Darío, Terrabona, San Dionisio, Esquipulas, Muy Muy, San Ramón, Matiguás, Río Blanco, Rancho Grande, El Tuma - La Dalia y Waslala

3.2.2 Micro Localización.

El área en estudio se caracteriza por tener pendientes pronunciada y una topografía irregular, el sitio de exploración de estudio está ubicada en la comunidad Las Tejas #2 y se conectada con vecinales, como: Limixto, Jucuapa, Las Mezas y Alto Alegre, zonas que comunidades desarrollan actividad agrícola como producción de frijol, maíz, chayote, maracuyá pipián, granadilla entre otros, productos que dan un gran aporte económico al municipio de Matagalpa.

Figura 12

Micro localización del sitio del proyecto



Nota: Tomado de Google Earth

3.3 Unidades de análisis: Población y muestra.

3.3.1 Población:

Según (Tamayo, 2012) En su libro “El Proceso de la Investigación Científica”. Nos dice: La población es la totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto de entidades que participan de una determinada característica, y se le denomina la población por constituir la totalidad del fenómeno agregado a una investigación.

La población del sitio del proyecto, en este caso la comunidad de “Las Tejas #2”, cuenta con un total de 330 habitantes según el dato poblacional proporcionado por el L. Jacinto Saenz encargado del área estadística del Sistema Local de Atención Integral en Salud (SILAIS Matagalpa, 2025).

3.3.2 Muestra:

Según (Tamayo & Tamayo, 2007) muestra es una porción representativa de la población, que permite generalizar los resultados de una investigación. Además, indica que el muestreo es el instrumento de gran validez en la investigación, con el cual el investigador selecciona las unidades representativas a partir de las cuales obtendrá los datos que le permitirán extraer inferencias acerca de la población

En el presente estudio, la selección de participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia a 50 habitante, ya que el propósito no fue obtener una muestra representativa en términos estadísticos, sino recopilar información técnica y cualitativa directamente de los actores vinculados al uso y mantenimiento del tramo vial en la comunidad Las Tejas #2, departamento de Matagalpa. Para ello, se aplicó la técnica cualitativa del grupo focal, conformado por líderes comunitarios, transportistas, productores locales y representantes municipales, quienes aportaron experiencias y valoraciones sobre las condiciones actuales de la vía y las necesidades de mejora.

Se establecieron como criterios de inclusión: personas residentes en la comunidad Las Tejas #2 o zonas adyacentes, usuarios frecuentes de la vía, y actores con conocimiento o participación directa en el transporte, producción o gestión comunitaria. Los criterios de exclusión comprendieron a individuos sin relación con el uso del tramo vial, a quienes no residen en el área de estudio o que no poseen información relevante para el análisis técnico.

Este enfoque metodológico permitió priorizar la calidad y pertinencia de la información recolectada, garantizando que los datos obtenidos respondieran a las condiciones reales del entorno vial y fortalecieran el diagnóstico técnico del proyecto.

3.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Tabla 16

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Área	Técnica	Instrumento
Socioeconómica	Entrevista	<ul style="list-style-type: none"> • Cuestionario aplicado a los pobladores ubicados sobre el eje principal de la vía
Estudio de tránsito	Conteo vehicular	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de observación
Topografía	Levantamiento planimétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de observación
Geotecnia	Análisis de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> • Check List
Diseño de pavimento	Cálculo de Caracterización subrasante	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de observación • Check-list
Diseño vial	Estudio topográfico Análisis de alineamientos utilizando normativas SIECA y AASHTO	<ul style="list-style-type: none"> • Guía de observación, Check-list

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Confiabilidad y Validez de los Instrumentos

Frecuentemente los investigadores necesitan tener seguridad que el instrumento que utilizan para extraer cierta información de cualquier fenómeno mida lo que realmente quieren medir y que sea coherente, para esto todo instrumento de medición debe tener dos importantes características que son la confiabilidad y validez.

En cuanto a la validación de datos e instrumentos del estudio de tránsito se hará uso del Manual para la revisión de estudios de tránsito del M.T.I

Considerando que los equipos electrónicos acumulan un error en la medición de ángulos y elevaciones, procederá a nivelar o corregir las cotas de cada PI de la Poligonal Base (eje central) utilizando un nivel de precisión haciendo uso del método diferencial y doble recorrido (Ida y regreso), en cuanto a la precisión lineal y angular se tomará en cuenta lo solicitado en el Manual para la revisión de estudios topográficos del M.T.I

De lo anterior, es importante señalar que el instrumento que los instrumentos utilizados, tanto para el estudio de tránsito, topográfico y diseño vial cumple todos los requerimientos técnicos, ya que estos fueron validados por especialistas de transporte a nivel nacional e internacional.

3.5.1 Validación de instrumentos.

3.5.1.1 Alpha de Cronbach. El alfa de Cronbach (α) es una estadística utilizada para medir la fiabilidad interna de un cuestionario o instrumento de medición, tomando en cuenta el SPSS donde el valor mínimo aceptado debe ser mayor a 0.70 es decir entre mayor este a 1 mayor confiabilidad tendría el documento.

En nuestro caso nuestro grado de fiabilidad del instrumento fue de 0.945 donde su escala es aceptación es de alta fiabilidad.

- $\alpha \geq 0.90 \rightarrow$ Excelente (alta fiabilidad)
- $0.80 \leq \alpha < 0.90 \rightarrow$ Buena
- $0.70 \leq \alpha < 0.80 \rightarrow$ Aceptable

- $0.60 \leq \alpha < 0.70 \rightarrow$ Cuestionable
- $0.50 \leq \alpha < 0.60 \rightarrow$ Pobre
- $\alpha < 0.50 \rightarrow$ Inaceptable

Figura 13

Validación de encuesta a través de SPSS

RESUMEN DE PROCESAMIENTO DE CASOS		
Casos	N	%
Válidos	5	100.0
Excluido ^a	0	0
Total	5	100.0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Fuente: SOTFWARE SPSS

Figura 14

Estadística de grado de confiabilidad a través de SPSS

ESTADÍSTICAS DE FIABILIDAD	
Alfa de Cronbach	N de elementos
.945	15

Fuente: SOTFWARE SPSS.

3.6 Procesamiento de Datos y Análisis de la Información

- Se aplicará el método de la AASHTO-93 para el diseño de la estructura de pavimento (Base, Sub-base, Sub-rasante).
- Anuario estadístico del sector transporte del M.T.I, referente al cálculo de la tasa de crecimiento del parque vehicular
- Anuario de Aforos MTI 2022, referente a la elección de factores de expansión según estaciones de conteo.
- Ministerio de salud, SILAIS Matagalpa (área de estadística), referencias a tasas de crecimiento poblacional de la comunidad
- Manual Centroamericano para el Diseño de Carreteras Regionales SIECA 2011 para considerar normas y criterios de diseño.
- Especificaciones NIC-2019 para caminos rurales de bajo costo.
- Software Microsoft Excel 2020 para el procesamiento del levantamiento de aforo vehicular, así como para el análisis de sondeos de línea y bancos de materiales.
- Software DISAASHTO, para el diseño de espesores de la estructura de pavimento.
- Software Civil3D, para generar perfiles longitudinales, secciones transversales, el diseño geométrico vial y planos de proyecto

CAPÍTULO IV: PROYECTO

4.1 Identificación del Proyecto.

El proyecto se desarrolla en la comunidad de las tejas #2 en la cual se identificó una problemática de infraestructura vial, esta comunidad se caracteriza por sus actividades agrícolas como la siembra de cultivos como lo son maíz , frijol, Cálala, granadilla, ayote, Pipián, chaya entre otros, dicha producción es movilizad a al departamento de Matagalpa para su posterior distribución de bastecimiento donde esta actividad aporta económicamente a la comunidad como también a los mercados del municipio de Matagalpa, estos aspectos importante resaltan la necesidad de poseer una infraestructura vial de mejor calidad, ya que actualmente su estado es una de carretera de macadán, hay deterioro en la vial debido que es un tramo de carretera que circulación de vehículos de las diferentes categoría tanto como vehículos livianos, vehículos de cargas, vehículo de pasajeros lo cual va disminuyendo la calidad del tramo de carretera, es tramo que en temporada de lluvia es afectado también esta comunidad es un conector clave para las demás comunidades con estancamiento de agua debido que carece de un sistema de drenajes provocado daños en la vial de lavado del material de macadam ocasionado hoyos en vía lo cual afecta directamente a la población por la necesidad de transporte público para su movilización a primera horas de las mañanas para su trabajo.

4.1.1 Diagnóstico de la Situación Actual.

- **Área de Influencia Vial.**

La sección de estudio consta de 2 km de carretera rural en la comunidad de Las Tejas #2. Su área de captación se basa en su uso como vía de acceso por la población local y los habitantes de la zona circundante. Está conectada con la red vial relevante, enlazando las áreas de producción agrícola con los mercados locales y municipales y es un medio de tránsito vital para personas y mercancías.

- **Condiciones Físicas de la Carretera.**

Hasta ahora, la carretera presenta una geometría deficiente viales, así como la falta de estructura técnica en el pavimento para soportar los efectos del clima.

En el período seco, el tránsito genera nubes de polvo que provocan una visibilidad reducida y riesgos para la salud, aumentando las enfermedades respiratorias, particularmente en niños y ancianos.

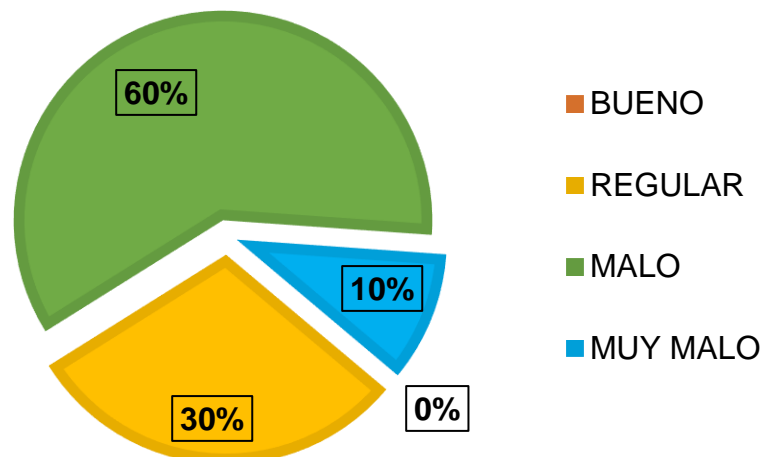
A través de encuestas realizadas a 50 comunitarios de la zona se obtuvieron los siguientes resultados:

- 60% de los encuestados indica que las condiciones de la carretera son malas ya que presentan bastantes baches y en épocas de lluvia estos sean fuentes para la proliferación de zancudos y en verano a través de las partículas de polvo dispersas provoquen enfermedades respiratorias, estos factores conlleva que la calidad de vida sea baja.
- 10% concluyó que las condiciones eran las más bajas posibles
- Por último, el 30% afirmó que eran regulares datos generales mostrados en el siguiente gráfico de pastel.

Figura 15

Grafico de estado actual de la carretera a través de encuesta

ESTADO ACTUAL DEL CAMINO



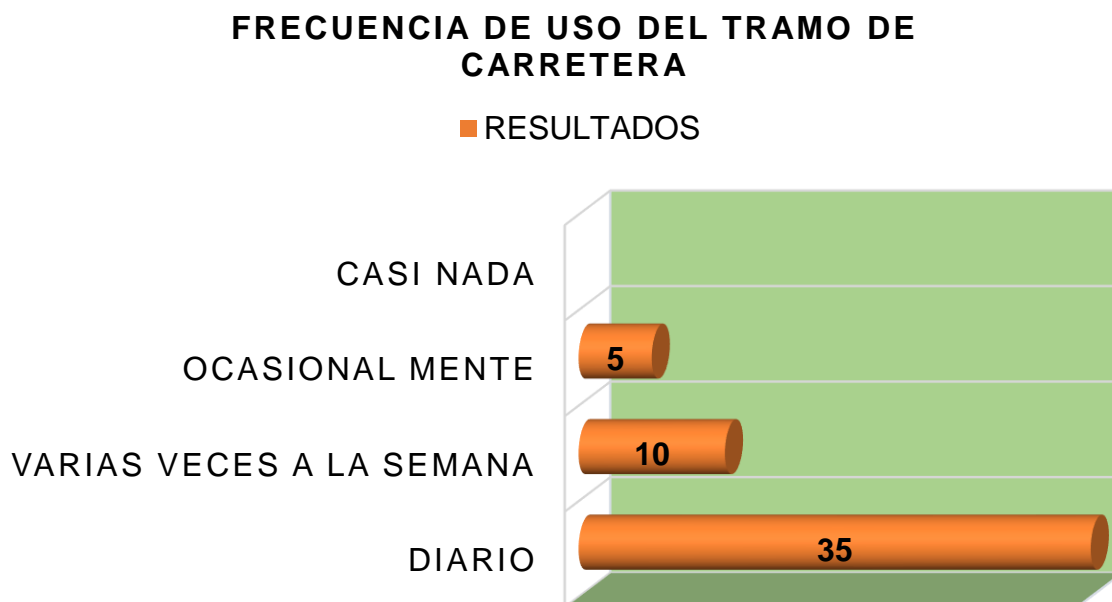
Fuente: Elaboración propia

- **Movilidad y Seguridad Vial.**

Cabe destacar que la baja calidad del transporte público y la dependencia de métodos alternativos (motocicleta, bicicleta o a pie) revelan la falta de acceso. La falta de un diseño vial de buena calidad supone un peligro de accidentes de tráfico y daños mecánicos para la flota vehicular, creando costos adicionales para los hogares y disminuyendo la seguridad de sus usuarios.

Figura 16

Gráfico de barra frecuencia de uso del tramo de carretera



Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico de barra mostrado se logra demostrar que 35 habitantes de 50 encuestado utilizan la carretera diariamente, demostrando que este tramo es la principal vía económica de la comunidad, además 10 de los encuestados confirmaron que utilizan varias veces a la semana la carretera y 5 la utilizan ocasional mente, estos resultados demuestran la dependencia de los pobladores para sus principales actividades y el mejoramiento de este tramo de carretera desarrollara de gran manera la actividad económica y su seguridad.

- **Impacto Socioeconómico Actual**

La comunidad depende predominantemente de la agricultura (cultivos alimentarios y del trabajo en los benéficos de café) el mal estado de la carretera resulta en pérdida de ingresos por la llegada tardía de mercancías al mercado. Además:

- Aumenta los costos de transporte, ya que es más lento y costoso viajar y reparar vehículos.
- Limita las oportunidades de progreso económico y social al restringir los vínculos con otras localidades y mercados.

Figura 17

Grafico de barra, principales actividades económicas de la comunidad



Fuente: Elaboración Propia

En el anterior gráfico de barra se logró identificar que en la comunidad de Las tejas #2 tiene una gran actividad económicas mayormente ligada a la agricultura donde de 50 encuestados 30 indicaron que su principal actividad económica de la comunidad es la agricultura, 10 en el área de comercio, 5 son familias asalariados y 5 estudiantes.

- **Principal Problema Identificado**

La carretera tal como existe actualmente es inadecuada para las cargas de tráfico actuales y crecientes y la población. La deficiencia de pavimento compactado de firmeza y el rápido escurrimiento de agua minimizan la longevidad de esta carretera y, por ende, el nivel de vida y el comercio local. Todo esto definitivamente justifica la necesidad de un diseño geométrico y estructural para pavimento articulado según las normas AASHTO 93 y SIECA 2011.

4.1.1.1 Diagnóstico del Área de Influencia. La comunidad de Las Tejas #2 está ubicado en Sureste de la cabecera departamental de Matagalpa, municipio de Matagalpa, el tramo de carretera del sitio de estudio comprende 2 km, lo cual sirve de conector vial y económico de las comunidades aledañas, hacia el municipio de Matagalpa, donde los vehículos que transitan están mayor mente determinados por vehículos livianos como motocicletas y camionetas que sirven como alternativas de transportes de los habitantes como también como método comercio de sus productos agrícolas, vehículos de pasajeros como buses que transitan con una frecuencia de media hora desde las 6:00 am hasta las 7:30 am transitando hacia Matagalpa, de regreso desde las 12:00 MD hasta las 2:00 pm siendo, también los vehículos de carga como los son C2 y C3 que son frecuente mente utilizados para el transporte de la producción agrícolas de las comunidades como también para comercializar productos de abarroterías.

4.1.1.2 Diagnóstico de Involucrados.

- **Productores Agrícolas**

Uno de los beneficiarios más agradecidos son los agricultores locales, que dependen de la carretera para trasladar sus productos como maíz. Frijol, Calala, granadilla, pipian, ayote, chayote entre otros. Este grupo de individuos utilizan este tramo de carretera para transportar dichos productos hacia los mercados locales del municipio de Matagalpa con el fin de bebeneficiar la economía de sus hogares.

- **Comerciantes y Pequeños Negocios Locales**

También se benefician, ya que la mejora de la carretera aumentará la accesibilidad de clientes y proveedores y se reducirán los costos logísticos. Lo que realmente les preocupa es abrir el acceso a suministros y crear un mercado más grande para vender productos. Su capacidad de gestión es limitada, ya que la mayoría está vinculada a su entorno urbano.

- **Transportistas y Usuarios Frecuentes**

Esto se aplica a conductores de transporte público, motocicletas, automóviles privados, así como a ciclistas, camiones de cargas como C1 y C2 entre otros. Dicho proyecto beneficiara el confort de los usuarios de transporte, además de reducir el gasto operación de los transportes además de mejorar la seguridad vial.

- **Público General**

Los residentes que tienen que usar la carretera para ir a la escuela, centro de salud, negocios locales u otras actividades diarias. Este proyecto dinamizaría las diferentes actividades que tengas que realizar estos usuarios

- **Instituciones Locales y Municipales**

La Alcaldía del municipio de Matagalpa y el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) están involucrados en la gestión, implementación y supervisión del proyecto. Su propósito es desarrollar regiones, ejecutar proyectos de inversión pública y aumentar los índices sociales. Tienen un gran impacto porque tienen influencia técnica, financiera y regulatoria.

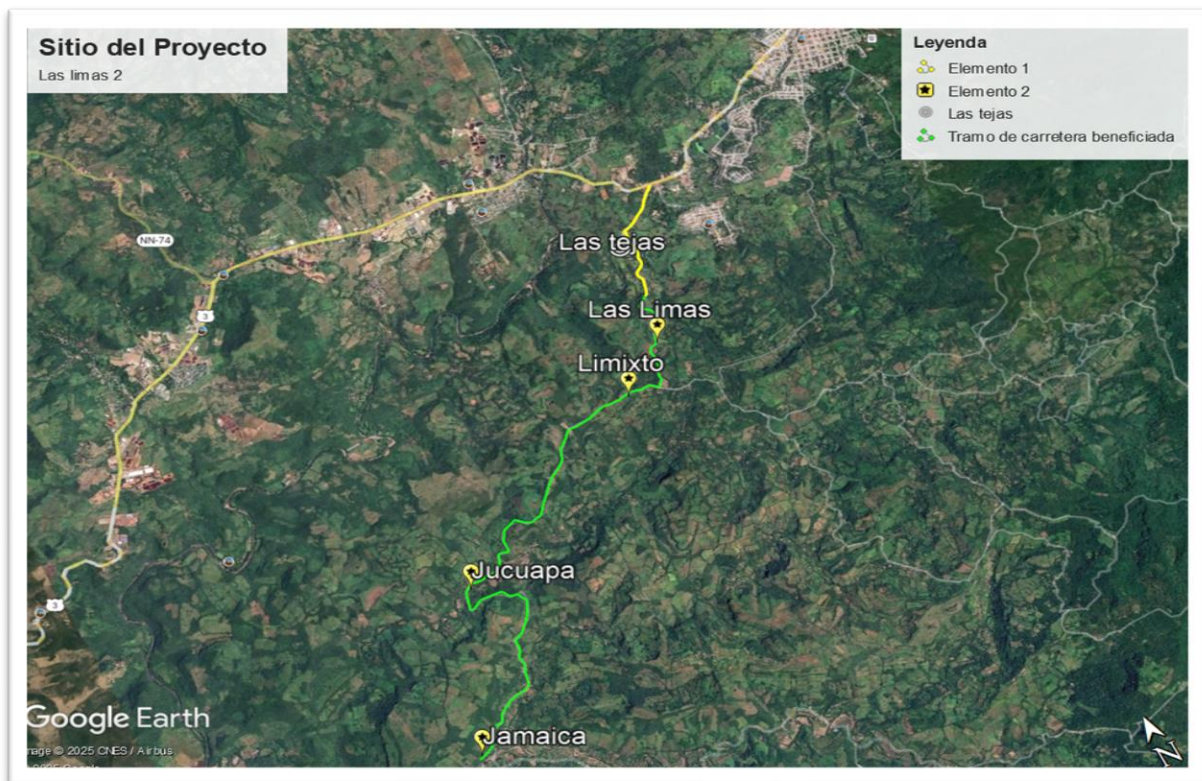
- **Dueños de Propiedades**

Propietarios de tierras afectados por la ruta: pueden presentar un recurso si están sujetos a expropiación parcial o si sus cultivos se ven afectados

- **Comunidades Beneficiadas**
 - Limixto
 - Lizarco
 - Las Limas
 - Jucuapa
 - Jamaica

Figura 18

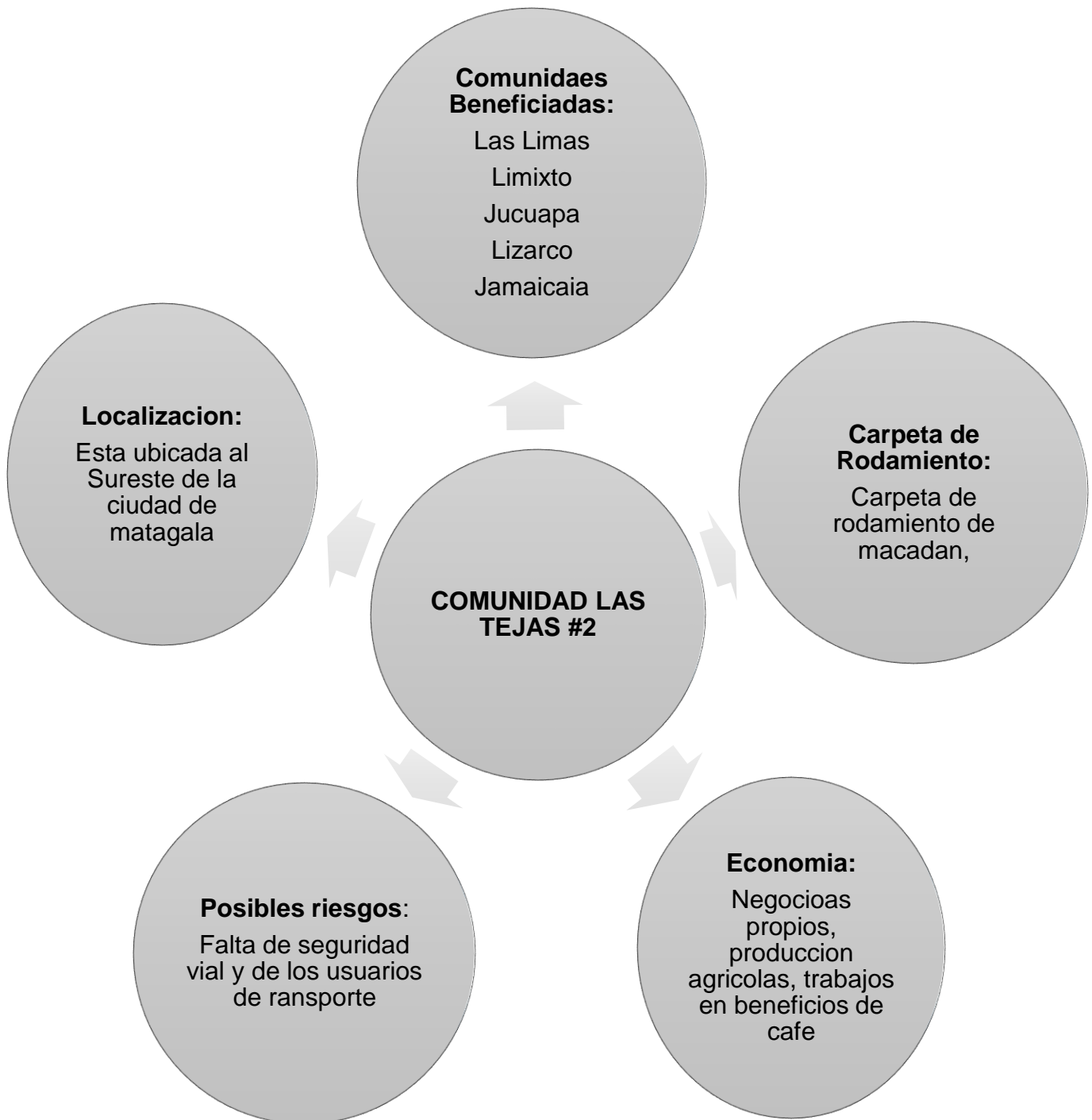
Comunidades beneficiadas con el tramo de carretera



Fuente: Google Earth

Figura 19

Diagramas variables del diagnóstico del área de influencia



Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Definición del problema: Causas y efecto

4.1.2.1 Definición del problema central. La comunidad de Las Tejas #2 , se caracteriza por tener una dependencia económica de su producción agrícola, trabajo en los beneficios de café y ventas de productos y abarrotes en tiendas locales entre otros , todos estas actividades se ven afectadas directamente al diseño geométrico de la vía como también al estado del tramo de carretera ya que a través de este medio se distribuyen la producción local a los mercados del municipio de Matagalpa, los habitantes que trabajan en los acopios de café dependen de este tramo de carretera para asistir a tiempo a sus actividades, los camiones de carga que distribuyen los productos a las ventas locales de Las tejas y sus comunidades dependen del estado de la carretera como consecuencia agregan un valor extra a la distribución y costos de los productos de acuerdo al estado la capa de rodamiento, por otra parte los habitantes utilizan los vehículos de pasajeros para hacer sus diligencias, donde el estado de la carretera juega un papel fundamental en la seguridad de sus usuarios, ya que en temporadas donde el tráfico se intensifica muchos de estos vehículos de pasajeros transitan a su máxima capacidad.

La existencia de un tramo de carretera más tecnificado en este caso un pavimento articulado potenciaría la economía local, reduciendo los tiempos de viajes, gastos operativos de los vehículos, seguridad y confort de los pasajeros, como también reducir problemas de enfermedades respiratorias ya que en épocas secas el constante tráfico produce muchas partículas de polvo de la actual capa de rodamiento de macadán.

4.1.2.2 Análisis de Causas. Tomando en cuenta el problema central surge la duda cuales pueden ser los factores o causas que originan la problemática principal del proyecto en la comunidad las Tejas #2 donde planteo los siguientes factores:

4.1.2.2.1 Causas principales.

- Deficiencia en la estructura vial existente:

La falta de una capa de rodamiento tecnicada en esta casa una que se adapte a la exigencia de la vía.

- **Mantenimientos preventivos:**

El poco mantenimiento que se brinda a la carpeta de rodamiento o sistemas de drenaje reducen la vida útil del tramo de carretera, provocando gastos adicionales a los usuarios de la vía como también pondrían en riesgo de seguridad a los habitantes que utilicen, medios de transportes ordinarios y propios.

- **Factores Ambientales y geográficos:**

En la comunidad de Las Tejas se caracteriza por ser una zona sinuosa y topografía accidentada que de cierto modo dificulta la conservación de la vía, y en épocas de lluvia al no contar con una carpeta de rodamiento de buenas condiciones provoca el degrada miento de su superficie originando, fracturas y baches en la vía.

Tabla 17

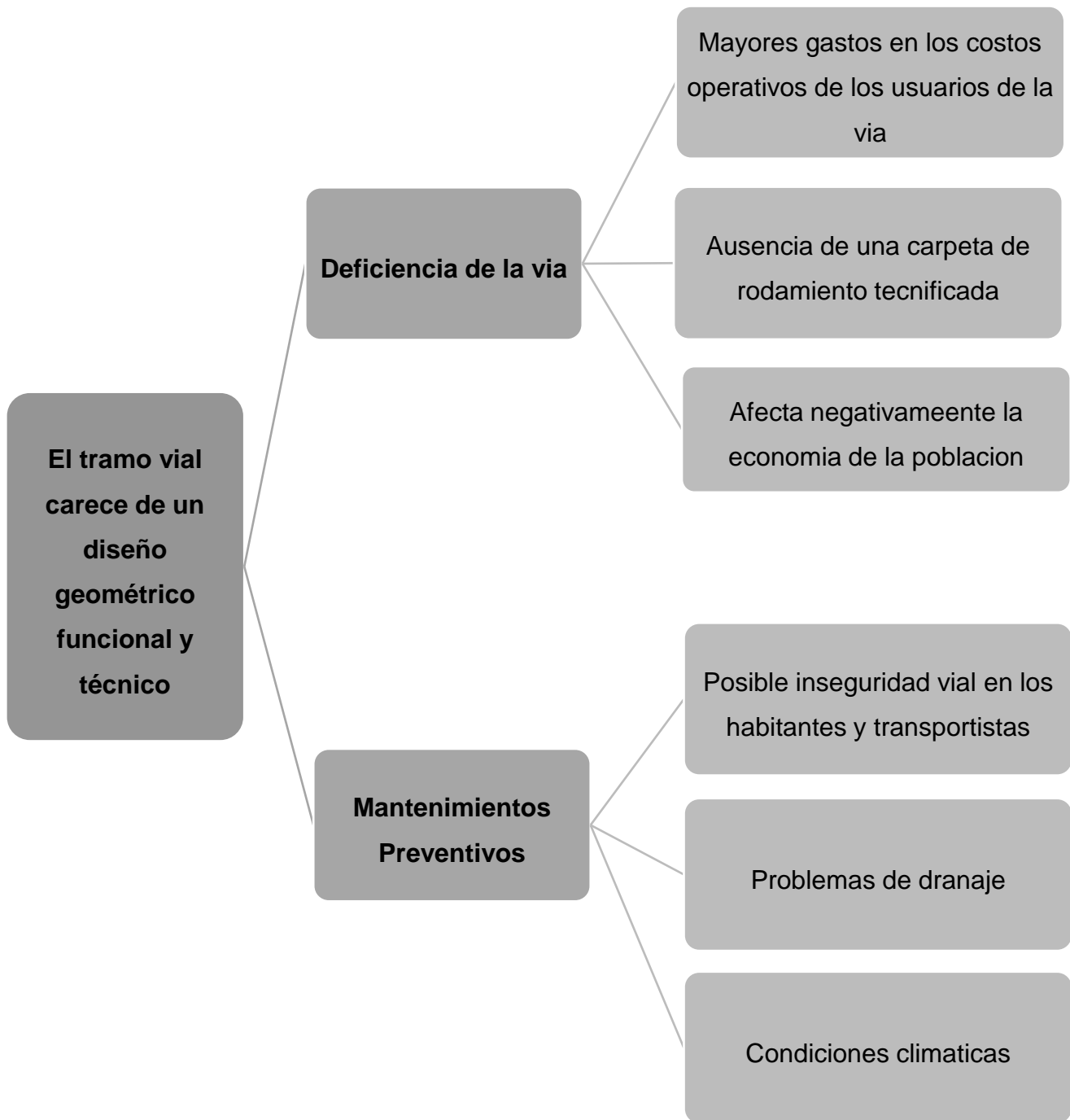
Listado de causas del problema

Problema	Causas	Directa (Di) Indirecta (I)
	Mal estado de la carpeta de rodamiento	Di
Falta de un diseño geométrico vial adecuado y mal de la via en la comunidad de las tejas #2	Condiciones topografías Mantenimientos preventivos	Di Di
	Factores ambientales	I

Fuente: Elaboración propia

Figura 20

Árbol de causas



Fuente: Elaboración propia

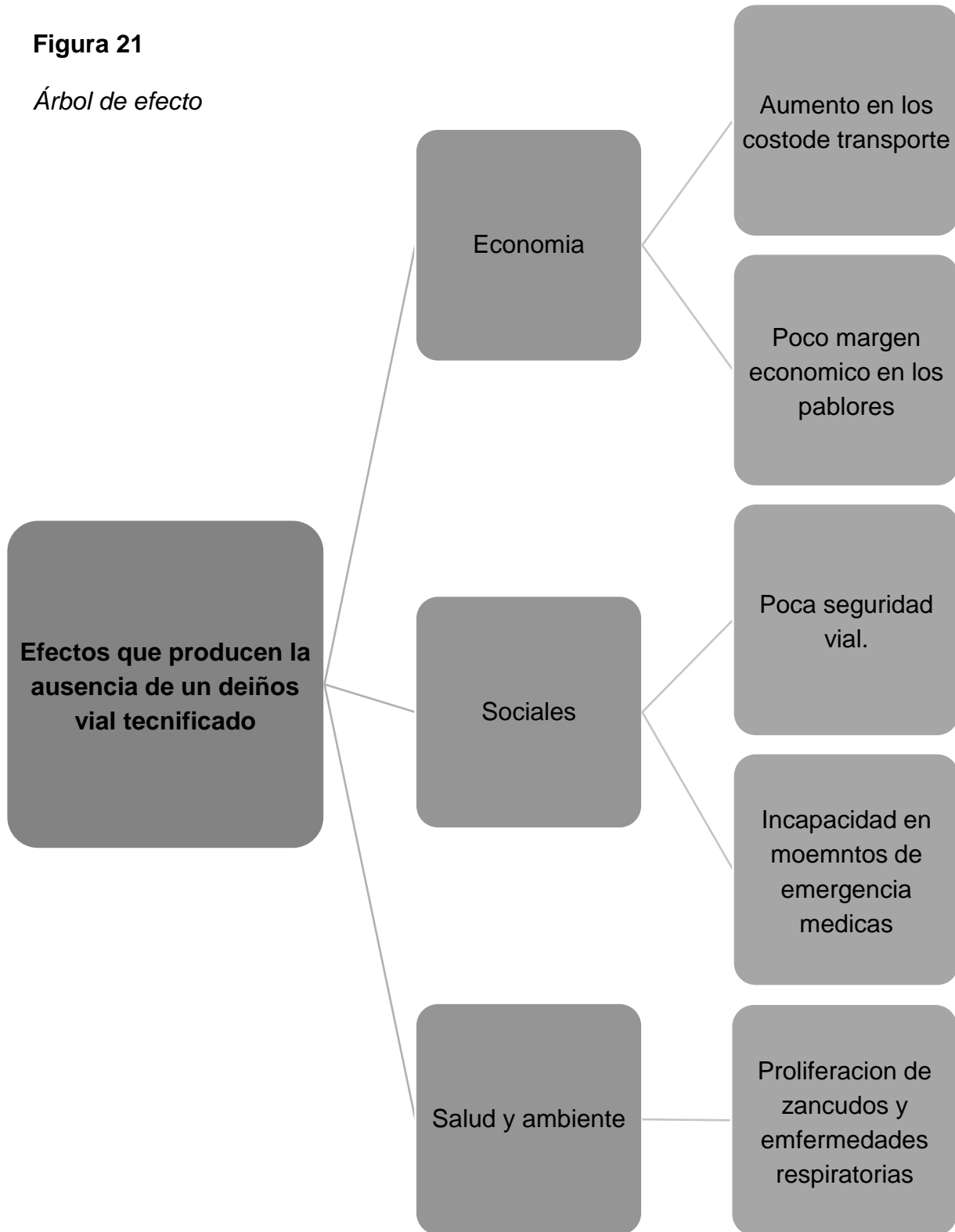
4.1.2.3 Análisis de Efectos

4.1.2.3.1 Efectos Principales. Teniendo en cuenta las causas del problema principal que surge en la comunidad de Las Tejas, referente a la ausencia de un diseño geométrico óptimo y técnico, surgen algunos efectos como los mencionados a continuación:

- **Efectos Económicos.** El estado de la carretera cumple una función principal en el desarrollo de cada comunidad, pueblo, municipio, ciudad y país; haciendo referencia a la Comunidad de Las Tejas #2 donde su economía se basa principal mente en la producción agrícola, donde condiciones de la vía, aumentarían la reparación en los vehículos y por ende incrementar el costo en los productores y transportistas que frecuentan la comunidad, además de que estos factores significan pérdidas económicas hacia los pobladores.
- **Efectos Sociales.** Las condiciones viales determinan los tiempos de viajes, que a la hora de una emergencia médica pueden significar la vida o muerte para cualquier habitante de la zona, además de que los usuarios de la vía están susceptibles a posibles accidentes de tránsito por las condiciones de la carpeta de rodamiento.
- **Efectos ambientales y de salud.** En la comunidad de Las Tejas en épocas de verano la actividad de tránsito causa bastante polvo que afecta las condiciones respiratorias de los habitantes y además en invierno, por las constantes lluvias surgen lo que son estancamiento de agua que sirven como criaderos de zancudos que causan enfermedades como malaria, zika, fiebre y dengue, este último en el año 2024 se registraron más de 55,542 casos y un muerto en el país en los primeros 7 meses según el Ministerio de Salud de Nicaragua (MINSA, 2024).

Figura 21

Árbol de efecto



Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Objetivo del Proyecto: medios y Fines.

4.1.3.1 Definición del Objetivo Central. El proyecto tiene como objetivo principal realizar un diseño geométrico vial y la implementación de un pavimento articulado para 2 kilómetros de carretera de pavimento articulado en la localidad de Las Tejas #2, Matagalpa, con el propósito de mejorar las condiciones actuales ya que, por la falta de infraestructura técnica adecuada, surgen problemas de transitabilidad, además de desconfianza en la seguridad a los usuarios de la vía.

Dichos efectos deberán ser mejoradas para promover la seguridad vial, disminuir los costos de transportes, aumentar la calidad de vida y confort de los pasajeros en la vía.

Estas propuestas de beneficios se toman en base a criterios de un objetivo bien definido tomando en cuenta los factores siguientes:

4.1.3.1.1 Alcanzables. Se utilizarán metodologías establecidas como los son las normas (SIECA 2002) y el método (AASHTO-93), además de normas Nic-2019 para obtener los estándares mínimos de calidad y seguridad en el tramo de carretera.

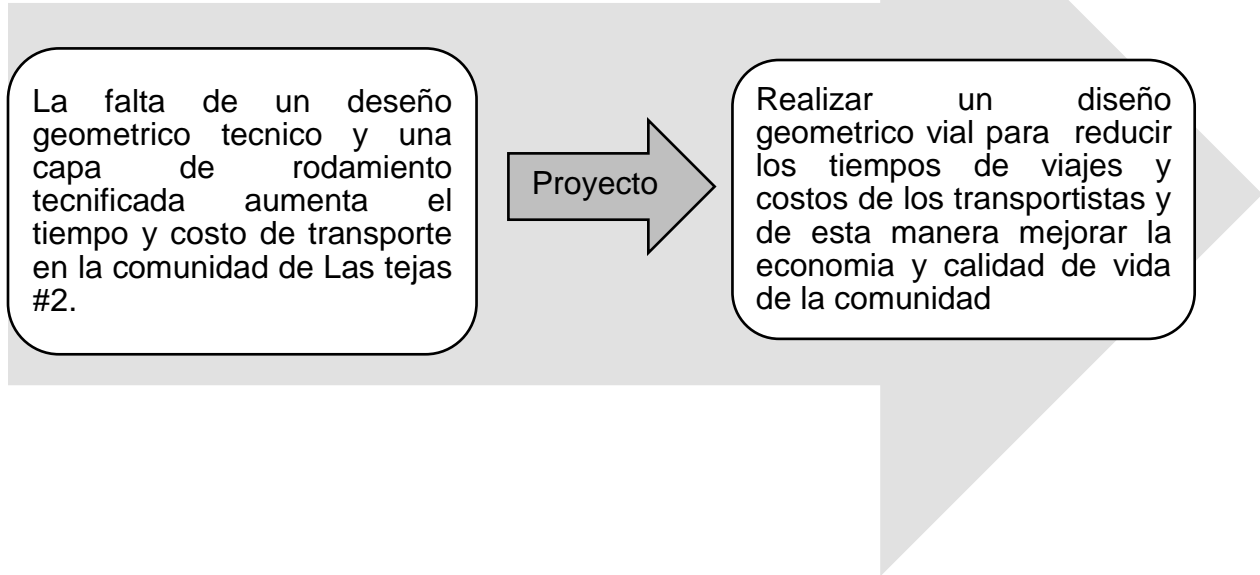
4.1.3.1.2 Sostenibles. Estas acciones darán beneficio inmediato en la economía de la zona, también darán mejora de movilidad, seguridad y productividad, y en el futuro darán más oportunidad de sostenibilidad y desarrollo económico a la comunidad

4.1.3.1.3 Coherencia. El cumplimiento de este objetivo desarrolla técnicas sociales, ambientales económicas y estas acciones no imposibilita otros objetivos de desarrollo local si no que más bien los maximiza.

4.1.3.1.4 Cuantificables. Las técnicas de desarrollo se pueden medir a través de indicadores como menor gasto de tiempo de viaje, menor desgaste en el transporte, mejor acceso de servicios básicos y confort y calidad de vida en los habitantes de la comunidad de Las Tejas.

Figura 22

Objetivo central del proyecto



Fuente: Elaboración propia

4.1.3.2 Análisis de medios del proyecto

Tabla 18

conversión de Causas a medios

Causas	Medios
Camino sin diseño geométrico	Elaborar diseño geométrico (alineamiento horizontal/vertical, radios, pendientes, distancias de visibilidad) conforme SIECA 2011 y modelado en Civil 3D.
Falta de estructura de pavimento adecuada (superficie de tierra; deformaciones rápidas).	Dimensionar pavimento articulado con AASHTO-93.

Causas	Medios
Polvo excesivo en verano que afecta salud.	Carpeta de rodamiento a base de pavimento articulado reduciendo significativamente el polvo.
Riesgo vial y daños mecánicos por geometría y superficie.	Seguridad vial: peralte/anchos adecuados, control de accesos.
Mantenimiento insuficiente y baja priorización.	Programa de mantenimiento rutinario y periódico.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.3 Análisis de fines del proyecto. Como fin principal del proyecto que tenemos es convertir los 2 kilómetros en el sector de Las Tejas #2 en una infraestructura con pavimento articulado y características de una infraestructura segura, de tránsito que mejoren la movilidad, reduzca los costos de operación vehicular y que mejore la calidad de los pobladores todo esto a través de la implementación de un diseño geométrico vial que actualmente es inexistente en el tramo de carretera.

Tabla 19

Efectos vs fines del proyecto

Nivel	Efectos (en negativo)	Fines (en positivo / reversión de efectos)
Fines directos	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de acceso a salud y educación. • Altos costos de transporte. • Accidentes por malas condiciones viales • Problemas de salud por polvo y lodo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Acceso garantizado a servicios básicos (salud, educación, comercio). • Reducción de costos de transporte y mantenimiento vehicular. • Mejora de la seguridad vial. • Ambiente más saludable (menos polvo y lodo).

Nivel	Efectos (en negativo)	Fines (en positivo / reversión de efectos)
Fines indirectos	<ul style="list-style-type: none"> • Baja competitividad agrícola. • Economía sin crecimiento. • Desigualdades sociales frente a otras comunidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la productividad agrícola y comercial. • Integración territorial y comunitaria. • Nuevas oportunidades económicas y de inversión. • Reducción de desigualdades sociales.
	Fin último	<ul style="list-style-type: none"> • Estancamiento del desarrollo socioeconómico. • Disminución de la calidad de vida.

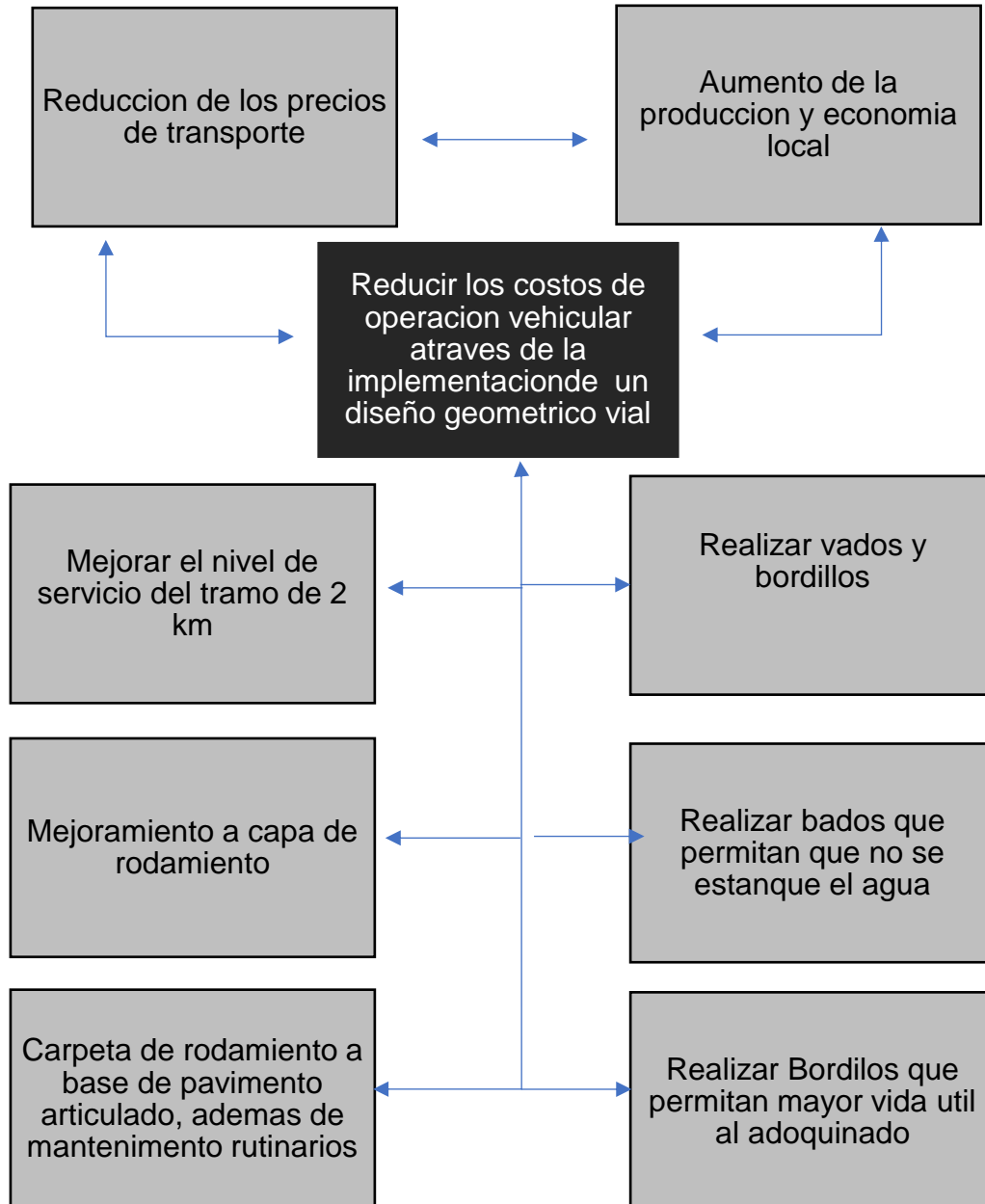
Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Alternativas de Solución

4.1.4.1 Identificación de Acciones.

Figura 23

Árbol de medios



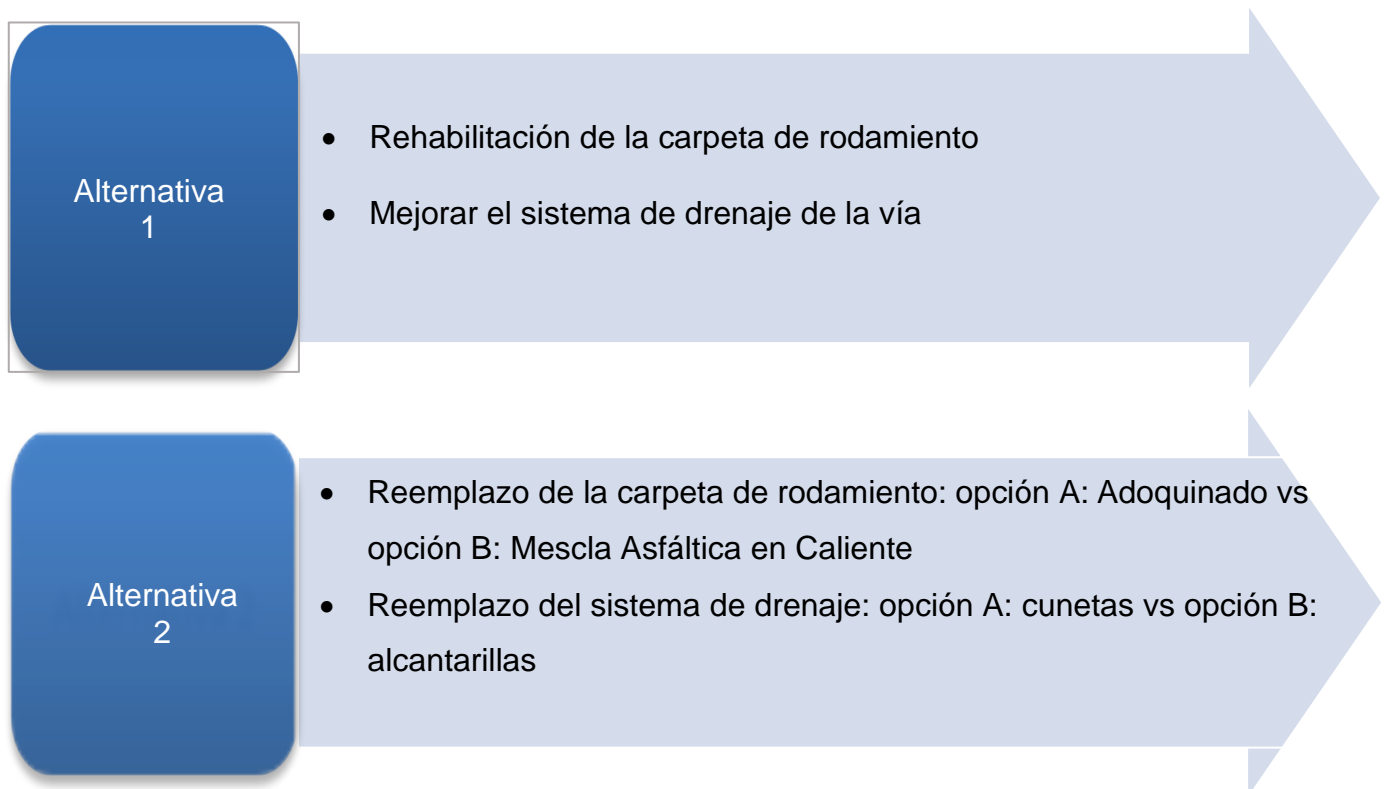
Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se plantean alternativas posibles lo cual se pueden realizar mutuamente y que no afecta en desarrollo una de la otra, como podemos observar la implementación de un diseño geométrico vial y carpeta de pavimento articulado se puede realizar una actividad en simultaneo como lo es vados en puntos estratégico que permitan que en épocas lluviosas el paso del agua y que este no disminuya la vida útil de la carpeta de rodamiento

4.1.4.2 Planeamiento de Alternativas.

Figura 24

Composición de tráfico comunidad Las Tejas #2



Fuente: Elaboración propia

4.2 Formulación de Proyecto.

4.2.1 Análisis de la Demanda.

4.2.1.1 Caracterización de los Usuarios del Proyecto. En la comunidad de las tejas en el tramo de los 2 kilómetros que comprende a el proyecto son utilizados diariamente por vehículos de carga, de transporte de pasajeros, también de uso privado que según (MTI, 2022) a través de su anuario de transporte los clasifica de la siguiente manera:

CLASE 1: Motocicletas.

CLASE 2: Vehículos para pasajeros.

CLASE 3: Vehículos simples de una sola unidad, dos ejes, cuatro llantas.

CLASE 4: Buses y Minibuses.

CLASE 5: Camión de una sola unidad, dos ejes, seis llantas.

Clase 6: Camión de una sola unidad de tres ejes.

CLASE 7: Camión de una sola unidad de cuatro ejes.

CLASE 8: Camiones de remolque simple de cuatro y tres ejes.

CLASE 9: Camiones de remolques simples de cinco ejes.

CLASE 10: Camiones de remolque simple con seis ejes.

CLASE 11: Camiones de remolque múltiple con cinco ejes.

CLASE 12: Camiones de remolque múltiple de seis ejes.

CLASE 13: Camiones de remolque múltiple con siete ejes.

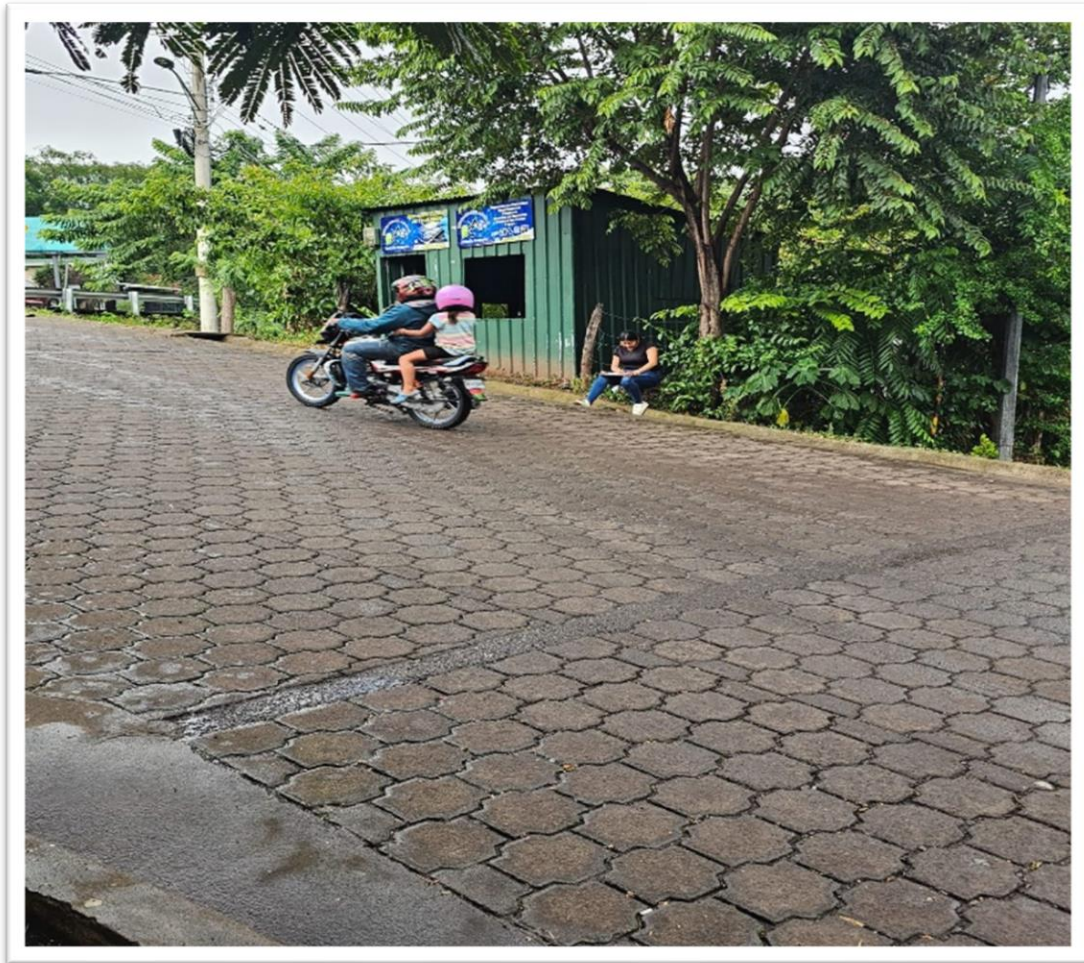
CLASE 14: Camiones de remolque múltiple con ocho ejes.

4.2.1.2 Aforo vehicular. El periodo de desarrollo del aforo fue de 4 días, consecutivo siendo miércoles, jueves,5 viernes sábado con un horario de doce horas diurnas de 6:00am a 6:00pm en tramo de carreteras las tejas #2 del departamento de Matagalpa que se hizo el conteo ambos sentidos de los diferentes vehículos teniendo en cuenta la clasificación de vehículos acorde a lo normado por el anuario de aforo de tráfico del año 2022 (MTI, 2022). Determina las estaciones de conteo en puntos específicos en la zona de estudio como la entrada y salida del tramo de carretera las tejas #2 para

contabilizar los vehículos que circulan en ambos sentidos de forma manual. Se inicio el conteo de la estación 0+000 ubica en la entrada a la comunidad sobre la vía.

Figura 25

Conteo vehicular en la estación 0+000 en Las Tejas #2



Fuente: propia

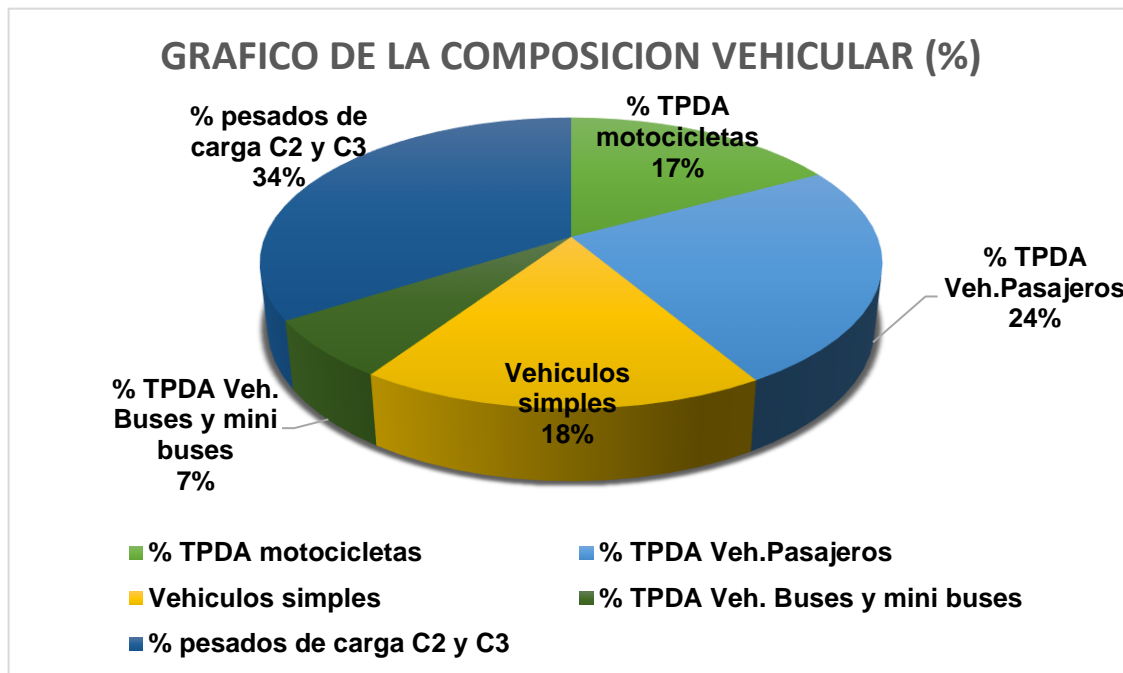
Para un total de 1164 vehículos contabilizados en los 4 días consecutivos desde miércoles 19 de agosto hasta el día sábado 23 de agosto del 2025. Cabe destacar que en el aforo vehicular realizado en la estación (0+000) se lograron contabilizar un total de seis clases de vehículos, desde la clase 1

que comprende las motocicletas hasta la clase 6 que serían los camiones de una sola unidad de tres ejes conocidos también como C3.

4.2.1.3 Composición del Tráfico. Con el aforo vehicular en los datos anteriores se pudieron sacar los volúmenes por cada día del conteo y obtener el total de los cuatros días y analizar la estación 0+000 del flujo de vehículos que se obtuvo de la estación porque era la ubicación de entrada para los vehículos. Por lo tanto, se pudo conocer la composición de tránsito del tramo de carretera las Tejas #2 siendo la siguiente clasificación de vehículo liviano con él por 18%, vehículo de pasajero de 24% y 7%, en la gráfica se representa el porcentaje más alto del flujo vehicular que son los vehículos de carga 34 % en la circulación del tramo de carretera.

Figura 26

Composición de tráfico comunidad Las Tejas #2



Elaboración propia

Cabe destacar que estos vehículos tienen un motivo de viaje, las motocicletas con un 17% del tráfico vehicular son utilizadas para transportar

a los habitantes a sus centros de trabajos ya sea en el casco urbano de Matagalpa en instituciones municipales , como también beneficios de café, por otra parte, con un valor de 24% los vehículos de pasajeros son utilizados para el transporte , además de comercializar en la zona ,por otra parte con un valor de 18% los vehículos simples tienen una utilidad mayormente para transportar producción local como chayote , granadilla ayote, frijol, maíz entre otros, con esta misma finalidad con un 34% los vehículos de carga como los C2 y C3 transporta estos productos a los mercados de Matagalpa, y por ultimo los vehículos de transporte local que constituye un 7%.

Tabla 20*Resumen del aforo vehicular de los días consecutivos*

		FECHA DE CONTEO: MIÉRCOLES - SÁBADO AGOSTO 2025										SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS			UBICACIÓN:				
		LAS TEJAS #2 EST. 0+000																Total	
HORA	Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga					Equipo Pesado			Total				
	Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	C4	C2- R2	C2- R3	T3- S2		V.A.	V.C.	Otros	
					<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.										
06:00	07:00	20	13	5	14	3	4	5	6	8	5	0	0	0	0	0	0	0	83
07:00	08:00	17	15	12	15	3	2	2	7	10	10	0	0	0	0	0	0	0	93
08:00	09:00	16	17	7	15	3	1	3	15	16	10	0	0	0	0	0	0	0	103
09:00	10:00	17	14	13	15	4	3	2	9	14	8	0	0	0	0	0	0	0	99
10:00	11:00	17	8	11	18	1	4	2	9	13	7	0	0	0	0	0	0	0	90
11:00	12:00	19	17	13	19	3	6	8	8	17	11	0	0	0	0	0	0	0	121
12:00	13:00	15	11	10	15	3	5	5	12	11	12	0	0	0	0	0	0	0	99
13:00	14:00	15	10	13	14	0	4	1	12	16	11	0	0	0	0	0	0	0	96
14:00	15:00	19	13	6	17	2	1	3	20	16	9	0	0	0	0	0	0	0	106
15:00	16:00	15	14	16	15	2	2	5	11	19	6	0	0	0	0	0	0	0	105
16:00	17:00	17	17	10	13	1	2	1	10	8	12	0	0	0	0	0	0	0	91
17:00	18:00	11	11	10	16	2	1	1	8	9	9	0	0	0	0	0	0	0	78
TOTAL		198	160	126	186	27	35	38	127	157	110	0	0	0	0	0	0	0	1164

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.4 Asolación de Estaciones. Es el proceso de metodología de identificación de las estaciones EMC de mayor cobertura que se encuentra ubicada sobre red troncal de la carretera y la estación de corta duración ECD, ya sea ubicada en caminos de asfaltos o adoquinados con un flujo menor que la red de mayor cobertura y las ECS son la que están ubicadas de conteo sumarias en caminos revestido con poco flujo vehicular.

Según el anuario de aforo de tráfico 2022, MTI el estudio de un tramo de carretera se encuentra comprendido la entrada al INCAE- El crucero, identificada como NIC-2 con estación de mayor cobertura 200 y ECD entrada El guayacán -Matagalpa identificada como Nic-3 estación 301 con estas estaciones determinadas partimos para realización del estudio de tránsito siguiendo el contenido del Anuario de aforos (MTI, 2022)

4.2.1.5 Definición del TPDA. El cálculo del TPDA permite determinar los volúmenes de tránsito de la estación 0+000 correspondiente como el cálculo del TPDA de 12 hrs en se obtiene el promedio de los volúmenes totales de tránsito de los cuatros días de aforo, es decir una vez calculados los valores TPDA de 12 hrs para cada tipología se procede a amplificarlos con ayuda de los factores de expansión brindada por la estación de mayor cobertura entrada el crucero estación EMC 200. según el anuario de tránsito estación de Corta Duración (ECD): Conteos clasificados por 12 horas continuas (6:00 a.m. – 6:00 p.m.) por tres días consecutivos (martes, miércoles y jueves) aplicados en flujos con TPDA mayores de 500 vehículos (anuario 2022 de la pag 21).

4.2.1.6 Factores de Ajuste. Para el TPDA corresponde a los conteos realizados siguiendo los factores de ajuste del anuario de aforo vehicular MTI 2022, tomando en cuenta que nuestro tramo de estudio, es la comunidad de las tejas en cual conecta con la vía principal que va hacia el municipio Matagalpa, nos dimos a la tarea de buscar en el anuario de tráfico del MTI una estación de corta duración que se vinculara a nuestro tramo de estudio, donde elegimos la estación 301 de corta duración NIC 3 Entrada al Guayacán – Matagalpa por su cercanía al sitio de estudio, pero en las estaciones de

corta duración no presentan los factores de ajuste, solo las estaciones de mayor cobertura por eso tiene una dependencia mutua, dicho esto la estación seleccionada tiene una dependencia a la estación de mayor cobertura EMC-200 ENTRADA AL INCAE - EL CRUCERO

Tabla 21

Factores de ajustes estación de mayor cobertura ENTRADA AL INCAE - EL CRUCERO

Descripción	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clase 12	Clase 13	Clase 14	Clase 15
Factor Día	1.34	1.35	1.31	1.33	1.38	1.33	1.00	1.23	1.57	1.45	1.00	1.00	1.31	1.31	1.17
Factor Semana	1.00	0.99	0.99	0.92	0.90	0.92	0.86	0.94	0.98	0.97	1.00	1.00	0.94	0.94	1.01
Factor Fin de Semana	1.00	1.02	1.03	1.26	1.38	1.26	1.71	1.20	1.05	1.08	1.00	1.00	1.17	1.17	0.97
Factor Expansión a TPDA	0.98	1.01	0.99	1.00	0.99	0.93	0.78	1.00	0.91	0.87	1.00	1.00	0.86	0.86	0.92

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico (MTI, 2022)

Tomando en cuenta que las estaciones de corta duración poseen datos específicos donde se realizan aforos temporales limitados por 24 horas, 7 días o una semana, en el caso de nuestra estación entrada al Guayacán – Matagalpa posee datos relativos en base a esta escala de tiempo por ende se necesitan datos corregidos o factores de ajuste y estos datos se obtienen a través de una estación de constante monitoreo que en este caso sería una estación fija o de mayor cobertura, en este caso nuestra estación que nos proporcionará los factores de ajuste será ENTRADA AL INCAE - EL CRUCERO.

Es la proyección del promedio diario anual TPDA determinado el número total de vehículos que pasan durante un periodo equivalente a un año y se divide entre el número de días o periodo que es 365 días año. Para estimar el TPDA es el conteo realizado en lo que se toma en cuenta los factores de ajuste de la estación de estaciones de corta duración pertinente encontrada en el anuario de aforo vehicular 2022 del MTI para los diferentes valores.

Ecuación para el cálculo del promedio anual

$$PDA = TP(D)12hrs * F. dia * F. semana * F. expansion$$

PDA: Tránsito Promedio Diario Anual

P(D)12hrs: Tránsito promedio diario de 12 hrs.

dia: Factor día

semana: Factor semana

expansion: Factor expansion.

Según las ecuaciones establecidas por el anuario 2022 MTI que se encuentra en la página 16 son los factores de ajuste que se deben de tomar en cuenta para el cálculo del TPDA.

Tabla 22*Cálculo del TPDA*

 ESTACION MAS CERCANA ECD 301 (ENT.GUAYACAN - MATAGALPA) / ESTACION 0+000)

Factor / Tipo de Vehiculo	Motocicletas	vehículos de pasajeros	Vehículos simples	buses y mini buses	Pesados de Carga C2 liviamo, c2 y c3		Otros	total
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3	CLASE 4	CLASE 5	CLASE 6		
TPDS	29	41	31	11	42	16		170
FACTOR DIA	1.34	1.35	1.31	1.33	1.38	1.33		8.04
FACTOR EXPANSION	0.98	1.01	0.99	1	0.99	0.93		5.9
FACTOR SEMANA	1	1.02	0.99	0.92	0.9	0.92		5.75
TPDA	39	56	41	15	58	20		229
% TPDA	17.0%	24.5%	17.9%	6.6%	25.3%	8.7%		100.0%
% TPDA motocicletas	17.0%							
% TPDA Veh.Pasajeros	24.5%							
% TPDA Vehiculos simples	17.9%							
% TPDA Veh. Buses y mini buses	6.6%							
% pesados de carga C2 y C3	34.1%							

Fuente: *Elaboración propio*

4.2.1.7 Proyección de la Demanda. Atraves de la información del Anuario Estadístico Macro económico 2024 de nicaragua y del Anuario de Aforos de Trafico (MTI, 2022) , se obtuvo una tasa de crecimiento del tráfico en la estación de corta duración entrada al Guayacan – Matagalpa.

- En el año 2009 se registró un TPDA histórico de 3,973 vehículos
- En el año 2023, el TPDA tuvo un aumento de 5,338 vehículos donde la tasa de crecimiento anual es de 3.38%.
- El promedio de producto interno bruto (PIB) fue de 5.33%
- La tasa de crecimiento poblacional (POB) es de 1.24% y el de combustible de 3.805.
- El cálculo con estos datos utilizados nos dio un valor de 3.63% como tasa de crecimiento anual (promedio geométrico).

Tabla 23

Tasa de crecimiento de promedio geométrico.

Promedio geométrico

DESCRIPCION	% PORCENTAJE
COMBUSTIBLE	3.801%
TC POB	1.239%
TC PIB	5.862%
TC TPDA	3.833%
TASA DE CRECIMIENTO=	3.68%

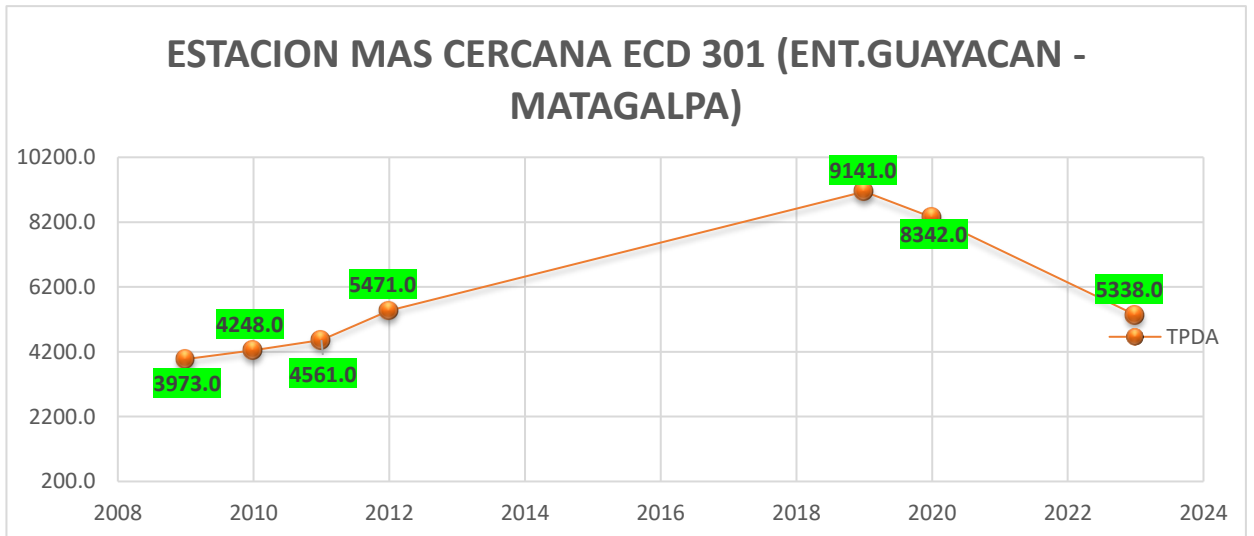
Elaboración propia

Este valor de 3.68 se utilizará como referencia para proyectar la demanda futura de tránsito de la comunidad de Las Tejas #2, donde está tasa de

crecimiento de 3.63% se ajustará a las condiciones reales para realizar el cálculo del ESALS y posterior mente diseño vial pertinente.

Figura 27

TPDA Histórico en la estación de corta duración Ent. El Guayacán – Matagalpa



Elaboración propia

Tabla 24

Datos de TPDA histórico estación de corta duración Ent. El Guayacán – Matagalpa.

ESTACION MAS CERCANA ECD 301 (ENT.GUAYACAN – MATAGALPA)		
AÑO	TPDA	TASA DE CRECIMIENTO
2000	2867.0	
2002	2923.0	0.97%
2004	2927.0	0.07%
2009	3973.0	6.30%
2010	4248.0	6.92%

2011	4561.0		7.37%
2012	5471.0		19.95%
2019	9141.0		7.61%
2020	8342.0	-8.74%	
2023	5338.0	-13.83%	
PROMEDIO		3.83%	

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico (MTI, 2022)

Atraves de los grafico anterior mente mostrados se muestra el TPDA históricos de nuestra estación de corta duración y su tasa de crecimiento anual, el cual es de 3.83% dichos datos nos ayudasen a calcular la demanda futura de tránsito para nuestro tramo de carretera en la comunidad de Las Tejas #2.

Tabla 25

Proyección del TPDA

AÑO	TAZA DE CRECIMIENTO	TPDA
2025	3.38%	229
2026	3.38%	237
2027	3.38%	245
2028	3.38%	253
2029	3.38%	262
2030	3.38%	270
2031	3.38%	280
2032	3.38%	289
2033	3.38%	5539
2034	3.38%	5726
2035	3.38%	5920
2036	3.38%	6120

Elaboración propia

En el análisis comparativo de los porcentajes calculados en las diferentes clasificaciones vehicular, según los valores establecidos por anuario de

aforo de tráfico 2022, número 301 ECD son datos cercanos por lo tanto se asegura utilizar la EMC número 200 Ent- Al IMCAE – EL Crucero.

4.2.1.8 Producto Interno Bruto (PIB). Para proyectar el de crecimiento vehicular a futuro se necesita saber el crecimiento económico nacional, ya que dicho valor tiene un impacto significativo en la demanda de transporte y movilidad, Las tejas #2 al ser una comunidad donde su principal economía depende de la agricultura y del trabajo en los beneficios de café esto repercute en un mayor flujo de vehículos en la red vial.

Tabla 26

Producto interno bruto de Nicaragua (PIB 2024)

DATOS REALES PRODUCTO INTERNO BRUTO (2022)		
Datos Históricos PIB		
Año	PIB(miles Us\$)	Crecimiento (%)
2008	8,497.0	
2009	8,298.7	-2.33%
2010	8,758.6	5.54%
2011	9,774.3	11.60%
2012	10,532.5	7.76%
2013	10,983.0	4.28%
2014	11,880.4	8.17%
2015	12,756.7	7.38%
2016	13,286.0	4.15%
2017	13,786.0	3.76%
2018	13,025.2	-5.52%
2019	12,697.7	-2.51%
2020	12,681.6	-0.13%
2021	14,144.1	11.53%
2022	15,634.6	10.54%
2023	17,805.8	13.89%
2024	19,694.0	10.60%
PIB Promedio (2008-2024)		12158.9
Tasa Crecimiento Promedio		5.86%

Fuente: Banco Central de Nicaragua

4.2.1.9 Crecimiento Poblacional. El crecimiento poblacional tiene una correlación directa con la demanda de transporte a mayor crecimiento poblacional, mayor flujo de vehículos, para en transporte de productos agrícolas, trabajo en los beneficios de café, ir a la escuela centros de salud entre otros, el crecimiento poblacional de nuestro tramo de estudio esta dado en base al Anuario de Estadísticas Macroeconómicas (BANCO CENTRAL DE NICARAGUA, 2024) el cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 27

Datos históricos del crecimiento poblacional de Nicaragua

DATOS REALES DE POBLACION (2024)

Datos Históricos POB

Año	POB (miles)	Crecimiento (%)
2008	5,668.9	
2009	5,742.3	1.29%
2010	5,815.5	1.27%
2011	5,996.6	3.11%
2012	6,071.0	1.24%
2013	6,134.3	1.04%
2014	6,198.2	1.04%
2015	6,262.7	1.04%
2016	6,327.9	1.04%
2017	6,393.8	1.04%
2018	6,460.4	1.04%
2019	6,527.7	1.04%
2020	6,595.7	1.04%
2021	6,664.4	1.04%
2022	6,733.8	1.04%
2023	6,803.9	1.04%
2024	6,874.7	1.04%
POB Promedio (2008-2022)	6239.5	
Tasa Crecimiento Promedio		1.24%

Fuente: Banco Centra de Nicaragua

4.2.2 Análisis de la Oferta

Tabla 28

Matriz de Condiciones de Transitabilidad de la Zona de Estudio

Tramo (Estación)	Longitud aprox.	Tipo de carpeta de rodamiento	Estado de la carpeta	Obras de drenaje	Condiciones geométricas
0+000 0+690	– 690 m	Macadán (superficie granular sin tratamiento)	Deteriorada, con presencia de charcas y erosión en pendientes	Desde la estación 0+000 hasta la estación 0+150 cuenta con obras de drenaje menor cunetas de sección triangular	Pendientes promedio de 3.46%, máximas de 5%, clasificadas como terreno plano según SIECA 2011
0+690 2+000	– 1,310 m	Macadán deteriorado con huellas de rodadura	Altamente deteriorada, con baches y acumulación de lodo en época lluviosa	Cuenta con la presencia de un puente de vigas en la estación 1+340 a la 1+360	Pendiente con promedio de 9.3 entrando al rango de mayor a 5% y menor 15% clasificándose como terreno ondulado

Fuentes: Elaboración propia

El tramo de estudio que consiste en 2 km de longitud cuenta con una carpeta de rodamiento a base de macadán no tecnificada, cuenta con drenaje con un sistema de cunetas con sección triangular en un trayecto de 150 metros de longitud desde estación 0+000 a la 0+150 y obras de drenaje mayor en la estación 1+340 a la 1+360 con un puente con sistema de vigas metálicas de una vía lo cual estoy representa un problema de transitabilidad al presentar estas condiciones.

Figura 28

Ilustración de inventarios de obras de drenaje existente



Fuente: propia.

Según los datos obtenidos del levantamiento topográfico se determinó el derecho de vía el cual esta delimitados por los cercos de las propiedades paralelas al eje del camino con un ancho promedio de 8m. las pendientes naturales transversales varían a lo largo del camino entre el 4% y 5%.

Referente al drenaje menor hay sectores donde carece de un buen drenaje y por ende provoca que las aguas pluviales se concentren y generan charcas las cuales causan deterioro a la superficie de rodamiento, así mismo existen tramos donde las máximas pendientes generan erosión a la carpeta de rodamiento.

Con respecto a el porcentaje de pendiente se logró identificar que en la estación +000 hasta la estación 0+690 presenta un porcentaje de pendiente de 3.3% calificándolo como un terreno plano según la Sieca 2011. Ver tabla siguiente.

Tabla 29

Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

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

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011

Cabe destacar que se realizó dos cálculos de pendiente en diferentes tramos ya que presentan diferentes elevaciones, en base al dato de 3.46% obtenido del cálculo de pendiente se confirma lo antes mencionado.

Todo este tramo de carretera desde la estación 0+690 hasta la estación 2+000 presenta un porcentaje de pendiente de 9.3% calificándolo como un terreno ondulado la Sieca 2011.

Tabla 30

Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

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

Fuente: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011

4.2.3 Análisis Técnico de las Alternativas.

4.2.3.1 Tamaño o Características Técnica de Alternativas. El tramo tiene 2 km de longitud y actualmente su superficie es de macadán deteriorado, con problemas de erosión, polvo en verano y encharcamiento en invierno.

4.2.4 Estudio de Suelos.

El estudio de suelos en el tramo Las Tejas #2, desarrolló por el laboratorio NICASUM contratado por la Alcaldía de Matagalpa con el objetivo de conocer las características físicas y mecánicas del terreno, información fundamental para garantizar la estabilidad y funcionalidad del pavimento proyectado. Para ello se realizaron 11 sondeos manuales con una profundidad de 1.50 metros, distribuidos aproximadamente cada 200 metros a lo largo del tramo. De estos sondeos se obtuvieron un total de 44 muestras representativas, las cuales fueron sometidas a análisis de laboratorio bajo normas AASHTO, incluyendo granulometría, límites de Atterberg, CBR y densidad Proctor.

Los resultados reflejaron que predominan suelos granulares, principalmente gravas y arenas limosas o arcillosas, clasificados según AASHTO en grupos (A-2-6, A-2-7, A-2-4), estos anteriores se clasifican como suelos de excelentes a buenos estos materiales en su mayoría presentaron un comportamiento adecuado para subrasante, aunque se identificaron grupos (A-6 y A-7-5) que son suelo arcillas con menor capacidad portante. Esta condición obliga a tomar medidas de mejoramiento en zonas específicas para evitar fallas prematuras en la estructura del pavimento.

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements

Clasificación General	Material Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N 200)							Material limo - arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N 200)			
	A-1		A-2					A-7			
Grupos	A-1		A-2					A-7			
Sub_grupos	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5 A-7-6
% que pasa el tamiz. N 10	50 máx.										
N 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N 200	15max	25max	10max	35max	35max	35max	35max	36min	36min	36min	36min
Características del material que pasa el matiz N 40				40max	41min	40max	41max	40max	41max	40max	41max
	Limite liquido			NO Plasticidad	10max	10max	11max	11min	10max	10max	11min
Índice de plasticidad	6max	6max									
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4max	4max	8max	12max	16max	20max
Tipos material	Fragmento de piedra grava y arena	Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Terreno de fundación	Excelente a Bueno						Regular a Deficiente				

NOTA: El índice de plasticidad de los suelos A-7-5 es igual o menor que su Límite Líquido 30, el de los A-7-6 mayor que su Límite Líquido (fig. 1) se halla indicada la relación entre lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.). Si el LP ≥ 30, la clasificación es A-7-6. Si el LP < 30 es A-7-5.

Elaboración Propia

Tabla 31

Sondeos efectuados y resultados de ensayos (1er Parte).

Estación	Desviación (m)	Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (cm)	GRANULOMETRIA										Límite %		Clasificación H.R.B.	C.B.R. ^a Compact.
					3"	2"	1 ½"	1"	¾"	3/8"	4	10	40	200	LL	IP		
0+000	2.00 Der.	1	1	0-20	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23
			2	20-35		100	93	76	62	58	53	45	32	27	40	14	A-2-6(1)	22
			3	35-45				100	95	90	79	72	58	46	40	14	A-6(5)	7
			4	45-95	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23
			5	95-150		100	75	65	50	45	39	36	30	27	45	18	A-2-7(1)	12
0+200	2.00 Izq.	2	6	0-30	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23
			7	30-90				100	90	61	55	34	24	47	15	A-2-7(1)	12	
			8	90-150				100	97	91	85	75	62	59	23	A-7-5(13)	6	
0+400	2.00 Der.	3	9	0-10	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23
			10	10-40		100	93	76	62	58	53	45	32	27	40	14	A-2-6(1)	22
			11	40-150	100	88	75	55	44	35	23	20	18	17	30	10	A-2-4(0)	26
0+600	2.00 Izq.	4	12	0-10	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23
			13	10-30	100	90	85	74	67	51	35	31	21	17	53	16	A-2-7(0)	12
			14	30-50				100	82	55	47	38	33	43	21	A-2-7(1)	12	
			15	50-150	75	59	49	46	40	27	19	14	10	9	40	13	A-2-6(0)	23
0+800	2.00 Der.	5	16	0-10	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23
			17	10-20		100	93	76	62	58	53	45	32	27	40	14	A-2-6(1)	22
			18	20-30	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23
			19	30-55	100	80	71	61	55	42	32	28	21	18	36	13	A-2-6(0)	23
			20	55-70	100	77	62	50	45	41	35	30	23	19	37	14	A-2-6(0)	23
			21	70-95		100	90	82	75	56	45	32	25	15	25	6	A-1-a(0)	42
			22	95-150			100	92	84	81	67	60	52	45	49	15	A-7-5(4)	6
1+000	2.00 Izq.	6	23	0-15	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23
			24	15-60	100	86	74	59	49	41	35	23	10	7	30	7	A-2-4(0)	26
			25	60-100		100	91	87	78	59	46	35	25	21	41	20	A-2-7(1)	12
			26	100-150			100	88	70	62	46	40	35	31	39	17	A-2-7(1)	12

Fuente: Alcaldía de Matagalpa / NICASOLU

Tabla 32

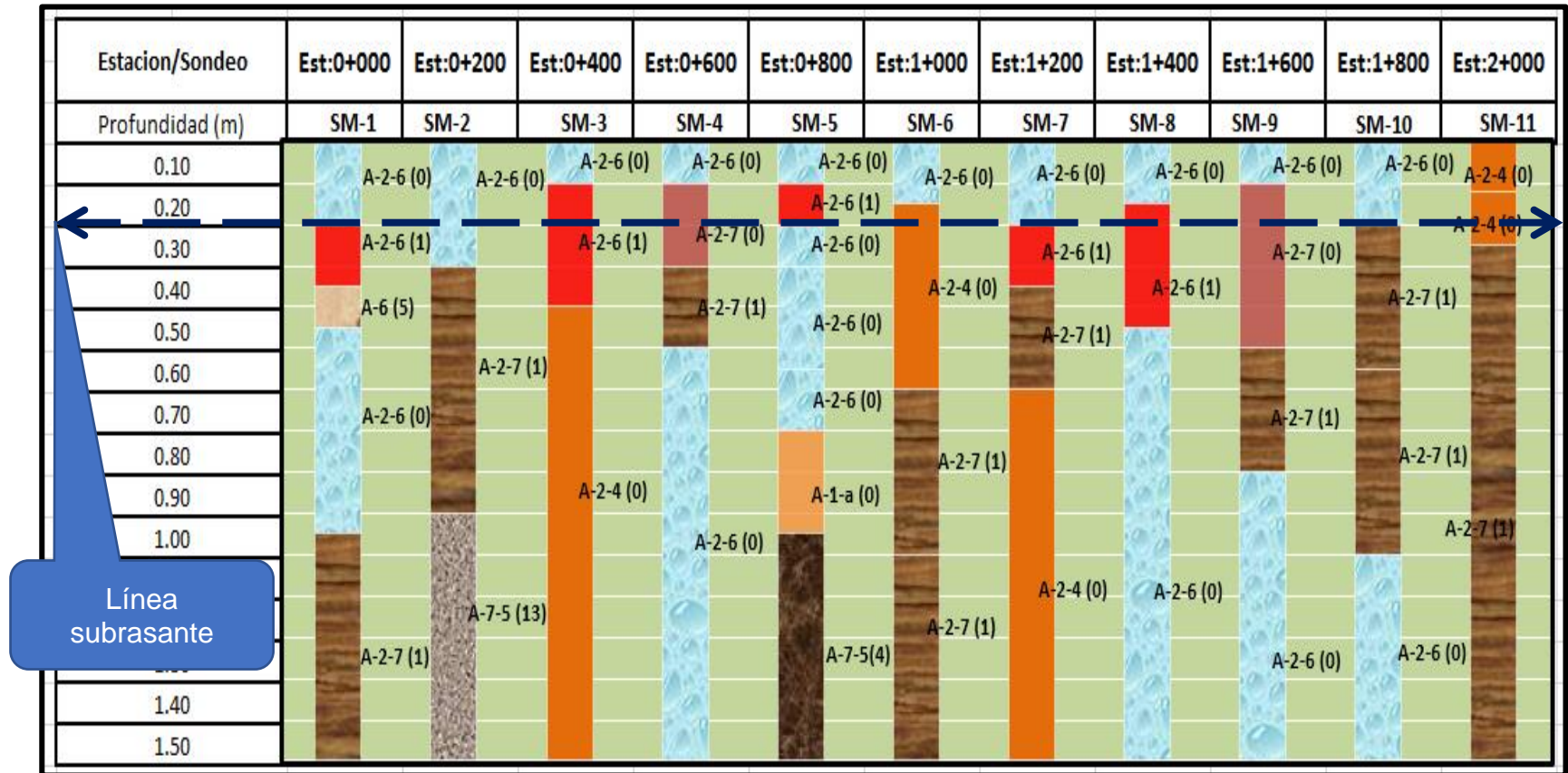
Sondeos efectuados y resultados de ensayos (2da Parte)

Estación	Desviación (m)	Sondeo No.	Muestra No.	Profundidad (cm)	GRANULOMETRIA										Límite %		Clasificación H.R.B.	C.B.R. a Compact.	
					3"	2"	1 ½"	1"	¾"	3/8"	4	10	40	200	LL	IP			95
					1+200	2.00 Der.	7	27	0-20	100	82	63	53	38	27	18			15
			28	20-35				100	87	77	59	39	35	29	24	40	19	A-2-6(1)	22
			29	35-60				100	86	80	59	48	42	34	27	48	14	A-2-7(1)	12
			30	60-150								100	79	35	25	33	10	A-2-4(0)	26
1+400	2.00 Izq.	8	31	0-15	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23	
			32	15-45				100	87	77	59	39	35	29	24	40	19	A-2-6(1)	22
			33	45-150	100	92	68	52	45	36	28	17	11	8	30	13	A-2-6(0)	23	
1+600	2.00 Der.	9	34	0-10	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23	
			35	10-50	100	81	69	67	53	45	31	25	20	19	42	17	A-2-7(0)	12	
			36	50-80			100	91	87	78	59	46	35	25	21	41	20	A-2-7(1)	12
			37	80-150	100	80	61	50	44	40	35	30	23	19	37	11	A-2-6(0)	23	
1+800	2.00 Izq.	10	38	0-20	100	82	63	53	38	27	18	15	11	9	28	12	A-2-6(0)	23	
			39	20-55			100	91	87	78	59	46	35	25	21	41	20	A-2-7(1)	12
			40	55-100						100	90	61	55	34	24	47	15	A-2-7(1)	12
			41	100-150	100	77	62	50	45	41	35	30	23	19	37	14	A-2-6(0)	23	
2+000	2.00 Der.	11	42	0-12	100	86	74	59	49	41	35	23	10	7	30	7	A-2-4(0)	26	
			43	12-25				100	84	81	66	53	44	26	19	34	8	A-2-4(0)	26
			44	25-150						100	90	61	55	34	24	47	15	A-2-7(1)	12

Fuente: Alcaldía de Matagalpa / NICASOLUM

Nota: las celdas de color verdes fueron utilizadas para el cálculo de CBR de diseño.

Gráfico Estratigrafía del suelo



Fuente: Alcaldía de Matagalpa / NICASOLUM

Nota: El espesor de 25 cm sobre la línea de subrasante será movido para reemplazar por material de banco, dicha profundidad corresponde al espesor de la estructura de pavimento.

En relación a la capacidad de soporte, los valores de CBR obtenidos variaron entre niveles medios y altos, lo que confirma la aptitud de los suelos granulares para sostener cargas de tránsito. Sin embargo, se recomendó la remoción de los primeros 25 cm de la subrasante natural, sustituyéndolos por material de mejor calidad, a fin de asegurar homogeneidad y resistencia estructural en toda la sección vial.

4.2.4.1 Investigación de la fuente de materiales. Se evaluó un banco de materiales cercano (Roger Soza), el cual presentó condiciones favorables como fuente de material para base y subbase. Los ensayos mostraron que este banco cumple con los requisitos granulométricos y de soporte (CBR de 86% al 95% Próctor), garantizando así un abastecimiento confiable para la construcción del pavimento articulado. umpliendo los requerimientos de calidad para bases y sub-bases de bajo costo según NIC 2000 sección 1003-23. El banco tiene un potencial de préstamo de 86,443 m³, suficiente para cubrir el volumen requerido de base granular de 1,927.80 m³. La base garantiza apoyo uniforme y drenaje del agua filtrada, mientras que el adoquín tipo tráfico tendrá una resistencia característica mínima de 350 kg/cm² (5,000 PSI) a 28 días.

Tabla 33

Características de los Bancos de materiales

Nombre y propiedad del Banco		Roger Soza				
		3/8	No.	No.	No.	
Tamiz	3/4"	"	No. 4	10	40	200
% que Pasa	46	27	17	11	7	5

Limite Liquido	33	Indice de plasticidad	10
	A-2-		
Clasificacion H.R. B	4(0)	Equivalente de Arena	
		Modificad	
Tipo de prueba empleada		o	
Peso vol. Seco maximo		2,057	
Humedad optima		10.80%	
Metodo compactacion empleado	ASTM-D-1883		
% de compactacion	90%	95%	100%
Peso vol. Seco reproducido (kg/m3)	1,843	1941	2,046
C.B.R Saturado	26%	86%	90%
Hinchamiento (%)			
Tipo de Saturacion (Horas)	96	96	96

Observaciones materiales El material es grava gruesa a fina con poco fino y arena con limo y arcilla color gris claro

Fuente: Alcaldía de Matagalpa / NICASOLUM.

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

De acuerdo al tránsito que se espera que circule en la vía, determinado en el estudio de tránsito de este proyecto, y sabiendo que éste será de 301,680.00; se eligió el valor percentil para el diseño de sub-rasante según

lo muestra en la Tabla 28 que es de 75% de los valores mayores o iguales, el cual se interceptó con la curva de los valores de CBR como se aprecia en la siguiente tabla, para encontrar el CBR de diseño de la sub-rasante cuyo valor es de 17.6%.

Tabla 34

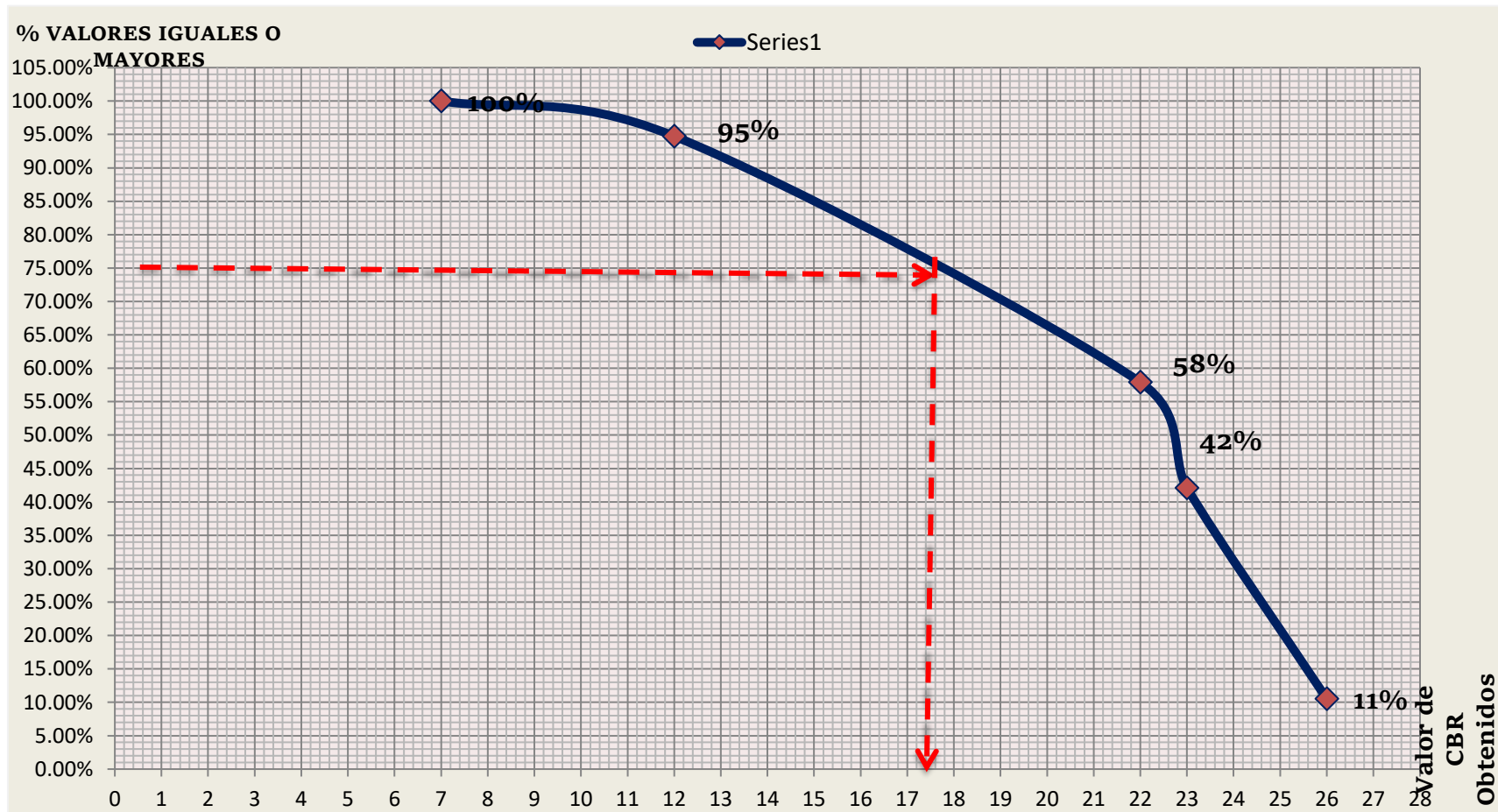
Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño

Cargas Equivalentes Totales (ESAL´s)	Percentil de Diseño (%)
< de 10,000 ESAL´s	60
Entre 10,000 y 1,000,000 de ESAL´s	75
> de 1,000,000 ESAL´s	87.5

Fuente: Manual AASHTO-93 Design Requirements.

Figura 29

Gráfico Selección del CBR de Diseño



Fuente: Alcaldía de Matagalpa / NICASOLUM

17.6

4.2.5 Diseño de Pavimento

El método de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 1993, es el más usado y cuenta con técnicas de diseño para estructuras de pavimentos rígidos, semi-rígidos, flexibles y articulados.

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

4.2.5.1 Consideraciones del Diseño AASHTO-93:

4.2.5.1.1 Carga de Ejes Simples Equivalentes. Al realizar el estudio de tráfico, se clasifican todos los vehículos livianos y pesados según su peso por eje, encontrando así los volúmenes de tránsito, luego dichos volúmenes se proyectan a un período de diseño en concordancia a una tasa de crecimiento que se determina según las condiciones económicas y sociales de la zona, el proceso anterior nos permite determinar el tránsito de diseño (TD), posteriormente se afecta este tránsito de diseño por un factor de equivalencia de carga, la sumatoria de todos los procesos anteriores para cada vehículo clasificado se denomina ESAL de diseño. En el tramo en estudio el ESAL de diseño es 301,680.00.

4.2.5.1.2 Confiabilidad. La confiabilidad representa la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante el período de diseño.

- En este proyecto se usó $R = 80\%$, adecuado para una carretera colectora rural, según lo recomendado por SIECA (2004).
- La desviación normal correspondiente fue $Z_r = -0.8416$. Esto significa que el diseño buscó un balance entre economía y seguridad estructural, aceptando un nivel medio-alto de certeza en su desempeño.

Tabla 35*Niveles de Confiabilidad R en Función del Tipo de Carretera*

Tipos de Caminos		Confiabilidad Recomendada (R)	
		Zona Urbana	Zona Rural
Rutas autopistas	Interestatales y	85 - 99.9	80 – 99.9
Arterias Principales		80 - 99	75 - 99
Colectoras		80 - 95	75 - 95
Locales		50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía de Diseño para Estructura de Pavimentos, AASHTO 93, Pág. 137

Tabla 36*Valores de Zr en función de la confiabilidad*

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

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

4.2.5.1.3 Desviación Estándar (So). Para nuestro diseño de pavimento en Las Tejas #2 se consideró una desviación estándar de 0.45 para pavimento articulado ya que es una construcción nueva.

Tabla 37

Desviación Estándar Dependiendo de las Condiciones de Servicio

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

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

4.2.5.1.4 Serviciabilidad. Para dar un confort más adecuado a los usuarios de la vía, se aplicó un factor de 4.2 de serviciabilidad inicial esto para pavimento articulado y por ser un tramo de carretera de bajo tránsito se aplicó un factor de 2.0 para serviciabilidad final.

Tabla 38

Factores de Serviciabilidad.

Serviciabilidad Inicial	Serviciabilidad Final
Po= 4.5 para pavimentos rígidos	Pt= 2.5 o más para caminos principales
Po= 4.2 para pavimentos flexibles	Pt= 2.0 para caminos de Tránsito menor

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos. SIECA 2002, Cap.7, Pág. 4

4.2.5.1.5 Coeficiente de Drenaje. Se evaluó la capacidad de drenaje de la vía en función del tiempo de remoción de humedad y la exposición a niveles cercanos a la saturación. Para la base granular se adoptó un coeficiente $m_2 = 1.0$, mientras que la subbase no fue necesaria, siguiendo las tablas de AASHTO 93 sobre calidad de drenaje y porcentaje de tiempo expuesto.

Tabla 39

Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad

Capacidad del drenaje para remover la humedad

Calidad del drenaje	Aguas removidas en:	
	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Malo	No drena	Mucho más de 10 horas

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO-93, pág148

Tabla 40*Porcentaje del Tiempo que el Pavimento está Expuesto a Niveles de Humedad**Cercanos a la Saturación*

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

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO-93. Pág. 148

4.2.5.2 Cálculo del CBR de diseño. La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO-93 con el número T-193. El CBR de diseño de este tramo es de 17.6%. Este se obtuvo con un percentil de 75%. Ver gráfico de selección de CBR de diseño.

Módulo de Resiliencia (MR). En este caso como se obtuvo un CBR de diseño para la subrasante de 17.6%, utilizaremos el segundo criterio para calcular el Módulo Resiliente de la subrasante aplicando la siguiente ecuación, por tanto:

$$Mr = 4,326 * \ln (\text{CBR}) + 241 \quad \text{Ec.11.}$$

$$Mr = 4,326 * \ln (17.6) + 241$$

$$Mr = 12,647.53 \text{ psi El módulo Resiliente de la sub rasante}$$

Tabla 41

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

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10%	$Mr = 1500 * CBR$
CBR > 10%	$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$

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

4.2.5.3 Cálculo de Espesores. El espesor D1 para nuestro caso está definido, debido que utilizará adoquín como carpeta de rodamiento, por lo tanto, D1 = 4 pulgadas.

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

$$SN_1 = a_1 * D_1 \quad \text{Ec.13.}$$

$$SN_1 = (0.45) * (4.00) \quad \underline{SN_1 = 1.8}$$

Para los cálculos de números estructurales (SN) y espesores de capa (D1, D2 y D3) se utilizó el software DISAASHTO 93, dicho programa está basado en el manual de diseño de pavimento de la AASHTO 93.

Según el software DISAASHTO los números estructurales finales obtenidos fueron: $SN_1 = 1.80$, $SN_2 = 1.86$ y $SN_3 = 2.14$

- **Cálculo del espesor de la base (D2).** Teniendo en cuenta que es conocido el valor de SN1, entonces el valor del coeficiente estructural de la base se obtiene de la siguiente manera:

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN_1)}{a_2 * m_2} \qquad D_2 = \frac{(1.86 - 1.80)}{0.135 * 1}$$

$D_2 = 0.44$ pulgadas No cumple con el espesor mínimo

Dado que el espesor que se requiere para que D_2 (Base) no cumple con lo espesores mínimos y que resista los esfuerzos que le transmitirá la carpeta de adoquín, se utilizó un espesor mínimo recomendado por el Manual de Diseño de Pavimento de la AASHTO-93, este espesor de acuerdo con la siguiente, resulta que para un ESAL's de diseño de 301,680.00. El espesor mínimo de la base granular es 4.00 pulgadas (10 centímetros).

Tabla 42: Espesores Mínimos Sugeridos para Base granular

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

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

✓ Se procede a corregir el número estructura

$$SN_2 = a_2 * D_2 * m_2 \quad \text{Ec.15.}$$

$$SN_2 = (0.135) * (4.00) * (1.00)$$

$$SN_2 = 0.54$$

• Cálculo del espesor para la Subbase (D_3):

$$\text{Ec.16.} \quad D_3 = \frac{SN_3 - (SN_1 + SN_2)}{0.13 * 1} \quad D_3 = \frac{2.14 - (1.80 + 0.54)}{0.13 * 1} = -1.54"$$

El valor negativo de la capa D_3 nos indica que esta capa no es necesaria para la estructura de pavimento articulado.

4.2.5.4 Espesores Finales de Diseño. En base al análisis y a los resultados obtenidos, la carpeta de rodamiento de los 2.00 km del tramo Las Tejas N° 2, fue de 4 pulgadas ya que este caso se utilizó adoquín, la base granular fue de 4 pulgadas, los espesores detallados son los siguientes:

Tabla 43

Espesores de Diseño

Capa	Espesores	
	Pulgadas	Centímetros
Capa de rodamiento (Adoquín)	4"	10cm
Capa de arena	2"	5cm
Base granular	4"	10cm
Espesor Total Requerido	10"	25cm

Elaboración propia

Figura 30

Gráfico Obtención de los números estructurales (SN)

DISAASHTO-93 - DISEÑO ESTRUCTURA

DISAASHTO-93 - DISEÑO ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

MENU

DATOS GENERALES

TRANSITO EE(8.2 Ton)
W= 301680

DESVIACION ESTANDAR TOTAL
So= 0.45

DIF. INDICES DE SERVICIO
(ΔPSI)= 2.2

DESVIACION ESTANDAR NORMAL
-ZR= -0.841 AYUDA

DATOS ESPECIFICOS POR CAPA

MEZCLA ASFALTICA
Coeficiente estructural a1 = 0.45

BASE GRANULAR
Coeficiente estructural a2 = 0.135 Coeficiente de drenaje m2 = 1 Modulo resiliente en PSI = 28900

SUBBASE
Coeficiente estructural a3 = 0.13 Coeficiente de drenaje m3 = 1 Modulo resiliente en PSI = 18000

SUBRASANTE
Modulo resiliente en PSI = 12647.53 CALCULAR ESTRUCTURA INICIAL

RESULTADOS

NUMEROS ESTRUCTURALES CALCULADOS: ESPEORES INICIALES CALCULADOS

SN1 = 1.55 SN2 = 1.86 SN3 = 2.14 D1(i)= 4 D2(i)= 0.444 D3(i)= -1.538

ESPESOR D1

CALCULO DE D1
D1 = SN1/a1 = 3.444

VERIFICACION DE D1
D1* = 4

CALCULO DE SN1*

SN1* = a1 x D1* = 1.8 CUMPLE OK

RECALCULAR D1

ESPESOR D2

CALCULO DE D2
D2 = (SN2-SN1*) / a2 x m2 = 0.444

VERIFICACION DE D2
D2* = 4

CALCULO DE SN2*

SN2* = a2 x m2 x D2* + SN1* = 2.34 CUMPLE OK

RECALCULAR D2

ESPESOR D3

CALCULO DE D3
D3 = SN3-(SN2*+SN1*) / a3 x m3 = -1.538

VERIFICACION DE D3
D3* = -1.538

CALCULO DE SN3*

SN3* = a3 x m3 x D3* + SN1*+SN2* = 2.14 CUMPLE OK

RECALCULAR D3

Fuente: Software DISAASHTO 1993

Figura 31

Gráfico espesores de capas finales



Nota: Tomado del Software DISAASHTO 1993

4.2.6. Diseño Geométrico

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

4.2.6.1 Características del camino existente. En los reportes de alineamiento se valida de forma explícita el criterio “Área rural (Accidentado y Escarpado) con un porcentaje de 12% para varias curvas. Esto confirma que el tramo se ubica en relieve accidentado/ondulado, lo que justifica una velocidad de diseño baja y el uso de peraltes relativamente altos (hasta el

12% permitido por norma para este tipo de terreno). Además, los elementos listados (curvas de $R=30-70$ m y tramos con $R=150-200-300-440-700$ m) evidencian una traza con curvas frecuentes y rectas cortas, típica de caminos rurales en topografía quebrada.

Tabla 44

Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales

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

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

Tabla 45

Factores de sobre elevación según localización de la vía

Tasa de Sobre elevación, "Emáx"	Tipo de Área
10%	Rural montañosa
8%	Rural plana
6%	Suburbana
4%	Urbana

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

4.2.6.2 Vehículo de Diseño. En base a la composición del estudio de tránsito realizado en Las Tejas #2 se identificó que el vehículo de diseño o mayor composición es el vehículo camión de carga pesada de tres ejes (C3) con el objetivo de calcular el sobre ancho en curvas donde no se aplicó este último parámetro ya que la velocidad de diseño aplicada al diseño geométrico vial es baja de un valor de 20 KPH y donde según las (SIECA, 2011) estos sobre ancho son aplicados en valores de más de 50kph.

Tabla 46

Dimensiones de los 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: Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA 2011, cap. 2-pág. 38

4.2.6.3 Clasificación Funcional. De acuerdo con la clasificación de carreteras regionales del Manual Centroamericano de Normas (SIECA, 2004), y considerando el TPDA realizado en el año 2025 en Las Tejas #2 (229 vehículos por día), el tramo analizado se clasifica como carretera Local

Rural, ya que presenta un volumen de tránsito inferior a los 500 vehículos por día establecidos como límite para esta categoría.

4.2.6.4 Velocidad de Diseño. Según el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2011), la velocidad de diseño depende del tipo de terreno.

- La velocidad de 30 km/h fue validada en los reportes de verificación, cumpliendo con el radio mínimo exigido por la normativa para este tipo de terreno, pero cabe destacar que en varios tramos esta velocidad desciende al estar ubicado en zonas pobladas y no se puede sobre pasar los 25 km de velocidad máxima según el artículo 27 bis límites de velocidad de la ley 431 normas de circulación.
- Para zonas accidentadas o escarpadas, la velocidad recomendada es baja debido a pendientes naturales elevadas y radios de curvatura reducidos.
- En Las Tejas #2, los levantamientos topografico muestran pendientes naturales que superan el 5% en varios tramos, lo que corresponde a terreno accidentado, justificando una velocidad baja de diseño (30 km/h)

4.2.6.5 Curvas de Transición. Sirven para pasar, de manera gradual, de un tramo en tangente a otro en la curva circular.

Del reporte de estaciones y curvas:

- Se diseñaron curvas simples con radios entre 30 m y 700 m.
- Se incluyeron curvas en transición tipo clotoide para suavizar el ingreso y salida de las curvas más cerradas (ejemplo: 80 m de transición en estación 0+071 a 0+151).

4.2.6.6 Radio Máximo de la Curva de Transición

- En tu reporte de estaciones y curvas (Excel) los radios más pequeños del alineamiento son $R = 30$ m, 38 m, 40 m, 50 m, 60 m, 70 m, etc., y hay otros mayores (115,150,170,200,300,440,700m).
- Todos son > 24 m, por lo que NO se exige espiral por el criterio de “radio máximo para usar transición”. (Este listado de radios proviene de tu propio Alignment Station and Curve Report que compartiste en Excel.)
- Aun así, sí tiene sentido mantener las espirales que ya aparecen en tus reportes (clotoides de 50–80 m):
 - i. Gradúan el peralte y evitan giros bruscos de sección.
 - ii. Mejoran el confort y la trayectoria del vehículo de diseño C3 (camión 3 ejes) en radios cerrados.
 - iii. Ayudan a la consistencia cuando hay secuencias de curva–recta–curva con rectas muy cortas.
- Tomando en cuenta estos datos, aunque no sean “obligatorias” por el $R_{m\acute{a}x}=24$ m, las espirales que incluiste cumplen la condición de longitud mínima (≥ 11.2 m a 30 km/h) y además el manual recomienda clotoide para que el radio varíe progresivamente desde infinito (tangente) hasta R de la curva.

Tabla 47*Longitud deseable de la curva de transición*

Sistema Métrico		Sistema Americano	
Velocidad de Diseño (km/h)	Longitud de espiral (m)	Velocidad de Diseño (mph)	Longitud de espiral (ft)
20	11	15	44
30	17	20	59
40	22	25	74
50	28	30	88
60	33	35	103
70	39	40	117
80	44	45	132
90	50	50	147
100	56	55	161
110	61	60	176
120	67	65	191
130	72	70	205
		75	220
		80	235

Fuente: A Policy on Geometric Design of Highway and Street, AASHTO 2004, pág. 181.

4.2.6.7 Radios mínimos y grados máximos de curvas. En los reportes de alineamiento se obtuvieron radios pequeños como el $R = 30$ m (también hay 38, 40, 50, 60, 70 m, etc.).

Tabla 48*Reporte para el diseño del alineamiento vertical estación 0+*

Curva circular	
Start Station:	0+831.676
End Station:	0+874.196
Radius:	30.000m

Design Speed: 20

Design Criteria:

Minimum Radius: 8 Cleared

Design Checks:

Elaboración propia

Tabla 49

Reporte para el diseño del alineamiento vertical

Curva circular

Start Station: 1+398.249

End Station: 1+433.597

Radius: 38.000m

Design Speed: 20

Design Criteria:

Minimum Radius: 8 Cleared

Design Checks:

Fuente: Elaboración propia

4.2.7. Carga de diseño

El cálculo de la carga de diseño se realizó siguiendo el método AASHTO 1993, considerando todos los vehículos que circulan por el tramo y su clasificación según tipo y peso por eje. Inicialmente, se determinaron los volúmenes de tránsito actuales con un TPDA de 229, separando vehículos livianos y pesados, y luego se proyectaron a un período de diseño de 20 años, aplicando una tasa de crecimiento ajustada a las condiciones socioeconómicas de la zona.

Tabla 50

Criterios para periodo de diseño segun la ASSTHO – 93

CRITERIOS DE DISEÑO	
TIPO DE CARRETERA	PERDIODO DE DISEÑO
AUTOPISTA REGIONAL	20 - 40 AÑOS
TRONCAL SUB-URBANA	15 - 30 AÑOS
TRONCAL RURALES	
COLECTORA SUB - URBANA	10 - 20 AÑOS
COLECTORA RURAL	

Fuente: AASTHO 93

Cada vehículo se convirtió a un factor de equivalencia de carga (ESAL), que representa el daño relativo que produce sobre el pavimento respecto a un eje estándar. La sumatoria de todos los ESALs proyectados dio como resultado un tránsito de diseño total de 301,680 ESALs para el tramo Las Tejas 2, cifra que se utilizó como base para determinar los espesores de las capas del pavimento.

Tabla 51*Cálculo de ESALS de diseño*

Cálculo ESAL'S del carril de diseño								
Asumimos un número estructural (SN=5), Pt=2.0								
Tipo de vehiculos	Peso X eje (Ton.met)	Peso X eje (Kips)	Tipo de eje	TPDA. 2025	TD	TD corregido	Factor ESAL	ESAL de diseño
CLASE 2	1.00	2.20	Simple	56.00	205,197.53	205,198.00	0.00038	78
	1.00	2.20	Simple				0.00038	78
CLASE 3	1.50	3.30	Simple	41.00	294,642.60	294,643.00	0.00038	112
	3.00	6.60	Simple				0.00038	112
CLASE 4	4.50	9.90	Simple	15.00	215,720.48	215,720.00	0.00038	82
	9.00	19.80	Simple				0.0034	733
CLASE 5	4.50	9.90	Simple	58.00	78,922.13	78,922.00	0.0034	268
	9.00	19.80	Simple				0.0502	3962
CLASE 6	5.00	11.00	Simple	20.00	305,165.55	305,166.00	0.0502	15319
	16.50	36.30	Simple				0.9206	280936
Total, ESAL'S de Diseño(W18)								301,680.00
								3.02E+05

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.5 Elementos de la vía

El tramo de carretera de Las Tejas #2 que cuenta con una longitud de 2km, contiene una vía con 2 carriles uno para cada sentido, fue diseñada con una longitud de carril de 3 metros, que según la (SIECA, 2011) en la página 141, indica que los anchos de carriles deben comprender desde los 2.75m hasta los 3.60m este último es más utilizado para carreteras de alta afluencia vehicular y velocidad de diseño elevada, mientras que nuestro ancho de carril de 3 metros recomendado es utilizada en zonas de menor afluencia vehicular y baja velocidad de diseño.

La carpeta de rodamiento está basada en un sistema de pavimento articulado a base de adoquín de 3500 psi de dimensiones de 22*24*10cm con una camada de arena de 5 cm, acompañada de una base granular de 10 cm.

4.2.6 La tecnología para el proceso de construcción.

Para la realización de diseño geométrico del tramo de carretera de 2km implementamos las normativas en cual se abarcan según sieca 2011 y las ASSHTO 93 para desarrollar los criterios para un diseño geométrico se toma en cuenta las normas de diseño para determinar la clasificación funcional, geométrico que se determinan con referencia al objetivo de mantener el propósito de la ejecución del proyectos ya sea de calle o carreteras que son para prestar servicios a los usuarios con el enfoque de un sistema de formulación y planteamiento diseño vial. Con el propósito general de prestar un servicio al usuario hicimos uso de la tecnología al usando programas como AutoCAD civil 3D para la realización del diseño geométrico abarcado los criterios para el diseño de la infraestructura según la ASSHTO 93:

También se utilizaron Software como Civil 3D, Excel, Word y actividades como aforo vehicular, levantamiento topográfico estos programa y actividades se llevó a cabo con el objetivo de recopilar información para el proyecto de pavimento articulado para la comunidad de las tejas #2 del departamento de Matagalpa

Tabla 52

Actividades para la realización del proyecto

Principales actividades que se desarrollaron

Aforo vehicular	Levantamiento topográfico	Encuestas dirigidas	Tecnología	Normativas
Se identificó que el conteo de tránsito vehicular muestra una composición mayoritaria de vehículos livianos (motos, autos, camionetas etc).	Fue recopilación de datos sobre el área determinada para posteriormente determinar las características del terreno.	la se realizó con el objetivo de medir el impacto económico del mejoramiento del tramo vial con adoquinado	Uso de programas como AUTOCAD CIVIL 3D, Excel, Word,	Norma sieca 2011 Norma ASSHTO 93 Se desarrollaron en las consideraciones de cada normativa para el diseño geométrico para pavimento articulado.

Fuente elaboración propia

4.2.7 Análisis de Riesgo a Desastres.

En el desarrollo del proyecto podría suceder posibles desastre como en el movimiento de tierra como deslave de las pendiente pronunciadas en el tramo de carreteras que sería en el punto según el levantamiento topográfico que se considere la aria que presentan vulnerabilidades por quedar en aria de pendiente y curvas con pocas visibilidad en tiempo de invierno se considera peligrosas por que la superficie de la carretera de macadam se suelta provocado sea lisa y retenga agua en tiempo de luvias provocado baches y los afectados en general es la población de la comunidad en el desplazamiento en vehículos de transporte público y vehículos que se encarga trasporta productos de abastecimiento producido en la zona. Otro desastre que se provocaría en el proyecto sería el impacto ambiental afectado a las cosechas por las operaciones de maquinarias en la ejecución de actividades de trabajo relacionada con el proyecto con la contaminación de arie y recurso de agua.

Es la relación de los métodos constructivos a emplear mediante un desarrollo y operación de un proyecto de obras horizontales formulado para ser dirigido para la comunidad de las tejas #2 en la cual se identificó y se valoró los posibles impactos ambientales que se pudieran provocar desastres durante el desarrollo de la ejecución y operación de proyecto el análisis se basa mediante la función de la ubicación y condiciones ambientales que poseen la zona y características del proyecto por lo tanto se consideró la prevención del impacto del medio ambiente con la implantación de medidas preventivas y mitigación para la compensación de los impactos negativos que se pueda prevenir. En la siguiente tabla se representa la una serie de medidas para la prevención de impacto significativos.

Tabla 53

Reducción de daño se implementará medidas de prevención y mitigación.

Prevención y mitigación				
	Impacto	Medidas	Tipos	Etapas que se aplicaran
		Realización de riego de agua para reducción de polvo.	mitigación	
		control de velocidad de los vehículos en el desplazamiento		Durante el proceso de construcción del sitio.
Medio ambiente (atmosfera)	Afectación del arie interfiriendo con la calidad del aire por serie de actividad en la ejecución del proyecto.	en tramo del proyecto.	Mitigación	
		Promover el mantenimiento en las maquinarias y vehículos operada en el proyecto.	Prevencción	Mediante las actividades realizada de construcción y operación.

Fuente: Elaboración propia

4.2.7.1 Conceptos claves. son las características que toma en cuenta para el desarrollo de diagnóstico de un proyecto.

- Naturaleza: factor clave el desarrollo de un proyecto de situaciones que suceden durante el proyecto que no se pueden controlar.
- Atmosfera: se caracteriza por el conjunto de gas como nitrógeno, oxígeno, vapor de agua y nivel de superficie.
- Maquinaria: son agente generadore de contaminación por los gases que emite en la actividad de ejecución de trabajo.
- Materiales a utilizar: son generadores de partículas que son distribuidas por viento que provocan daños alrededor de las zonas del proyecto.

4.2.7.2 Análisis de desplazamiento. Una de las principales amenaza que enfrentaría el proyecto seria la naturaleza por los posible desastres naturales durante el periodo de ejecución de la obra como huracán, tormenta tropical que produciría perdidas del avances progresivo de la mano de obra, afectado de forma directa la programación de ejecución de actividades, incrementado los gasto de material por la pérdida por los daños causados por fenómenos naturales y aumento de mano de obra para volver a nivelar el avances en menos tiempo de los establecido.

4.2.7.3 Análisis de Vulnerabilidad. Existen una incertidumbre con el fenómeno de la natural que es una amenaza para el proyecto ya que es algo natural que sucede de imprevisto y no se puede controlar las cual el principal es que causaría daños en la zona que se caracteriza por ser una arborizada, con pendiente pronunciada, curvas y un rio que provocaría ineducación y la infraestructura de la construcción seria afectada por la a amenaza.

Se podría decir que los usuarios y sus propiedades de arias de cosechas se considera vulnerables por los efectos significativo que tendría el desarrollo del proyecto en el periodo de ejecución de la obra agente contaminante que va surgiendo durante implementado de las actividades y afecta directamente a la naturaleza de la zona con impacto negativo.

Serian afectados en la economía por la reducción de cosecha de productos que desplaza para el abastecimiento de Matagalpa.

Sin embargo, no será a largo plazo la amenaza de asimilación de los cambios que sucederán en el entorno de la zona del proyecto.

4.2.7.4 Valoración del impacto ambiental. Nuestra valoración consistió en las amenaza de fenómenos naturales y vulnerabilidad que probablemente existen provoque daño el proyecto teniendo perdidas de gran cantidad de material los avances progresivos, modificando las programación inicial de las actividades mediante el desarrollo de ejecución y largo el periodo del proyecto en la comunidad de las tejas #2 por lo tanto incremento los costó de inversión como la compra de material, mano de obra, afectación económica para volver al nivel de avances que lleva del inicio.

Lo cual conlleva que el impacto ambiental tenga una valoración elevada en los agentes contaminante que surjan trans el desastre que es provocado por la naturaleza por la actividad de incorporación de actividad de trabajo que demande maquinaria operadora para el desalojo y limpieza de las arias más afectadas sobre el recorrido del tramo del proyecto para la evolución de daño que sufre la infraestructura vial de los avances que poseía.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- El impacto socioeconómico del tramo se evaluó mediante encuestas a 50 habitantes: el 60% calificó la vía en mal estado, 10% muy deficiente y 30% regular, evidenciando su uso diario y la necesidad urgente de rehabilitación.
- El estudio de tránsito, realizado durante cuatro días, permitió determinar un TPDA de 229 vehículos y una tasa de crecimiento de 3.68%; con estos valores se calcularon 301,680 ESAL's, insumo fundamental para el diseño estructural del pavimento.
- El levantamiento topográfico definió un derecho de vía promedio de 8 m, pendientes transversales de 4%–5% y una pendiente longitudinal máxima de 9.3%, clasificando el terreno como ondulado según SIECA.
- El análisis geotécnico indicó que la subrasante corresponde a AASHTO A-2-7(1), con CBR entre 41% y 90%; aunque el suelo presenta buena capacidad de soporte, se recomendó sustitución parcial y compactación conforme a NIC-2019 para garantizar estabilidad estructural.
- El diseño estructural mediante AASHTO 93 definió un pavimento articulado de 25 cm de espesor total: 10 cm de adoquín, 5 cm de arena y 10 cm de base granular, adecuado a las condiciones del suelo y al tránsito proyectado.
- La aplicación de la SIECA 2011 clasificó el tramo como Local Rural; debido al terreno accidentado se adoptó una velocidad de diseño de 30 km/h y peraltes hasta 12%, proyectando radios entre 30 y 700 m y carriles de 3 m para garantizar funcionalidad y seguridad.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- **Mantenimiento preventivo del pavimento articulado**

Se recomienda implementar un plan de mantenimiento rutinario y preventivo que incluya la limpieza periódica de cunetas, reposición de arena en juntas, control de vegetación en los márgenes de la vía y reparación temprana de adoquines sueltos o desnivelados. Estas acciones alargarán la vida útil del pavimento, reducirán costos de rehabilitación a futuro y garantizarán que la vía conserve un nivel de servicio adecuado durante el periodo de diseño.

- **Realizar un estudio hidráulico detallado**

Es fundamental desarrollar un estudio hidrológico e hidráulico que permita dimensionar de manera adecuada las obras de drenaje menor (cunetas, bordillos) y mayor (alcantarillas, obras de paso). Este análisis debe considerar caudales de diseño, pendientes naturales del terreno y variabilidad climática de la zona, con el fin de implementar un sistema de drenaje que evite acumulación de agua, erosión de taludes y daños prematuros a la estructura del pavimento

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geometrico de Carreteras Regionales* (Vol. 2).

AASHTO-93. (2025).

<https://hugoalcantara.files.wordpress.com/2014/02/disec3b1o-aashto-93.pdf>

ABC. (03 de 03 de 2023). Ministerio de Obras Publicas y Viviendas:

<https://www.google.com/search?q=https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2019/11/caf-apoyo-construccion-de-carretera-en-bolivia-para-impulsar-el-desarrollo-y-la-integracion/>

Alcaldía de Matagalpa. (2025). <https://alcaldiadematagalpa.gob.ni/>

Arauz Melendez, A. I., Huerta Arauz, S. T., Zuniga Payz, K. F., & Blandon

Quezada, N. J. (04 de 03 de 2018).

<https://es.scribd.com/document/378034084/Informe-Carretera-Matagalpa-jinotega-Km-140-145?hl=es-MX>

BANCO CENTRAL DE NICARAGUA. (2024). *Cuadros de Anuario de*

Estadísticas Macroeconómicas 2024. <https://www.bcn.gob.ni/cuadros-de-anuario-de-estadisticas-macroeconomicas>

Bautista, J. (2021).

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UDEP_02fa0c1681619ae4d5b972f82bd875eb

Cabezas, D. (2017). *Guia técnica y parctica para el diseño de los caminos*

vecinales en funcion de las caracterusticas topográficas y geotécnicas.

Cartago, San José.

Cárdenas Grisales, J. (2004). *Diseño Geometrico de Carreteras*. Bogotá: Ecoe

Ediciones.

- CENEPRED. (2014). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales*. Lima: Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED.
- CONAVI. (06 de 2023). *Proyectos Costa rica.org*.
<https://www.proyectoscostarica.org/circunvalacion-norte-unops>
- Diseño de pavimentos. (SIECA 2002). *Diseño de Pavimentos*.
- Escorcía Cano , T. I. (2013). <https://ribuni.uni.edu.ni/1284/1/39704.pdf>
- Espinoza Ochoa, A. A., & Picado Diaz, M. A. (22 de 03 de 2022).
https://ribuni.uni.edu.ni/6352/?utm_source
- García, A., Pérez, A. M., & Camacho, F. (2006). *Introducción al Diseño Geométrico de carreteras: Concepción y planteamiento*. Madrid: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
- Gonzalo Gimenez Cleves. (2017). *Topografía para Ingenieros Civiles*. Armenia: UNIVERSIDAD DEL QUINDIO.
- Instituto Nacional de información de Desarrollo, I. (2012). *Encuesta Nicaraguense de Demografía y Salud*.
- Kenia del Socorro, Á. L., Marjorie Junieth, V. M., & Xilonem Nayby, J. O. (10 de 2015). https://ribuni.uni.edu.ni/1967/1/60597.pdf?utm_source
- Leonardo Casanova Matera. (2002). *TOPOGRAFIA PLANA*. MERIDA: Taller de Publicaciones de ingeniería.
- López Roldán, P., & Fachelli S, S. (2015). *Metodología de la Investigación Social Cuantitativa*. Barcelona: Bellaterra (Cerdanyola del Vallès): Dipòsit Digital de Documents, Universitat Autònoma de Barcelona. 1ª edición. Edición.
<https://ddd.uab.cat/record/129382>
- Luis, M. (2012). *Diseño y planificación de pavimento con adoquín para el cantón Chuanoj Municipio de Totonicapán*. Guatemala, Guatemala.

- M.T.I. (2008). *Inventario de Red Vial*. Managua.
- M.T.I. (2008). *Manual para la revisión de estudios de diseño geométrico*. Managua, Nicaragua.
- Mamani, A. V. (2019). <https://alicia.concytec.gob>:
<http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4194>
- Ministerio de Transporte e Infraestructura, M. (2025). *MTI*. <https://www.mti.gob.ni/>
- MINSA. (13 de 08 de 2024). [https://confidencial.digital/nacion/minsa-admite-ante-ops-nicaragua-registra-mas-de-55-500-casos-y-un-muerto-por-dengue/#:~:text=El%20Ministerio%20de%20Salud%20\(Minsa,en%20la%20historia%20de%20Am%C3%A9rica](https://confidencial.digital/nacion/minsa-admite-ante-ops-nicaragua-registra-mas-de-55-500-casos-y-un-muerto-por-dengue/#:~:text=El%20Ministerio%20de%20Salud%20(Minsa,en%20la%20historia%20de%20Am%C3%A9rica).
- Molina, K., & Cerda, V. (2003). *Metodología para diseño de proyectos viales*. Managua, Nicaragua.
- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos*. Bogota.
- MTI. (2019). *Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes*.
- MTI. (15 de 12 de 2020). *El 19 digital*.
<https://www.el19digital.com/articulos/ver/111050-culminan-el-segundo-tramo-de-la-carretera-muy-muy-matiguas-rio-blanco>
- MTI. (19 de 10 de 2021). *El 19 Digital*:
<https://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:121371-inauguran-carretera-entre-rancho-grande-y-waslala>
- MTI. (26 de 04 de 2021). *EL 19 Digital*.
<https://www.el19digital.com/articulos/ver/titulo:115387-gobierno-de-nicaragua-inaugurara-carretera-adoquinada-en-matagalpa>
- MTI. (2022). *Anuarios de Aforos de Tráfico*. Managua.

MTI. (01 de 03 de 2025). Viva Nicaragua canal 13: <https://www-vivanicaragua-com-ni.webpkgcache.com/doc-/s/www.vivanicaragua.com.ni/2025/03/01/sociales/dolores-celebra-calles-adoquinadas/>

MTI. (14 de 05 de 2025). Viva Nicaragua Canal 13: <https://www.tn8.tv/departamentos/esteli-revoluciona-arranca-obra-vial-que-cambiara-la-vida-de-miles-de-familias/>

MTI. (25 de 07 de 2025). *Digital 19*. <https://www.el19digital.com/articulos/ver/164924-construccion-de-la-carretera-costanera-avanza-y-promete-transformar-el-litoral-pacifico-de-nicaragua>

Muzira, S. (03 de 12 de 2013). *Banco Mundial BLOGs*. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/adoquines-en-nicaragua>

NACIONAL, P. . (2025). *POLICIA NACIONAL* . <https://tramitesenlinea.policia.gob.ni/DocT/NormasdeCirculacion.aspx>

Navarro, S. (2011). https://sjnavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/unidad-ii_curvas-verticales_2011.pdf

Officials, American Association of State Highway and Transportation. (96). *ASSTHO 96*.

Publicas, S. N. (2025). *SNIP*. <http://www.snip.gob.ni/>

Rodriguez Rodriguez, D. F., Rodriguez Rodriguez, D. G., & Garcia Oporta, M. E. (2024). https://ribuni.uni.edu.ni/6352/?utm_source

SIECA. (2002). En *Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*.

SIECA. (2011). *Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales*.

- SILAIS Matagalpa. (2025). <http://mapasalud.minsa.gob.ni/mapa-de-padecimientos-de-salud-departamento-de-matagalpa/>
- Structuralia. (20 de mayo de 2020). *El software para profesionales del sector*. CivilCAD: <https://blog.structuralia.com/civilcad>
- Tamayo, M. (2012). *studocu*.
<https://www.studocu.com/latam/document/universidad-tecnologica-de-santiago/estadistica-i/poblacion-segun-hernandez/32142458>
- Tamayo, M., & Tamayo. (2007).
<https://virtual.urbe.edu/tesispub/0100920/cap03.pdf>
- UCC. (2025). *Universidad de Ciencias Comerciales Matagalpa*.
<https://ucc.edu.ni/historia/>
- Ureña, E. (2020). *Propuesta metodológica para el diseño y construcción de pavimentos de adoquin*. San José, Costa Rica.

ANEXOS

Anexo 1

formato de encuesta hoja 1



“Estudio técnico y socioeconómico para el diseño geométrico y estructural de un tramo vial de 2 km con pavimento articulado en la comunidad de Tejas # 2



Encuesta socioeconómica - Proyecto vial área rural

Comunidad: _____ Municipio: _____

Departamento: _____ Fecha: _____

Nombre del encuestado: _____

Datos generales del hogar

1. ¿Cuántas personas viven en su vivienda?

1-2 3-5 6 o más

2. ¿Cuál es la principal actividad económica del hogar?

Agricultura Comercio Trabajo asalariado Estudiante Otro:

3. ¿Cuál es el ingreso mensual aproximado del hogar?

Menos de C\$ 3,000 C\$ 3,001 – 6,000 Más de C\$ 6,000

Uso y condición del camino

4. ¿Con qué frecuencia utiliza el camino de acceso a la comunidad?

Diario Varias veces por semana Ocasionalmente Casi nunca

5. ¿Cuál medio de transporte utiliza con mayor frecuencia?

A pie Bicicleta Moto Vehículo particular Transporte público

Anexo 2

formato de encuesta hoja 2

6. ¿Cómo califica el estado actual del camino?

Bueno Regular Malo Muy malo

7. ¿Durante el invierno, el camino permanece transitable?

Sí No Parcialmente

Impacto socioeconómico

8. ¿Cómo considera que influiría la mejora del camino en la calidad de vida de su familia?

- Mejoraría mucho
- Mejoraría moderadamente
- No cambiaría
- Empeoraría

9.

¿El camino actual afecta la comunicación e integración entre su comunidad y las comunidades vecinas?

- Sí, mucho
- Sí, en parte
- No

10. ¿Cuánto gasta aproximadamente en transporte semanalmente?

Menos de C\$ 50 C\$ 51 – 100 Más de C\$ 100

11. ¿Piensa que la mejora del camino impulsaría nuevas actividades económicas en la comunidad (comercio, empleos)?

- Sí, en gran medida
- Sí, en cierta medida
- No tendría impacto

Anexo 3

formato de encuesta hoja 3

Opinión sobre el proyecto vial

12. ¿Considera necesario el mejoramiento del camino?

Sí No No sabe

13. ¿Qué beneficios espera si se mejora el camino? (Marque más de uno)

Mayor acceso a mercados Mejor transporte escolar Reducción de costos
 Acceso a salud Desarrollo local Otro: _____

14. ¿Estaría dispuesto a colaborar con el proyecto vial si se ejecutara?

Sí No Tal vez

Observaciones adicionales: _____

Encuestador: _____

Anexo 4

Tabla de operacionalización de variables

Objetivos	Variable	Subvariables	Instrumentos	Dirigido a
Evaluar el impacto socioeconómico del actual estado del camino a través de una encuesta aplicada a la población local	Impacto socioeconómico del estado del camino.	<ul style="list-style-type: none"> • Accesibilidad vial • Costos de transporte • Afectación en la actividad económica • Percepción del estado del camino 	Encuesta estructurada y entrevistas semidirigidas	Pobladores de la comunidad Las Tejas #2
Realizar un estudio de tránsito por medio de un aforo vehicular para la obtención del ESAL's de diseño mediante el método AASHTO 93	Tránsito vehicular.	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen promedio diario anual (VPDA) • Clasificación vehicular (ligeros, pesados) • Cálculo de ejes equivalentes (ESAL's) • Proyección de tránsito • Factores estacionales • Tasas de crecimiento • Altimetría y planimetría • Pendientes longitudinales y transversales 	Formato de foro vehicular proporcionado por el MTI	Usuarios de la vía: conductores particulares, transporte local y pesado
Caracterizar las condiciones topográficas y geométricas del terreno mediante levantamiento alti-planimétrico	Condiciones topográficas y geométricas del terreno.	<ul style="list-style-type: none"> • Radios de curvatura • Anchos de calzada y derechos de vía • Ángulos horizontales • Ángulos verticales 	Guía de observación	Terreno del tramo vial en la comunidad Las Tejas #2

Anexo 4

Tabla de operacionalización de variables

Objetivos	Variable	Subvariables	Instrumentos	Dirigido a
Analizar los resultados del estudio geotécnico proporcionado por la Alcaldía de Matagalpa	Condiciones del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> • Distancias verticales • Relieve del terreno • Perfiles Topográficos • Curvas de nivel • CBR de subrasante, base y subbase • Tipo de suelo • Contenido de humedad • Capacidad de soporte 	Ficha de observación técnica	Datos proporcionados por la Alcaldía de Matagalpa y ensayos de laboratorio certificados
Dimensionar la estructura de pavimento articulado aplicando el método AASHTO 93	Diseño estructural del pavimento.	<ul style="list-style-type: none"> • Espesores de capas (base, subbase, rodadura) • Vida útil esperada- Tráfico de diseño (ESAL's)- • Nivel de servicio • Módulo de Resiliencia • California Bearing Ratio 	Guía de observación	Proyecto vial en la comunidad Las Tejas #2, autoridades municipales y comunidad beneficiaria

Anexo 5

Día 1 de recolección de datos a través de aforo vehicular estación 1+400



Anexo 6

Día 3 en la recolección de datos a través de aforo vehicular estación 1+400



Anexo 8

Estado de la carpeta de rodamiento estación 1+450



Anexo 7

Recopilación de datos de la población de la comunidad, área de estadística del SILAIS MATAGALPA.



Anexo 10

Producción de frijol



Anexo 9

Puente de una sola vía en la estación 1+038



Anexo 11

Actividad vehicular en la zona camioneta de una cabina



Anexo 12

Actividad vehicular de la zona bus de transporte publico



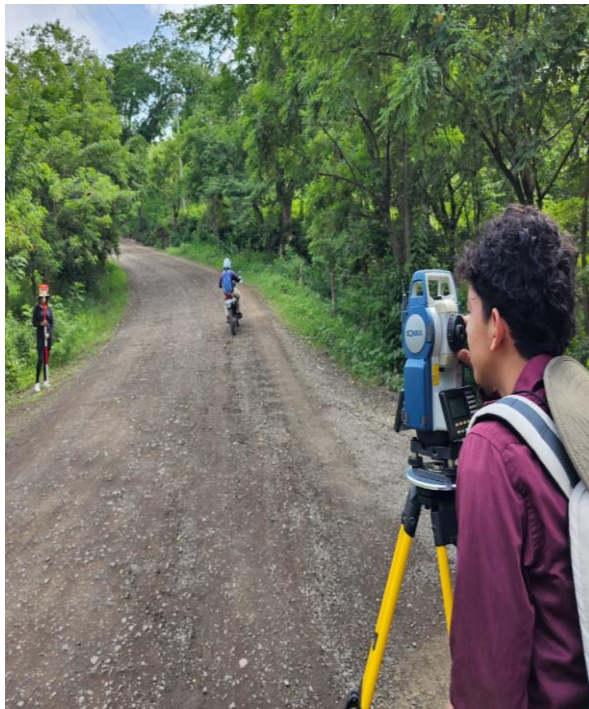
Anexo 14

Actividad económica de la zona camión de carga C2



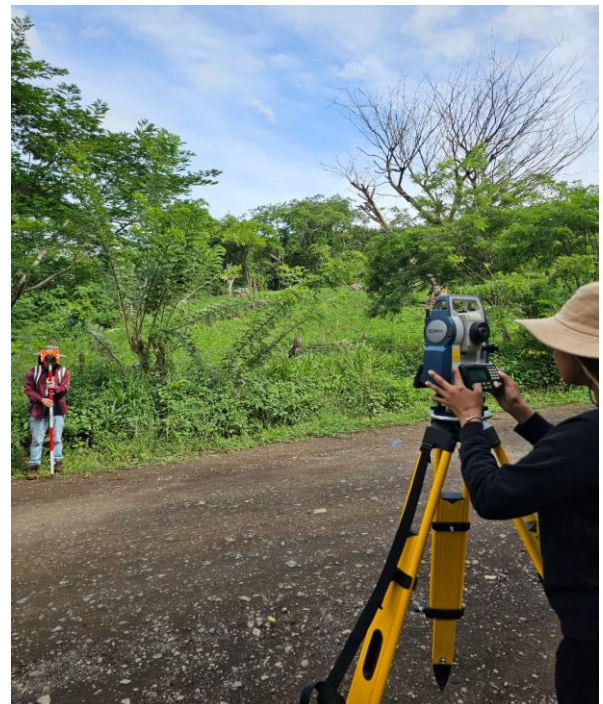
Anexo 13

Levantamiento topográfico primer día



Anexo 15

Levantamiento topográfico con estación total segundo día



Anexo 16

Aplicación de encuesta comunidad Las Tejas #2



Anexos

Planos del Proyecto

REPUBLICA DE NICARAGUA



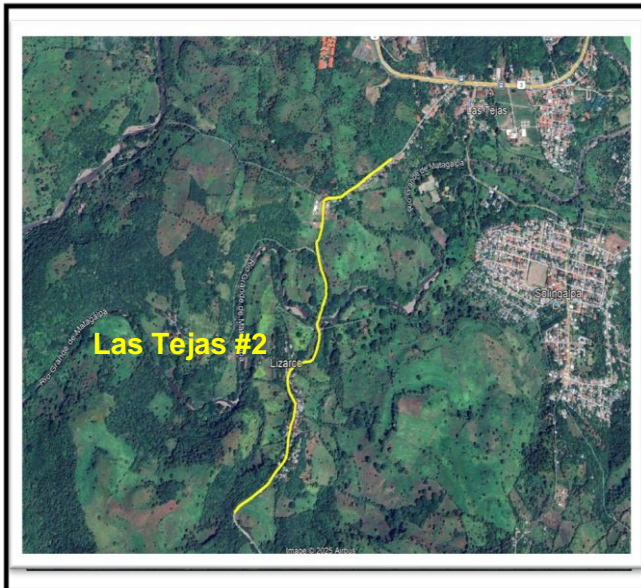
"Diseño geométrico y estructura de pavimento articulado

2 km en la comunidad Las Tejas # 2"

MUNICIPIO DE MATAGALPA



Universidad
de
Ciencias Comerciales



PLANO DE MICROLOCALIZACION

ÍNDICE DE PLANOS PROYECTO VIAL COMUNIDAD LAS TEJAS 2

CONSECUTIVO	CONTENIDO
L-01	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 0+000 a 0+160
L-02	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 0+160 a 0+300
L-03	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 0+300 a 0+460
L-04	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 0+460 a 0+620
L-05	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 0+620 a 0+760
L-06	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 0+760 a 0+920
L-07	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 0+920 a 1+080
L-08	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 1+080 a 1+220
L-09	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 1+220 a 1+380
L-10	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 1+380 a 1+480
L-11	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 1+480 a 1+580
L-12	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 1+580 a 1+700
L-13	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 1+700 a 1+880
L-14	DE 27 PLANTA PERFIL , Est. 1+880 a 2+015.83
L-15	DE 27 SECCION , Est. 0+000 a 1+160
L-16	DE 27 SECCION , Est. 0+180 a 0+340
L-17	DE 27 SECCION , Est. 0+360 a 0+520
L-18	DE 27 SECCION , Est. 0+540 a 0+700
L-19	DE 27 SECCION , Est. 0+720 a 0+880
L-20	DE 27 SECCION , Est. 0+900 a 1+060
L-21	DE 27 SECCION , Est. 1+080 a 1+240
L-22	DE 27 SECCION , Est. 1+260 a 1+420
L-23	DE 27 SECCION , Est. 1+440 a 1+600
L-24	DE 27 SECCION , Est. 1+620 a 1+780
L-25	DE 27 SECCION , Est. 1+800 a 1+960
L-26	DE 27 SECCION , Est. 1+980 a 2+015.83
L-26	DE 27 SECCION TIPICA DE CALLE
L-27	DE 27 DETALLES TIPICOS GENERALES



MACROLOCALIZACION

Elaborado por:
Br. Cristhian Gutierrez López
Br. Jarling Mondoy Urbina

Revisado por:
Ing.: Christopher Vargas Lumbi