



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

“DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 1.5 KM DEL TRAMO GUANACASTE – DUCUALE GRANDE, MUNICIPIO DE CONDEGA, DEPARTAMENTO DE ESTELÍ, POR EL MÉTODO DE AASHTO-93”.

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Rosarminda Rodríguez Lira.
Br. Yendis Ramón Salgado Casco.

Tutor

Msc.Ing. José Bustamante Arteaga.

Managua, Abril 2019.

CARTA DE APROBACION

DEDICATORIA.

➤ **A Dios**

Por permitirnos vivir y así cumplir con uno de los sueños más grandes, poder culminar nuestros estudios universitarios.

➤ **A Nuestros Padres y Familia**

Porque a pesar de las dificultades económicas nos dieron la oportunidad de formarnos profesionalmente.

➤ **A Nuestros hij@s y espos@s**

Por darnos la motivación necesaria de buscar un futuro mejor para poder tener una mejor calidad de vida.

Br. Rosarminda Rodríguez Lira.
Br. Yendis Ramón Salgado Casco.

AGRADECIMIENTO.

➤ **A Dios**

Por todas las bendiciones que nos ha dado y porque en cada caída que hemos tenido nos ha dado la fuerza para sobresalir y vencer todas las adversidades que se nos han presentado.

➤ **A nuestros padres y familiares**

Por el esfuerzo realizado durante nuestros años de estudio, en los cuales nos ayudaron de manera incondicional, tanto económicamente como emocionalmente.

➤ **A la Alcaldía de Condega**

Por la colaboración que nos dio al facilitarnos la información necesaria para poder desarrollar este trabajo monográfico.

➤ **Al Ing. José Fernando Bustamante Arteaga**

Por el asesoramiento brindado durante el periodo de elaboración de nuestro trabajo monográfico, siendo de gran ayuda para la culminación del mismo.

Br. Rosarminda Rodríguez Lira.
Br. Yendis Ramón Salgado Casco.

RESUMEN EJECUTIVO.

En el siguiente documento se presenta el diseño geométrico vial y estructura de pavimento articulado (Adoquinado) de 1.5 km de longitud, el cual se encuentra situado en el tramo Guanacaste–Ducuale Grande Municipio de Condega, departamento de Estelí que inicia en las coordenadas geográficas 13° 22' 47.7" Norte, 86° 24 '06.5" Oeste y finalizando en coordenadas geográficas 13° 23' 04.6" Norte, 86°24' 43.6" Oeste.

De manera general los objetivos y resultados de esta Monografía se presentan en VI capítulos, que a continuación se detallan:

CAPÍTULO I GENERALIDADES:

Corresponde a los aspectos generales del tema a desarrollar, como la descripción de las condiciones actuales de la vía, y todos aquellos trabajos de investigación que preceden al que se está realizando, también se aborda la importancia del porqué del tema, de acuerdo con los objetivos planteados y los diferentes aspectos esenciales.

CAPÍTULO II: ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

Para cumplir con el primer objetivo se analizó el estudio Topográfico brindado por el Ministerio de Transporte (MTI y Alcaldía Municipal de Condega), los cuales muestran los resultados que se obtuvieron durante la realización de dicho estudio, se muestra detalladamente todo lo relacionado con la planimetría y altimetría del terreno.

Se identificaron las pendientes máximas y mínimas con sus respectivas estaciones, luego se elaboró un consolidado de las obras de drenajes existentes a lo largo del tramo en análisis, así como el levantamiento de los BMs, curvas y rectas importantes a lo largo del tramo, con la finalidad de tener una perspectiva clara de las condiciones del terreno y poder realizar los planos finales de construcción.

CAPÍTULO III: DISEÑO GEOMÉTRICO.

El contenido de este capítulo expone resultados corresponden al establecimiento y/o definición de la Geometría Vial del tramo de Proyecto **Guanacaste –Ducuale Grande (1.5 kilómetros)**, adoptando las Normas de Diseño del Proyecto mostradas en Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA, 2da Edición 2004) o en su defecto la Guía de Diseño Geométrico de la AASHTO (A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, Quinta Edición 2004).

El tramo de carretera se diseñó con un ancho de rodamiento de **6.00 metros** y hombros de **0.50** metros, como complemento se propuso cunetas triangulares a cada lado de **1.0** metro de ancho, para un total de sección típica de **9.00 metros**.

Se definieron los parámetros tal como; Radio Mínimo (R_{min}), distancia entre ejes (L), coeficiente de fricción longitudinal (f_{max}), Grado de curvatura máximo (D_c), pendiente transversal (3%), distancia de visibilidad de parada (DVA) y rebase (DVP); en función de la velocidad de diseño (V_d).

CAPITULO IV ESTUDIO DE TRÁNSITO:

Se basa en la situación actual del tránsito sobre el tramo de carretera y su respectiva proyección; tomando como parámetro los volúmenes de tránsito obtenidos mediante aforos en el sitio de estudio.

Para esto se estimó TPDiS (tránsito promedio diurno semanal) el cual se calculó por medio de los datos recolectados en el conteo vehicular, realizado durante 7 días consecutivos 12 horas diurnas (6 am- 6 pm), con el objetivo de estimar el TPDA (tránsito promedio diario anual) para el cual se utilizaron factores de ajustes de la estación corta duración ECD-110 Estelí-Condega la cual depende de la de mayor cobertura (Estación 107 Sébaco San Isidro), los factores utilizados fueron: FD (factor día) y FE (Factor expansión) para determinar una tasa de crecimiento para proyectar el tránsito se trabajó con la estación de corta duración ECD-110 Estelí-Condega.

Luego se realizaron correlaciones de los datos de TPDA Vs PIB (producto interno bruto) y TPDA Vs POB (población) con la finalidad de estimar una tasa de crecimiento acorde a las condiciones actuales del país, para proyectar el tránsito actual de la vía, esto en un periodo de diseño luego se obtuvo el número de repeticiones por eje equivalente (ESAL s) o W18.

CAPITULO V ESTUDIO GEOTÉCNICO:

Se analizó el estudio de suelos realizado por INGENICA en el año 2016, con el objetivo de conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo existente y bancos de materiales cercanos al proyecto. De los 7 sondeos de línea a cada 250 metros se tomaron 17 muestras. Los bancos de préstamos se evaluaron en base a las recomendaciones de la NIC-2000 (Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes), para determinar si cumplen para ser utilizados como base o subbase. Posterior se realizó el cálculo del CBR de la subrasante para determinar su módulo resiliente.

CAPÍTULO VI DISEÑO DE PAVIMENTO:

Después de conocer las propiedades del suelo y realizar las proyecciones del tránsito se procedió a calcular los espesores del paquete estructural utilizando los nomogramas y luego el software WinPAS, para la comprobación del Diseño.

Los principales parámetros asumidos para determinar los espesores del tramo a adoquinar, fueron: Confiabilidad (**R**), Desviación Estándar (**So**), Capacidad de Servicio Inicial (**Po**), Capacidad de Servicio Final (**Pt**), Perdida de serviciabilidad (Δ **psi**), Coeficiente de drenaje (m_n), Coeficientes de capa (a_n), Número de Ejes Equivalentes **ESAL's o W18**, será el número de aplicaciones equivalente a 18 KN, por último, Modulo resiliente de la Sub-Rasante (**MR**). Estos parámetros brindarán los espesores de la carpeta de rodamiento.

.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1. 4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 Objetivos General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5

CAPÍTULO II

ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2.1 Metodología.....	6
2.2. Equipo Topográfico.....	6
2.3 Elección del Método.....	7
2.3.1 Planimetría.....	7
2.4. Procedimiento y Desarrollo del Estudio Topográfico.....	8
2.4.1. Perfil Longitudinal.....	8
2.4.2. Altimetría.....	11
2.4.3. Referencias y Detalles.....	14
2.4.4. Levantamiento de las Obras de drenaje.....	14
2.5. Elaboración de Planos.....	15

CAPÍTULO III

DISEÑO GEOMÉTRICO

3.1. Metodología.....	16
3.2. Establecimiento de las Normas de Diseño.....	16
3.2.1. Clasificación Funcional.....	16
3.2.2. Análisis y Resultados de la Geometría Existente.....	17
3.2.3. Datos Tráfico.....	17
3.2.4. Vehículo de Diseño.....	17
3.2.5. Velocidad de diseño (Vd).....	18
3.2.6. Sección Transversal Típica de Diseño.....	19
3.2.7. Derecho de Vía.....	22

3.2.8. Pendientes Obtenidas.	22
3.2.9. Distancia Mínima de Visibilidad (Dv):.....	22
3.3. Alineamiento Horizontal.	27
3.3.1 Sobreelevación máxima (e) y coeficiente de fricción.....	27
3.3.2. Radio Mínimo y Distancia Mínima entre Curvas (Rmin).	28
3.3.3. Sobre-anchos en curvas (S).....	29
3.3.4. Longitud de transición (LT).....	31
3.4. Alineamiento Vertical.	36
3.4.1. Curvas Verticales.	36
3.4.2. Cálculo de curvas verticales en cresta.....	37
3.4.3. Cálculo de Curvas verticales en columpio.	39
3.5. Resultados del Alineamiento Horizontal y Vertical.	40

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE TRÁNSITO

4.1. Generalidades.	43
4.2. Metodología.....	43
4.2.1. Ubicación de la Estación de Aforo.	43
4.2.2. Periodo de aforo de Tránsito.....	44
4.2.3. Clasificación de vehículos.	45
4.2.4. Tipos de Vehículos.....	45
4.2.5. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.....	46
4.2.6. Clasificación de ejes.....	46
4.2.7. Digitalización y Control de Calidad.....	47
4.2.8. Resultados de los Aforos de Tránsito.	47
4.2.9. Determinación del Tránsito Promedio Diurno (TPDiS).	48
4.3. Calculo del Tránsito Promedio Anual (TPDA).	50
4.4. Determinación de las Tasas de Crecimiento.	54
4.4.1. Tasas de Crecimiento.....	54
4.4.2. Correlación de Datos entre ECD N°110 y PIB.	56
4.4.3. Correlación de Datos entre ECD 110 y POB.	60
4.4.4. Calculo de Proyección de Tráfico.....	63
4.5. Selección de la Tasa de Crecimiento.	65
4.6. Determinación del Tránsito de Diseño.....	65

4.6.1. Período de Diseño (PD).	65
4.6.2. Factor de Crecimiento (FC).	66
4.6.3. Factor Distribución Por Dirección (FD).	66
4.6.4. Factor Distribución Por Carril (fc).	66
4.6.5. El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po).	68
4.6.6. El Índice de Serviciabilidad Final (Pt).	68
4.6.7. Pérdida de Serviciabilidad (Δ PSI).	68
4.6.8. Número Estructural Asumido (SN).	69
4.6.9. Factor de Equivalencia (FESAL).	69
4.6.10. Ejes Equivalentes (ESAL o W18).	70

CAPÍTULO V

ESTUDIO GEOTÉCNICO

5.1. Generalidades.	73
5.2. Metodología.	73
5.3. Ensayos de Suelos en Línea.	74
5.3.1. Resultado de los Ensayos sobre la Línea.	74
5.3.2. Análisis de los Resultados.	75
5.3.3. Estratigrafía del Terreno.	79
5.3.4. Evaluación de la carpeta de Rodamiento existente.	80
5.3.5. Evaluación de la Subrasante.	80
5.3.6. Ensayos de Bancos.	85
5.3.7. Banco de Préstamo N – 1 Dueño (Jaime Chavarría).	85
5.3.8. Banco de Préstamo N – 2 Dueño (David Dávila).	85
5.3.9. Clasificación y descripción del Banco de préstamo N –1.	87
5.3.10. Clasificación y descripción del Banco de préstamo N–2.	87
5.3.11. Análisis de Bancos de préstamos.	87
5.4. CBR de Diseño.	89

CAPÍTULO VI

DISEÑO DE PAVIMENTO

6.1. Generalidades.	92
6.2. Consideraciones del Diseño AASHTO– 93.	92
6.2.1. Confiabilidad (R).	92
6.2.2. Desviación Estándar (So).	93

6.2.3. Coeficiente de Drenaje (m).	93
6.2.4. Cálculo del CBR de Diseño.....	94
6.2.5. Módulo de Resiliencia (MR).	94
6.2.6. Coeficientes de capa.....	95
6.2.7. Números Estructurales.....	98
6.2.8. Cálculo del espesor de la base (D ₂) y Subbase (D ₃).	101
6.2.9. Resultados Finales.....	104
6.3. Uso del programa WinPAS.....	105
6.3.1. Software de Diseño WinPAS.....	105
CONCLUSIONES.....	109
RECOMENDACIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA.....	115
ANEXOS.	
GLOSARIO.	

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico - 1 Comportamiento de Tráfico Diurno 12 Horas. _____	48
Gráfico - 2 Tráfico Promedio Diurno por Tipo de Vehículo. _____	50
Gráfico - 3 : Composición Vehicular del tramo en Estudio. _____	53
Gráfico - 4 :Correlación TPDA de la Estación 110 ECD (Estelí –Cóndega). ____	56
Gráfico - 5: Correlación TPDA (ECD-110) Vs PIB (Millones \$)._____	57
Gráfico - 6 Correlación LN TPDA (ECD-110) y LN PIB (Millones \$)._____	59
Gráfico - 7 Correlación TPDA (ECD-110) y Población (Miles \$)._____	61
Gráfico - 8 Correlación LN TPDA (ECD 110) y LN Población (Miles \$). _____	62
Gráfico- 9: Perfiles Estratigráficos (Est. 0+000 a 0+750). _____	79
Grafico- 10: Perfiles Estratigráficos (Est. 1+000 a 1+500). _____	79
Gráfico- 11: CBR de Diseño _____	91
Grafico- 12: Calculo del coeficiente estructural (a ₂) tratadas. _____	96
Grafico- 13: Calculo del Coeficiente Estructural (a ₃) no-tratadas. _____	97
Grafico- 14: Ábaco de Diseño AASHTO, para el Cálculo de SN2 y SN3. ____	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla -1: Consolidado de Levantamiento Topográfico del Tramo en Análisis. ___	9
Tabla-2: Consolidad de Levantamiento Topográfico del Tramo en Análisis. ___	10
Tabla-3: de BMs (BENCH MARCK o Banco de nivel de precisión). _____	11
Tabla-4: Consolidado de Pendientes por Estaciones. _____	12
Tabla-5: de Curvas identificadas a lo Largo del Tramo. _____	13
Tabla-6: de Rectas identificadas a lo Largo del Tramo. _____	13
Tabla-7: Obras de Drenaje a lo Largo del Tramo. _____	14
Tabla-8: Dimensionamiento de los Vehículos de Diseño. _____	18
Tabla-9: Dimensiones del Vehículo de Diseño (C-2). _____	19
Tabla-10: Dimensiones del Vehículo de Diseño (C-2). _____	20
Tabla-11: Distancias de visibilidad de parada en terreno plano. _____	23
Tabla-12: Distancia de Visión para Adelantar _____	25
Tabla-13: Sobreelevaciones Máximas Permitidas Según Tipo de Terreno. ___	28
Tabla-14: Sobre-anchos en Curvas. _____	30
Tabla-15: Pendiente relativa según la velocidad de Diseño. _____	34
Tabla-16: Distribución de Peraltes y Longitud de Transición. _____	35
Tabla-17: Relación de curvatura vertical en cresta _____	38
Tabla-18: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta. _____	39
Tabla-19: Relación de curvatura vertical en columpio con la DVP. _____	40
Tabla-20: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio. _____	40
Tabla-21: Curvas Horizontales Trazadas. _____	41
Tabla-22: Datos de Curvas Verticales Proyectadas. _____	41
Tabla-23: Resumen de Criterios Finales de Diseño. _____	42
Tabla - 24 : Aforo Vehicular. _____	44
Tabla - 25 : Aforo Vehicular de 7 Días (Ambos Sentidos). _____	47
Tabla - 26: Tránsito Promedio Diurno/12 horas por tipo de Vehículos. _____	49
Tabla - 27: Dependencia de Estaciones (Estación Epm. Sébaco -San Isidro). _	52
Tabla - 28: Factores del primer Cuatrimestre del año Enero Abril _____	52
Tabla - 29: Tránsito Promedio Diario Anual. _____	53
Tabla - 30: Registros Históricos del PIB, TPDA y POB. _____	54

Tabla - 31: Evolución TPDA de la Estación ECD 110 Estelí- Condega. _____	55
Tabla - 32: Tasas de Crecimiento Anual para PIB. _____	57
Tabla - 33: Datos LN TPDA y LN PIB. _____	58
Tabla - 34: Resultados de Correlación TPDA (ECD-110) y PIB (Millones \$). __	59
Tabla - 35: Datos ECD-110 y Tasas de Crecimiento Anual para Población. ____	60
Tabla - 36: Datos LNTPDA ECD-110 y LN POB. _____	61
Tabla - 37: Resultados de Correlación TPDA (ECD-110) y POB (Miles/Hab). _	62
Tabla - 38: Datos Históricos (TPDA, PIB, POB). _____	63
Tabla - 39: Período de Diseño (N). _____	65
Tabla - 40: Factor de Distribución por Dirección (FD). _____	66
Tabla - 41: Factor de Distribución por Carril (FC). _____	67
Tabla - 42: Tránsito de Diseño. _____	67
Tabla - 43: Factores de ejes Kips a Interpolar. _____	69
Tabla - 44: Interpolación Lineal (2.2, 4.4, 8.8). _____	70
Tabla - 45: Interpolación Lineal (9.9, 11, 14.30). _____	70
Tabla - 46: Interpolación Lineal (17.60 y 36.30). _____	70
Tabla - 47: Cálculo ESAL´S del Carril de Diseño. _____	72
Tabla -48: Coordenadas Geográficas para cada Sondeo en el tramo _____	76
Tabla- 49: Sondeos realizados a lo largo del Tramo (SM-1, SM-2, SM-3). ____	77
Tabla -50: Sondeos a lo largo del Tramo (SM-4, SM-5, SM-6, SM-7). _____	78
Tabla- 51: Carpeta de Rodamiento Existente y profundidad de Subrasante. __	80
Tabla- 52: Profundidad de Subrasante y suelos a Utilizar. _____	81
Tabla- 53: Bancos de Préstamo. _____	85
Tabla- 54: Resultados de Laboratorio de Bancos de Materiales. _____	86
Tabla- 55: Especificaciones de Materiales para Base Granular. _____	87
Tabla- 56: Especificaciones de Materiales para Sub-base Granular. _____	88
Tabla-57: Especificaciones para terraplenes y materiales para sub– rasante. _	89
Tabla- 58: Criterio del Instituto de Asfalto para Determinar CBR de Diseño. __	90
Tabla- 59: Valores para determinar CBR de Diseño. _____	90
Tabla- 60: Niveles de confiabilidad. _____	92
Tabla- 61: Desviación Estándar. _____	93

Tabla- 62: Coeficientes de Drenaje. _____	93
Tabla- 63: Correlaciones para cálculo de Modulo de Resiliencia. _____	94
Tabla- 64: Espesores Mínimos Sugeridos por Capa. _____	101
Tabla- 65: Espesores de Diseño. _____	104
Tabla-66: Datos de Diseño. _____	105

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen-1: Dimensiones del Vehículo de Diseño (C-2). _____	18
Imagen-2: sección Típica Transversal Propuesta. _____	21
Imagen- 3: Maniobra de Adelantamiento. _____	24
Imagen- 4: Curvas en Cresta o Convexas. _____	36
Imagen- 5: Curvas en Columpio o Cóncavas. _____	37
Imagen- 6: Ubicación del punto de conteo vehicular. _____	44
Imagen-7: (ECD-110 Estelí- Cóndega Dependencia EMC107) _____	51
Imagen-8: Profundidad de Subrasante de la estación 0+000. _____	82
Imagen-9: Profundidad de Subrasante de la estación 0+250. _____	82
Imagen-10: Profundidad de Subrasante de la estación 0+500. _____	83
Imagen-11: Profundidad de Subrasante de la estación 0+750. _____	83
Imagen-12: Profundidad de Subrasante de la estación 1+000. _____	84
Imagen-13: Profundidad de Subrasante de la estación 1+250. _____	84
Imagen-14: Profundidad de Subrasante de la estación 1+500. _____	84
Imagen- 15: Espesores de Diseño. _____	104
Imagen- 16: Interfaz del programa (Paso-1). _____	105
Imagen- 17: Selección de Tipo de Pavimento (Paso 2). _____	106
Imagen- 18: Introducción de Datos de Diseño. _____	106
Imagen- 19: Número Estructural obtenido (Resultado-1). _____	107
Imagen- 20: Determinación del SN de Diseño (Paso-5 y Resultado 2). _____	107
Imagen- 21: Estructura del Pavimento Diseñado. _____	108

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN.

La aparición de los pavimentos se debió a la necesidad del hombre de tener vías de transporte durables, que permitieran el desplazamiento rápido y seguro, sobre todo en aquellas épocas del año en que los fenómenos naturales imposibilitan el tránsito.

En Nicaragua el uso del adoquín es muy común, su aplicación se da en carreteras que no tienen un flujo vehicular muy grande, así como en las calles de las ciudades donde la mayoría están hechas por este material. En Nicaragua se ha optado por este tipo de pavimento ya que primeramente son fabricados a base de concreto de alta resistencia, son de fácil manejo en el transporte y la colocación, ya que no requieren de mano de obra especializada, tiene una superficie auto-derrapante, todo ello con una apariencia agradable y a un costo más accesible, así como el mantenimiento de éste.

La Comunidad de Ducuale Grande pertenece al Municipio de Condega, departamento de Estelí y se encuentra a 2.5 km al sur de la cabecera municipal. Para llegar al sitio se sigue la carretera Panamericana Condega-Ocotal, en el kilómetro 187.3 se gira a la izquierda y a 1.5 km se encuentra la comunidad en camino de todo tiempo. Se localiza en las coordenadas UTM 563,572 E y 1, 478,925 N a una altura de 535.4 metros sobre el nivel medio del mar. **(Ver Anexos Imagen 22, 23, Página I y II)**

Ducuale es una de las comunidades de mayor elaboración de artesanías, ya que tienen una gran aceptación por su calidad, ha participado en muchas ferias y su producto es comercializado a nivel regional y nacional.

La actividad de transporte vial entre el tramo que conecta la carretera Panamericana con la comunidad de Ducuale Grande es muy transitado a diario ya sea por vehículos, personas a pie, en bicicletas o en bestias.

Es necesario el diseño de 1.5 km de pavimento articulado ya que la población será beneficiada en el acceso a la salud, reducción del polvo y evitar enfermedades respiratorias así como los usuarios de buses y vehículos en especial los taxis que son los principales afectados, estando la carretera sin ningún tipo de pavimentación, también porque Ducuale Grande es conocido por su taller de artesanías el cual es muy visitado por personas de origen nacional como internacional los que visitan la comunidad en vehículos.

El presente estudio monográfico consistió en el diseño geométrico y estructura de 1.5 km de pavimento articulado. El diseño incluye estudios de tránsito para saber cuál es la demanda vehicular existente, estudios de suelo en el lugar del proyecto, así como en los bancos de materiales, levantamiento planimétrico y altimétrico para definir la rasante óptima, el diseño geométrico del tramo con referencia a las normas establecidas en el Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004) y el cálculo de espesores de la estructura de pavimento utilizando el método AASHTO 93.

1.2 ANTECEDENTES.

El uso de los pavimentos articulados tiene una larga historia, especialmente el pavimento hecho con adoquines de granito, dado su gran durabilidad y versatilidad fue usado desde los tiempos de los romanos para las vías públicas, con resultados óptimos para las necesidades de épocas anteriores, actualmente se siguen usando, especialmente en áreas peatonales, centros históricos, aportan gran belleza y durabilidad si se les da el mantenimiento necesario.

La Comunidad de Ducuale Grande es conocida por su taller de artesanías que es un centro comunitario en el que trabajan 13 mujeres de la zona, elaborando artesanías que guardan el estilo, en cuanto a formas de elaboración y materiales, de las producidas antaño por la cultura indígena habitante de la región.

Siempre para acceder a esta comunidad se ha llegado a través de una carretera de tierra de todo tiempo, conectada a la carretera Panamericana, la cual se le ha dado reparación cada año para mantenerla en buen estado, pero al inicio era un camino, luego pasó a ser una trocha y terminó en carretera.

Esta ruta ha sido muy transitada desde muchos años atrás pero lastimosamente es un camino seco y polvoso el cual en tiempos de lluvia sufre deterioro. Aunque los responsables de la comunidad siempre han tenido iniciativa y ellos mismos por mucho tiempo hacen reparaciones voluntarias, así como la construcción de cunetas naturales que gracias a estas el agua no corta la carretera.

En este tramo se han realizado trabajos de mantenimiento regularmente en la capa de rodamiento, así como la reparación de una rampa que está ubicada en la entrada de la comunidad, pero aun así hay presencia de baches. La alcaldía ha tenido este problema desde hace mucho, pero por falta de fondos no se han tomado la molestia de dar el paso de diseñar dicho proyecto que es de mucha importancia ya que ha crecido la demanda de transporte y ha surgido la necesidad de crear vías de acceso que posean superficies de rodamiento más continuas, que brinden comodidad y serviciabilidad a los usuarios de las mismas.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

El tramo en estudio de 1.5 kilómetros Guanacaste–Ducuale Grande, reconocido por su taller de artesanías presenta una superficie de rodamiento con material de revestimiento (Macadán) efectuado por la alcaldía en el año 2015. La municipalidad tiene presente la problemática del tramo, pero no posee los fondos suficientes para diseñar una estructura adecuada para este proyecto. **(Ver Anexos, Fotos, págs. III- V)**

De aquí surge la iniciativa de contribuir directamente con la alcaldía al proporcionar un diseño de la estructura de pavimento articulado (Adoquín) mediante el método de la AASHTO-93, que servirá de apoyo a está, para la gestión de fondos.

De no realizarse este diseño la alcaldía no contará con una propuesta directa para poder efectuar su construcción, acorde a un diseño estructural, el cual promoverá un impacto socio-económico positivo en el área de influencia, con un crecimiento significativo en la exportación de sus principales productos (artesanías), de igual manera se minimizarán tiempos de viaje de los usuarios, reduciendo costos de operación y traslado, se mejorará las condiciones de la vía, y calidad de vida de los habitantes de la comunidad.

De manera indirecta y no menos importante el área de influencia también beneficiará a los pobladores de Condega y otros municipios cercanos que llegan a la zona para realizar compras de artesanía, facilitando su acceso en gran medida tanto para pobladores cercanos como extranjeros.

La realización de este trabajo monográfico tiene como fin contribuir a dar solución al problema existente en este tramo, así como de mejorar la red vial y la calidad de vida de la población, afianzando los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera relacionando las distintas áreas de la ingeniería civil.

1. 4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo General.

- Realizar el diseño geométrico vial y la estructura de pavimento articulado de 1.5 kilómetros del tramo “Guanacaste – Ducuale Grande”, municipio de Condega, departamento de Estelí, por el método de AASHTO-93.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Analizar el levantamiento topográfico existente del tramo para definir la rasante óptima.
- Diseñar geoméricamente el tramo en estudio, aplicando las normas del Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004)
- Realizar un estudio de tránsito por medio de un aforo vehicular, para determinar el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y el número de repeticiones esperadas de ejes equivalente (ESAL´S), durante el periodo de diseño.
- Analizar el estudio geotécnico del tramo y de los bancos de materiales locales, para determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo esenciales para el diseño de la estructura de pavimento.
- Determinar los espesores de la estructura de pavimento mediante el método de la AASHTO–93, empleando los nomogramas y software WinPAS (Versión 1.0.4).



CAPÍTULO II
ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

2.1 Metodología.

El levantamiento topográfico fue realizado por ministerio de transporte e infraestructura (MTI), los cuales fueron proporcionados a nosotros por la (Alcaldía Municipal de Condega), entre los alcances del proyecto tenemos el levantamiento de 1.5 kilómetros del Empalme Guanacaste **Est 0+000** hasta la Comunidad Ducuale Grande **Est 1+500**. El procedimiento utilizado para el levantamiento fue el método de perfil longitudinal y secciones transversales considerando que es el más adecuado para proyectos de carreteras.

El levantamiento fue realizado en un lapso de 3 días, obteniendo los datos necesarios para conocer las condiciones geométricas en la que se encuentra la vía, para su diseño y conocer las condiciones del terreno en estudio.

2.2. Equipo Topográfico.

- **Estación Total:** Aparato electrónico electro –óptico utilizado en topografía cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica incorpora el distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico **Leica TS06** alfanumérico, de alta precisión y eficiencia.
- **Prisma:** Modelo tk21 de acero utilizada para captar la señal de una estación total el cual regresa la información a la misma.
- **Bastón:** de aluminio Nls31 telescópico de 2.5 metros.
- **Cinta métrica:** De 50 metros, se utiliza en la medición de distancias tales como el levantamiento de secciones transversales, o hacer el cadenamamiento durante el levantamiento con el teodolito, medir la distancia de un punto que se tomó como referencia cuando se hizo el levantamiento, etc.
- **Chapas:** elemento utilizados para marcar puntos importantes como lo son PI y BMs,
- **Spray:** Roseador de pintura en aerosol color rojo.

2.3 Elección del Método.

El procedimiento utilizado para el levantamiento fue el método de perfil longitudinal y secciones transversales considerando que es el más adecuado para proyectos de carreteras.

2.3.1 Planimetría.

➤ Alineamiento Horizontal.

Para el alineamiento horizontal del eje longitudinal se realizó el levantamiento como una poligonal abierta, utilizando el método de ángulo de derecha.

Los cambios de ángulos se hicieron generalmente a cada 20 m en las rectas, aunque en los casos donde la visual lo permitía se hicieron a 50 y hasta 70 m y a cada 10 en las curvas. Estos puntos fueron debidamente referenciados por el método de triangulación.

El alineamiento da comienzo en el estacionamiento **0+000**, propiamente en el empalme Guanacaste y finaliza en el estacionamiento **1+500**, en la entrada a la comunidad Ducuale Grande de Condega. Las coordenadas son:

Est Inicial **0+000 = 13°22'47.7"N 86°24'06.5"W**

Est Final **1+500 = 13°23'04.6"N 86°24'43.6"W**

Las coordenadas UTM (Universal transversal Mercator) son:

Estación 0+000 (Po): El inicio de la carretera se encuentra en las siguientes coordenadas.

Coordenadas Cartográficas (UTM): **X =564,804.574 Y =1,478,925.306 Z= 568.16**

Estación 1+500 (PF): El Fin de la carretera se encuentra en las siguientes coordenadas.

Coordenadas Cartográficas (UTM): **X =563,572.788 Y=1,479,334.313 Z= 535.4**

2.4. Procedimiento y Desarrollo del Estudio Topográfico.

Eje de la carretera: El eje de la carretera se detalla en la vista en planta del proyecto horizontal que se encuentra en los planos. Este eje está compuesto por alineamientos horizontales rectos, enlazados por alineamientos horizontales curvos. Este eje, se encuentra seccionado partiendo del punto inicial de carretera (Po) cada 40 metros hasta llegar al punto final de carretera (PF).

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

2.4.1. Perfil Longitudinal.

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

Se denota la línea verde que representa el perfil del terreno natural sobre el que se construirá el proyecto que a su vez será denotado con la línea celeste.

También se indican las alturas de corte y de relleno, variables a lo largo del eje del proyecto.

A continuación, se presentan los resultados del levantamiento topográfico para el Proyecto en análisis.

Tabla -1: Consolidado de Levantamiento Topográfico del Tramo en Análisis.

Tramo: Guanacaste-Ducuale Grande						
Ubicación del Tramo:	Municipio de Condega-Departamento de Estelí					
Coordenada Inicial:	X= 564,804.574	Y= 1,478,925.306	Z=568.16			
Ubicación del Tramo:	X= 563,572.788	Y= 1,479,361.182	Z=531.24			
Longitud del Tramo:	1,500 metros Lineales ≈ 1.5 Kilómetros					
Estación	Longitud (metros)	Rumbo	Punto	Coordenadas UTM WTGS-84		
				X	Y	Z
0+000			1	564804.574	1478925.306	568.16
0+040	40	N 65°53'23.8" W	2	564767.281	1478939.770	566.20
0+080	40	N 62°14'50.0" W	3	564730.77	1478956.110	564.40
0+120	40	N 47°17'12.7" W	4	564695.372	1478974.736	563.20
0+160	40	N 33°20'39.9" W	5	564665.981	1479001.869	564.00
0+200	40	N 19°04'36.5" W	6	564643.994	1479035.284	566.10
0+240	40	N 16°30'36.6" W	7	564630.921	1479073.088	568.70
0+280	40	N 29°36'09.0" W	8	564619.554	1479111.438	570.60
0+320	40	N 21°33'01.4" W	9	564599.794	1479146.217	570.10
0+360	40	N 23°44'06.8" W	10	564585.102	1479183.421	567.70
0+400	40	N 28°58'37.2" W	11	564569.001	1479220.038	564.90
0+440	40	N 42°16'44.9" W	12	564549.623	1479255.030	562.50
0+480	40	N 68°24'44.9" W	13	564522.713	1479284.625	560.60
0+520	40	S 83°39'16.9" W	14	564485.519	1479299.342	559.40
0+560	40	S 49°40'09.0" W	15	564445.764	1479294.921	558.40
0+600	40	N 84°01'24.2" W	16	564415.271	1479269.033	557.50
0+640	40	N 85°49'45.3" W	17	564375.489	1479273.198	556.40
0+680	40	S 63°59'17.2" W	18	564335.594	1479276.107	555.60
0+720	40	S 59°56'04.0" W	19	564299.646	1479258.565	554.50
0+760	40	S 57°44'34.6" W	20	564265.028	1479238.526	553.60
0+800	40	S 69°59'57.8" W	21	564231.202	1479217.177	552.70
0+840	40	N 82°29'41.5" W	22	564193.614	1479203.496	551.90
0+880	40	N 56°41'48.6" W	23	564153.957	1479208.720	551.20
0+920	40	N 55°46'56.7" W	24	564120.526	1479230.683	550.40
0+960	40	N 62°21'35.7" W	25	564087.449	1479253.176	549.80
1+000	40	N 66°10'57.2" W	26	564052.014	1479271.733	549.40

Fuente: (MTI-Alcaldía Municipal de Condega).

Tabla-2: Consolidación de Levantamiento Topográfico del Tramo en Análisis.

Tramo: Guanacaste-Ducuale Grande						
Estación	Longitud (metros)	Rumbo	Punto	Coordenadas UTM WTGS-84		
				X	Y	Z
1+040	40	N 67°02'26.3" W	27	564015.421	1479287.886	548.80
1+080	40	N 71°38'35.0" W	28	563978.59	1479303.489	548.30
1+120	40	S 86°56'04.4" W	29	563940.625	1479316.087	547.90
1+160	40	S 85°42'37.2" W	30	563900.682	1479313.948	547.60
1+200	40	S 85°41'33.6" W	31	563860.794	1479310.956	547.30
1+240	40	S 84°16'27.0" W	32	563820.907	1479307.951	546.40
1+280	40	S 86°11'00.8" W	33	563781.107	1479303.961	545.30
1+320	40	S 83°55'20.6" W	34	563741.196	1479301.298	544.30
1+360	40	S 88°46'15.0" W	35	563701.42	1479297.063	542.90
1+400	40	N 84°30'44.4" W	36	563661.43	1479296.205	540.90
1+440	40	N 50°36'16.7" W	37	563621.613	1479300.030	538.50
1+480	40	N 26°36'12.6" W	38	563590.702	1479325.417	536.40
1+500	20	N 63°35'21.0" W	39	563572.789	1479334.313	535.40
TOTAL:	1500 metros					

Fuente: (MTI-Alcaldía Municipal de Cóndega).

El estacionamiento **1+500 punto 39** del levantamiento del consolidación topográfico se encuentra el fin del tramo de estudio, concluyendo con 1500 metros exactos, ubicado en las siguientes coordenadas UTM: **X= 563572.789 , Y= 1479334.313**.

▪ **Intersecciones:** En el levantamiento topográfico no se determinaron intersecciones.

▪ **Curvas horizontales:** Se encontraron 7 curvas horizontales, la curva de mayor importancia en este tramo de carretera está ubicada entre las estaciones **0+252 (Po)** y **0+352 (Pf)**. Hay que destacar que es una cresta convexa que tiene pendiente de subida de 5.99% y de bajada de 7.56%. (Ver el juego de planos al final del documento).

▪ **Secciones transversales:** El levantamiento de las secciones transversales se hizo sobre la poligonal abierta y perpendicular a esta. Se hicieron a 20 metros para que a la hora de hacer el cálculo de volúmenes de tierra sean más exacto. **(Ver el juego de planos al final del documento).**

2.4.2. Altimetría.

Establecimiento de BMs:

Se establecieron 7 puntos de BMs (**BENCH MARCK**), los cuales están debidamente marcados con coordenadas UTM y referenciados en las distintas estaciones, para poder realizar el cálculo de las diferentes elevaciones (Z) las cuales se aprecian en el siguiente **Tabla-3**.

Para la orientación geodésica se hizo un levantamiento con GPS en toda la carretera, esto se realizó con el objetivo de ubicar el dibujo generado por el levantamiento con el teodolito con las coordenadas UTM.

Tabla-3: de BMs (BENCH MARCK o Banco de nivel de precisión).

BM	EST	Coordenadas UTM		
		X	Y	Z
1	0+008	564,807.54	1,478,932.74	568.1
2	0+215	564,651.51	1,479,038.02	567.6
3	0+482	564,516.79	1,479,279.24	569.7
4	0+600	564,414.67	1,479,277.01	557.6
5	0+842	564,192.96	1,479,195.52	552.1
6	1+125	563,938.11	1,479,308.49	548.2
7	1+448	563,625.46	1,479,307.05	538.2

Fuente: (MTI-Alcaldía Municipal de Condega).

▪ **Curvas de nivel**

Se determinaron las elevaciones de **1,235** puntos en todo el tramo en estudio, estos fueron procesados en el software AutoCAD 2017 generando así el mapa de curvas de nivel q ayudan a conocer el tipo de relieve de la vía existente y que servirá de apoyo para el diseño de las obras de drenajes.

▪ **Pendientes**

El valor del bombeo que predomina en el tramo en estudio es de **2.82 %** determinado a partir del levantamiento topográfico.

La pendiente máxima de este tramo es de **-7.56%** y se encuentra en los estacionamientos 0+320 y el estacionamiento 0+465.

La pendiente mínima de este tramo es de **-1.05%** y se encuentra en los estacionamientos **0+890** y el estacionamiento **1+184** (Ver tabla a continuación).

Tabla-4: Consolidado de Pendientes por Estaciones.

Tramo (N°)	ESTACIONES		PENDIENTE (%)	TIPO DE TERRENO (Según Sieca-2004)
	Inicio (metros)	Fin (metros)		
1	0+000	0+115	-4.46%	Plano
2	0+162	0+280	5.99%	Ondulado
3	0+320	0+465	-7.56%	Ondulado
4	0+480	0+887	-2.34%	Plano
5	0+890	1+184	-1.05%	Plano
6	1+190	1+380	-2.79%	Plano
7	1+385	1+500	-7.54%	Ondulado
PROMEDIO			-2.82%	Plano

Fuente: (MTI-Alcaldía Municipal de Condega).

Estas pendientes se determinaron a partir de la siguiente ecuación:

$$m = \frac{Elev B - Elev A}{d} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

m= pendiente.

Elev= elevación.

d= distancia.

Basados en el levantamiento topográfico, en el sitio existen 10 curvas identificadas de las cuales 4 no superan los 50 metros, por el contrario 3 de ellas se encuentran por encima de los 100 metros, todas ellas localizadas a lo largo del tramo e identificadas con sus respectivas estaciones.

Obteniendo una longitud total de **814.872** metros de curvas, que corresponde al **54.32%** con respecto a la longitud del tramo, **Ver Tabla a continuación.**

Tabla-5: de Curvas identificadas a lo Largo del Tramo.

N° Curvas	Est. Inicial	Est. Final	Longitud (metros)
1	00+104	0+249.23	144.90
2	00+415	0+531.46	116.79
3	00+572	0+617.13	44.95
4	00+654	0+690.50	36.02
5	00+733	0+781.14	48.65
6	00+814	0+913.35	99.73
7	00+954	1+022.98	68.99
8	01+081	1+260.56	179.93
9	01+396	1+440.72	44.95
10	01+461	1+490.50	29.98
Total			814.872
Longitud Total del Tramo			1500.00
% de Rectas en el tramo			54.32%
Longitud Promedio de Curvas			81.49%

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Luego de haberse identificados las curvas también se ubicaron las rectas a lo largo del tramo desde su punto de inicio hasta su final, encontrando en el tramo de estudio un total de 11, de las cuales 3 de ellas superan los 100 metros, obteniendo una longitud total de 685.576 metros. **(Ver la siguiente Tabla).**

Tabla-6: de Rectas identificadas a lo Largo del Tramo.

N° Rectas	Est. Inicial	Est. Final	Longitud (metros)
1	00+000	0+104.33	104.33
2	0+249.23	0+414.67	165.44
3	0+531.46	0+572.18	40.720
4	0+617.13	0+654.44	37.319
5	0+690.50	0+732.50	41.991
6	0+781.14	0+813.62	32.480
7	0+913.35	0+953.99	40.636
8	1+022.98	1+080.63	57.651
9	1+260.56	1+395.77	135.216
10	1+440.72	1+460.58	19.862
11	1+490.50	1+500.00	9.931
Total			685.576
Longitud Total del Tramo			1500.00
% de Rectas en el tramo			45.71%
Longitud Promedio de Rectas			62.33%

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

2.4.3. Referencias y Detalles.

Con el objeto de facilitar el posterior replanteo de la línea central de la carretera durante su etapa de construcción, se referenciaron todos los puntos intermedios del eje central de la carretera generados en el desarrollo del trazado.

Las referencias se establecieron fuera del derecho de vía, amarrado con puntos inamovibles de las vías, de igual manera se levantaron los detalles más relevantes que se encontraron dentro del derecho de vía como información a reflejarse en los planos constructivos.

Estos detalles incluyeron obstáculos que se encontraron en la franja del derecho de vía, arboles, intersecciones, poste del tendido eléctrico, etc.

2.4.4. Levantamiento de las Obras de drenaje.

Se realizó el levantamiento a cada una de las obras de drenaje que están en el tramo en estudio. El levantamiento consistió en una poligonal 200m aguas arriba y 200 metros aguas abajo, donde se tomaron secciones transversales a cada 50m, ya que este terreno se caracteriza por poseer secciones parecidas. Se determinaron también las diferencias de niveles y las pendientes.

Tabla-7: Obras de Drenaje a lo Largo del Tramo.

OBRAS DE DRENAJE	
TIPO DE OBRA	
Alcantarilla	
Estación	0+122
Material	Concreto
Diámetro	30" (76 cm)
Vado	
Estación	0+488
Material	Concreto Ciclópeo
Tipo	III (5 metros de ancho)
Alcantarilla	
Estación	1+265
Material	Concreto
Diámetro	42" (107 cm)

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

2.5. Elaboración de Planos.

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

En el juego de planos constructivos se incluyen, además, hojas que contienen detalles constructivos de drenaje, sondeos y estratigrafía. Todo ello fue editado en el software ACAD 2017.

Las escalas usadas en el dibujo de las secciones transversales fueron 1:100 vertical y horizontal. Los planos fueron dibujados a escala 1:1000 y 1:100 en sentido horizontal y vertical respectivamente.



CAPÍTULO III
DISEÑO GEOMÉTRICO.

3.1. Metodología.

Para la elaboración del diseño se adoptarán las especificaciones del Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004), y los requerimientos del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) de Nicaragua. Las normas de diseño se definen con los criterios aportados por los diseñadores, los cuales se basan en los requerimientos decretados por el MTI para los diseños de caminos vecinales de segundo orden; junto a las normas de la Sieca.

Con los criterios del MTI se definirán los parámetros tal como; distancia entre ejes, coeficiente de fricción longitudinal, radio de curvatura máximo, pendiente transversal, pendiente del hombro, pendiente longitudinal máxima, sobreancho máximo, distancia de visibilidad de parada y rebase; en función de la velocidad de diseño.

Referente al diseño horizontal, se definirá directamente de acuerdo con la topografía que mayor se ajuste a una condición, como en el caso de las curvas horizontales.

3.2. Establecimiento de las Normas de Diseño.

Se ejecutó el proceso de establecimiento de las Normas de Diseño del Proyecto considerado como la fase fundamental para la iniciación de los trabajos que corresponden al aspecto vial de la vía, proceso en el cual se definieron y establecieron todos y cada uno de los parámetros técnicos que conforman dichas Normas, partiendo de criterios técnicos y consideraciones que fue necesario establecer y que permitieron obtener como producto final, la definición y establecimiento de las Normas de diseño del Proyecto.

3.2.1. Clasificación Funcional.

En el caso de nuestro tramo de Camino Guanacaste – Ducuale Grande, se clasifica como **Camino vecinal**, en vista que su influencia se enmarca en comunicar a la comunidad Ducuale Grande con el casco urbano de Condega.

3.2.2. Análisis y Resultados de la Geometría Existente.

Parte de la información base recibida del área de topografía corresponde a la infraestructura existente del sitio del proyecto, obteniéndose de forma tridimensional la geometría con que cuenta el camino en su estado natural.

Conociendo esta información, se obtuvieron los valores de los elementos que conforman dicha geometría, horizontalmente a cada curva se obtuvieron valores como radios de curvatura, longitud de curva, ángulo de deflexión, etc.

En la parte vertical, se obtuvieron los valores de las pendientes longitudinales correspondiente a los niveles de la superficie de rodadura sobre el camino existente.

Los datos del alineamiento horizontal existente se obtuvieron realizando un trazo preliminar sobre la geometría actual de la superficie de rodamiento, de manera apegada al terreno, determinando previamente los centros del camino. El resultado de estos valores obtenidos a manera de recopilación de datos; se sometió al respectivo análisis técnico, conjuntamente con los resultados que se obtuvo de la visita realizada previamente al sitio, en la que se logró una visión general del terreno y sus problemáticas, que servirían como elemento fundamental para el establecimiento de las Normas Generales de Diseño y las Proyecciones del Alineamiento.

3.2.3. Datos de Tránsito.

El volumen de tránsito registrado actualmente es bajo, obteniéndose un máximo volumen Horario de **67 vehículos/hora**, un TPDA de **529 vehículos/día** y un Tránsito de Diseño (TD), de **1,246,149** vehículos proyectados a 15 años.

3.2.4. Vehículo de Diseño.

De manera general en los conteos de tránsito, la presencia mayoritaria de los vehículos Livianos prevaleciendo sobre los diferentes Tipos de Vehículos; a la vez es necesario no perder de vista la presencia de los vehículos de carga como camiones **C-2**.

Además de la posibilidad que en un determinado momento deberá circular el camión tipo C-3, en reducidas ocasiones, lo cual no podemos perder de vista; por lo tanto, consideramos utilizar como vehículo de Proyecto el Tipo de Vehículo **C-2 (SU)**. Las dimensiones para cada tipo de Vehículo se presentan en la **Tabla 8**:

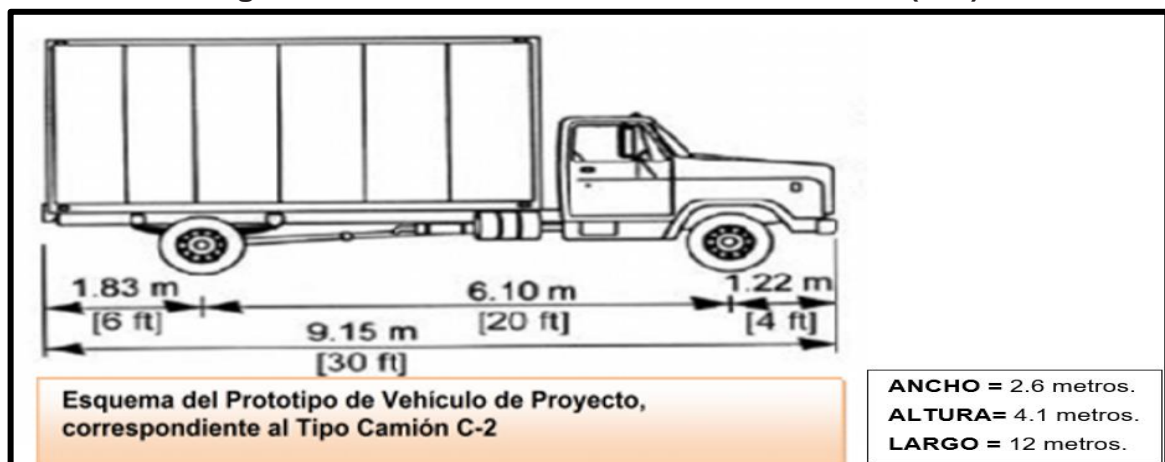
Tabla-8: Dimensionamiento de los Vehículos de Diseño.

Parámetros / Tipo vehículo	P	BUS	SU	WB-19	WB-20
Altura.	1.3	4.1	4.1	4.1	4.1
Ancho.	2.1	2.6	2.6	2.6	2.6
Longitud.	0.9	2.1	1.2	1.2	1.2
Voladizo delantero.	0.9	2.1	1.2	1.2	1.2
Voladizo Trasero.	1.5	2.4	1.8	0.9	0.9
Distancia entre ejes extremos; WB1	3.4	7.6	6.1	6.1	6.1
Distancia entre ejes extremos; WB2	-	-	-	12.8	14.3

Fuente: Normas SIECA, 2da Edición 2004.

En este estudio los sobre-anchos y radios de giros mínimos serán calculados utilizando como vehículo de diseño el SU, a continuación, se muestra un esquema con las dimensiones típicas del vehículo de diseño. SEQ Imagen- * ARABIC

Imagen-1: Dimensiones del Vehículo de Diseño (C-2).



Fuente: Normas SIECA, 2da Edición 2004

3.2.5. Velocidad de diseño (Vd).

El elemento fundamental y principal que se definió y estableció correspondió a la velocidad directriz ó de diseño, correspondiente al valor de **45 KPH** (Kilómetros por Hora).

Las características topográficas planimétricas y altimétricas, restricciones económicas, clasificación del tránsito y características físicas del camino nos permitieron establecer una velocidad de Diseño **45 KPH** (Kilómetros por Hora), la escogencia de esta velocidad permite de esta manera contar con beneficios económicos, un mejor servicio a los usuarios en relación con las condiciones actuales de la vía.

3.2.6. Sección Transversal Típica de Diseño.

La Sección Transversal Típica del Proyecto de conformidad al resultado obtenido en el proceso de establecimiento y definición de las Normas de Diseño para el tramo de Proyecto Guanacaste – Ducuale Grande:

Tipo de calzada: estará constituida por una superficie de rodamiento consistente en una carpeta de adoquines de concreto del tipo Tránsito con una $f'c = 3,500$ psi.

Número de Carriles (n): En la **Tabla 9** (cuadro 3.1 del Manual de la SIECA, página 3-9), que se mostró anteriormente, se ve que para el tipo de vía (Colectora Rural), y para el volumen de tránsito proyectado, el Manual recomienda 2 carriles, y de acuerdo con las necesidades se propone una vía de 2 carriles.

Tabla-9: Dimensiones del Vehículo de Diseño (C-2).

TPDA	>20,000		20,000-10,000		10,000-3,000		3,000-500	
	No. C	Superf.	No.C	Superf.	No.C	Superf.	No.C	Superf.
AR- Autopistas Regionales	6-8	Pav.	4-6	Pav.				
TS- Troncales Suburbanas	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
TR- Troncales Rurales	4	Pav.	2-4	Pav.	2	Pav.		
CS- Colectoras Suburbanas			2-4	Pav.	2	Pav.	2	Pav.
CR- Colectoras Rurales					2	Pav.	2	Pav.

Fuente: Manual SIECA, 2da Edición 2004, pág. 3-9.

El ancho de calzada y de Hombros: la AASHTO, establece para un rango de TPDA de 400 a 1,500 para una velocidad de diseño de 45 KPH (Kilómetros/hora); un rodamiento mínimo de **6.00 metros** de ancho y un hombro de **1.50 metros**, para una velocidad de diseño de 45 Kilómetros/hora.

Para el tramo Empalme Guanacaste – Ducuale Grande, que está clasificado como camino vecinal se propone **6.00 metros** de **calzada, equivalente a dos (2) carriles de rodamiento de 3.00 metros de ancho cada uno**. El Plan Nacional de Transporte tolera ancho de carril de 2.50 metros, lo que viene a reforzar la propuesta.

En el caso del **Hombro**, por efectos de economía, se puede considerar una reducción de esa franja para reducirla hasta un ancho de **50 centímetros**.

Tabla-10: Dimensiones del Vehículo de Diseño (C-2).

Metric			US Customary		
Design speed (km/h)	Maximum relative gradient (%)	Equivalent maximum relative slope	Design speed (mph)	Maximum relative gradient (%)	Equivalent maximum relative slope
20	0.80	1:125	15	0.78	1:128
30	0.75	1:133	20	0.74	1:135
40	0.70	1:143	25	0.70	1:143
50	0.65	1:150	30	0.66	1:152
60	0.60	1:167	35	0.62	1:161
70	0.55	1:182	40	0.58	1:172
80	0.50	1:200	45	0.54	1:185
90	0.47	1:213	50	0.50	1:200
100	0.44	1:227	55	0.47	1:213
110	0.41	1:244	60	0.45	1:222
120	0.38	1:263	65	0.43	1:233
130	0.35	1:286	70	0.40	1:250
			75	0.38	1:263
			80	0.35	1:286

Fuente: AASHTO-Geometric Design of Highways and Streets (2001).

Ancho de Corona: La distribución de los **7.30 metros** de corona es la siguiente 6.00 metros de rodamiento compuesto por adoquín, bordillos longitudinales de 0.15 m a cada lado y 1.00 metros de hombros, 0.50 metros a cada lado.

Se estimó además que 0.50 metros de acotamiento son suficientes para la protección adicional que debe proveerse al camino por aquellos daños que le podrían causar los vehículos al orillarse si se careciera de hombros.

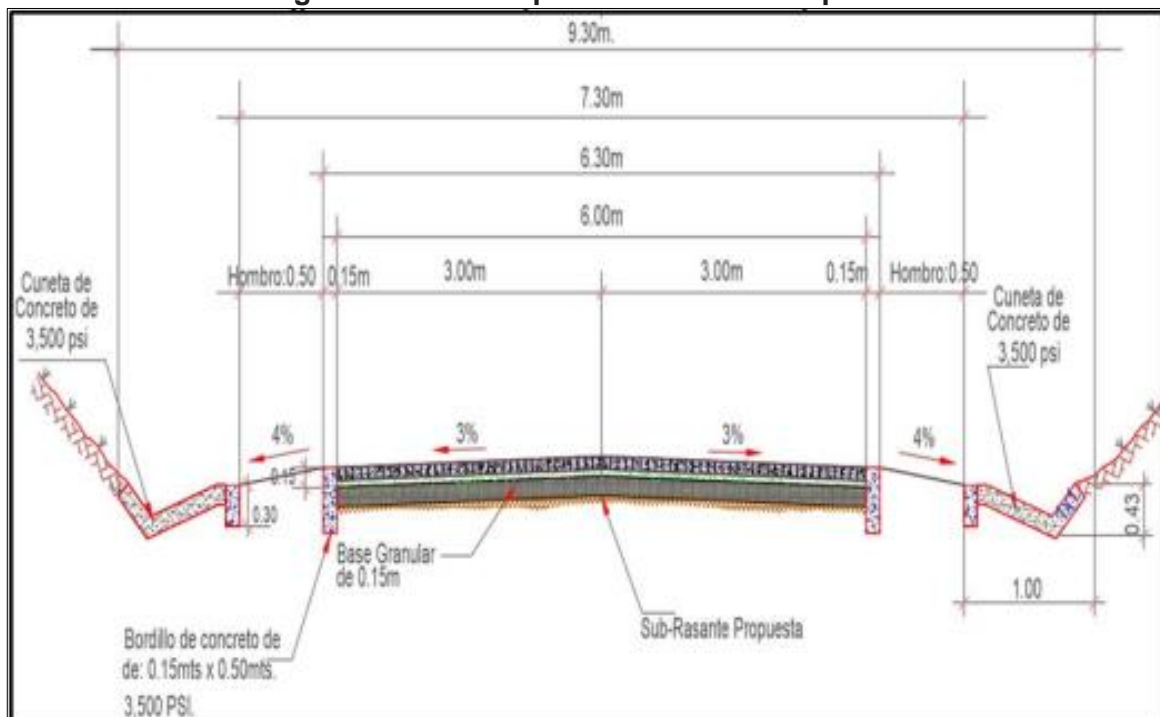
Pendiente transversal de calzada: Para el tipo de vía “Camino vecinal” se puede utilizar un rango de valores de Pendiente transversal entre 1.5% y 3%, dado al tipo de pavimento a utilizar en este caso adoquín que se considera de calidad intermedia, se propone la utilización de **3.0 %** como Pendiente transversal o Bombeo lateral de calzada.

Cunetas Triangulares: El drenaje superficial debe ser muy efectivo para evacuar rápidamente las aguas de la superficie del pavimento y evitar que éstas se infiltren dentro de la estructura del mismo, ocasionándole daños que pueden ser considerables y de efectos inmediatos o a corto plazo.

Se propone el uso de cuneta lateral la que tiene forma triangular con un ancho de **1.00 metro**, Las cunetas se construyen sobre el terreno natural en la zona del derecho de vía adyacente y a lo largo del borde superior de los taludes en corte, con el propósito de interceptar las aguas que fluyan hacia la parte principal de la carretera y desviarlas hacia las alcantarillas.

El esquema que a continuación se presenta corresponde a la sección transversal típica establecida para este tramo de Proyecto conteniendo los elementos anteriormente descritos.

Imagen-2: sección Típica Transversal Propuesta.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

3.2.7. Derecho de Vía.

La franja del derecho de vía del camino actual presenta un comportamiento bien variable en casi toda su trayectoria, se observa en anchos desde los 12.50 metros hasta los 17.30 metros, con un promedio de 15.00 metros; en dicha franja se enmarca un ancho de rodamiento de igual forma es variable entre 5.60 y 6.00 metros.

3.2.8. Pendientes Obtenidas.

El Rango de Pendientes Máximas en terreno ondulado varía de 5.9% a 7.56%, para terreno plano varía desde 1.05% a 4.46%. Estas pendientes han sido determinadas considerando las características del terreno y la cantidad y composición de tránsito previsto según el estudio correspondiente. Estos Rangos de Pendientes se establecieron para permitir que la carretera cuente con un drenaje fluido.

3.2.9. Distancia Mínima de Visibilidad (Dv):

Existen dos tipos de distancia de visibilidad a ser satisfechos en una carretera, la distancia de visibilidad de Parada y la de Adelantamiento, la primera es más pequeña que la segunda y es la que según el Manual de la SIECA, como en su página 4-22 expresa: “Es la distancia de visibilidad mínima con que debe diseñarse la geometría de una carretera, cualquiera que sea su tipo”.

Distancia Mínima de visibilidad de Parada (Dvp): Esta es la distancia requerida por un conductor para detener su vehículo en marcha, cuando surge una situación de peligro o percibe un objeto imprevisto adelante de su recorrido la distancia de visibilidad de parada en su primer componente (**d1**) y la distancia de frenado (**d2**) se calculan de la siguiente manera:

$$d1 = 0.278 (v * t) \quad (\text{Ec. 2})$$

$$d2 = \frac{v^2}{254 f} \quad (\text{Ec. 3})$$

Dónde:

v = Velocidad inicial, kilómetros por hora.

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

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

En la **Tabla 11** se presenta un resumen de distancias de visibilidad de parada de acuerdo con la velocidad.

Tabla-11: Distancias de visibilidad de parada en terreno plano.

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

Fuente: SIECA, Manual Centroamericano "Normas Para El Diseño Geométrico de Las Carreteras Regionales" 2ª edición, P 4-28.

Los parámetros que se consideraron en la estimación son:

- **Velocidad:** 45 km/hora.
- **Tiempo de reacción:** 2.5 segundos, este es el tiempo desde el instante que el conductor ve el objeto hasta que coloca su pie en el freno.
- **Distancia de reacción (estimada):** 31 metros, esta es la distancia desde el instante que el conductor ve el objeto hasta que coloca su pie en el freno.
- **Coeficiente de fricción:** 0.365 que corresponde a superficies mojadas.
- **Distancia de frenado (estimada):** 22 metros, esta es la distancia recorrida por el vehículo durante la aplicación de los frenos.

La Dvp se calculó con la siguiente ecuación:

$$DVP = [0.278 (v * t)] + \left[\frac{v^2}{254 f} \right] \quad (\text{Ec. 4})$$

Distancia de Visibilidad de parada que se calculó es de **55 metros**, esta es la suma de la distancia de reacción (d_1), más la distancia de frenado (d_2).

Distancia de visibilidad de adelantamiento (D_{va}): se define como la mínima distancia de visibilidad requerida por el conductor de un vehículo para adelantar a otro vehículo que, a menor velocidad relativa, circula en su mismo carril y dirección, en condiciones cómodas y seguras.

La distancia de adelantamiento es la suma de las siguientes distancias:

- Distancia recorrida durante el tiempo de reacción y durante la aceleración inicial hasta el punto donde el vehículo adelantador invade el carril izquierdo, **d_1** .
- Distancia recorrida por el vehículo adelantador desde que invade el carril izquierdo hasta que regresa a su carril, **d_2** .
- Distancia entre el vehículo adelantador al terminar su maniobra y el vehículo que viene en sentido opuesto, **d_3** .
- Distancia recorrida por el vehículo que viene en sentido contrario, **d_4** .

Imagen- 3: Maniobra de Adelantamiento.



Fuente: Introducción a la Ingeniería de Caminos.

Tabla-12: Distancia de Visión para Adelantar en base a la Velocidad de Diseño.

Velocidad de Diseño	Velocidades Km/h		Distancia mínima de adelantamiento (m)
	Vehículo que es rebasado	Vehículo que 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: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 1994, p. 13.

Los parámetros que se consideraron en la estimación son:

- **Velocidad de Diseño:** 45 km/hora.
- **Velocidad del que Rebasa:** 55 km/hora.
- **Diferencia entre Velocidad del vehículo rebasado y Velocidad del vehículo que rebasa (m):** 15 km/hora.
- **Maniobra Inicial (a):** 2.25 Km/h/s.
- **Tiempo de reacción (t1):** 3.6 segundos.
- **Distancia de reacción (estimada):** 31 metros, esta es la distancia desde el instante que el conductor ve el objeto hasta que coloca su pie en el freno.
- **Tiempo de ocupación de carril izquierdo (t2):** 9.3 segundos.

La distancia preliminar de demora (d1), se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$d1 = 0.278 t1 [(v - m + (a * \frac{t1}{2})] \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde:

v = velocidad promedio del vehículo de Adelantamiento, km/hora.

t1 = Tiempo de maniobra inicial, segundos.

a = Aceleración promedio del vehículo que efectúa el rebase, en Km/h/s.

m = Diferencia de velocidad entre el vehículo que es rebasado y el que rebasa, km/hora.

Para una velocidad de 45Km/h, la Distancia de demora (**d1**), es de **44.00 metros**.

La Distancia de adelantamiento (d2), se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$d2 = 0.278 v t2 \quad (\text{Ec. 6})$$

Dónde:

v= velocidad promedio del vehículo que ejecuta el adelantamiento, km/hora.

t2= Tiempo de ocupación del carril opuesto, segundos.

Para una velocidad de 45Km/h, la Distancia de Seguridad (**d2**), es de **142.00metros**.

La Distancia de Seguridad (d3), la experiencia ha demostrado que valores entre 35 y 90 metros, se tomó de **35.00** metros.

La Distancia recorrida por el vehículo que viene en el carril contrario (d4), es práctica corriente fijar esta distancia en dos tercios (2/3) de la distancia **d2**.

Para una velocidad de 45 Km/h, la Distancia de Seguridad (**d4**), es equivalente a **95.00 metros**. Por consiguiente, **la Distancia de visibilidad de adelantamiento (Dva)**, se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$Dva = d1 + d2 + d3 + d4 \quad (\text{Ec. 7})$$

Por consiguiente, la velocidad de adelantamiento queda establecida que para una Velocidad de 45 Km/h, la distancia de rebase es de **316.00 metros**.

3.3. Alineamiento Horizontal.

El alineamiento horizontal es una proyección sobre un plano horizontal en el cual la vía está representada por su eje y por los bordes izquierdo y derecho.

3.3.1 Sobreelevación máxima (e) y coeficiente de fricción.

Para dar seguridad y economía a la operación del tránsito, se han introducido factores limitantes en los métodos de diseño del alineamiento horizontal, como el radio mínimo de curva o grado máximo de curva, la tasa de sobreelevación máxima o peralte máximo, los factores de fricción y las longitudes de transición mínima cuando se pasa de una tangente a una curva. La expresión matemática desarrollada para tomar en cuenta estos factores y la velocidad de diseño, es la siguiente:

$$e + f = V^2 / 127 R \quad (\text{Ec. 8})$$

Dónde:

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.

R = Radio de curva, en metros.

Se consideró un coeficiente de fricción (**f**), de **0.17** para una velocidad de 45 Km/h, la AASHTO presenta factores de fricción lateral con variaciones entre 0.17 y 0.10 en función inversa de la velocidad para tipo de carreteras rurales, en este caso camino vecinal.

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

Tabla-13: Sobreelevaciones Máximas Permitidas Según Tipo de Terreno.

Tasa de Sobreelevación (e, %)	Tipo de Área
10	Rural Montañosa
8	Rural Plana
6	Suburbana
4	Urbana

Fuente: SIECA, Manual Centroamericano "Normas Para El Diseño Geométrico de Las Carreteras Regionales" 2ª edición, P 4-36.

3.3.2. Radio Mínimo y Distancia Mínima entre Curvas (R_{min}).

El radio mínimo de la curvatura es el valor más bajo que posibilita la seguridad en el tránsito a una velocidad de diseño dada en función del máximo peralte (e) adoptado y el coeficiente (f) de fricción lateral correspondiente.

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 (e+f)} \quad (\text{Ec. 9}) \quad R_{min} = \frac{45^2}{127 (0.08+0.17)} = 63.78 \text{ m}$$

Dónde:

R_{min} = Radio mínimo de curva la curva horizontal, metros

e = Tasa de sobreelevación en fracción decimal, metro/metro.

f = Coeficiente de fricción lateral.

V = Velocidad de diseño, kilómetros/hora.

Se debe tomar el radio mínimo según los siguientes criterios:

- Cuando la topografía del terreno es montañosa o escarpada.
- En las aproximaciones a los cruces de accidentes orográficos e hidrográficos.
- En intersecciones entre cambios entre sí.

El **Radio Mínimo (R_{min})**, calculado para una Velocidad de **45 km/h** fue de **63.78 metros**, se tomó el mínimo recomendado que es de **65 metros**.

Grado de Curvatura Máximo (G_{cmax}), es el ángulo sustentado en el centro de un círculo de radio R por un arco de 100 pies ó de 20 metros, según el sistema de medidas utilizado. Para países como los centroamericanos, que se rigen por el sistema métrico, se utiliza la siguiente expresión para el cálculo de D:

$$G_c = \frac{1145.92}{R} \quad (\text{Ec. 10})$$

Dónde:

R = Radio mínimo de curva, en metros.

Gc= Expresado en grados, minutos y segundos.

El Grado de Curvatura (**Gc**), para un Radio mínimo de **65 metros**, resultante fue de **17.63**, equivalente a **17° 37' 46.34"**.

3.3.3. Sobre-anchos en curvas (S).

El objeto del sobre-ancho en la curva horizontal es el de posibilitar el tránsito de vehículos con seguridad y comodidad, es necesario introducir el sobre-ancho por las siguientes razones:

- El vehículo al describir la curva ocupa un ancho mayor ya que generalmente las ruedas traseras recorren una trayectoria ubicada en el interior de la descrita por las ruedas delanteras, además el extremo lateral delantero, describe una trayectoria exterior a la del vehículo.
- La dificultad que experimentan los conductores para mantenerse en el centro de su carril debido a la menor facilidad para apreciar la posición relativa de su vehículo dentro de la curva. Esta dificultad aumenta con la velocidad, pero disminuye a medida que los radios de la curva son mayores.

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

$$Sa = n[R - (\sqrt{R^2 - L^2})] + \frac{V}{10\sqrt{R}} \quad (\text{Ec. 11})$$

Dónde:

Sa = Valor sobre-ancho, metros.

n = Número de carriles de la superficie de rodamiento.

L = Longitud entre el eje frontal y el eje posterior del vehículo de diseño, metros.

R = Radio de curvatura, metros.

V = Velocidad de diseño de la carretera, kilómetros por hora.

Tabla-14: Sobre-anchos en Curvas.

Radios (Metros)	Sobre-ancho (metros)	
	Calculado	Recomendado (Sieca)
350	0.3	--
340	0.4	--
300	0.4	--
290	0.4	--
260	0.4	--
250	0.4	--
240	0.4	--
230	0.5	--
220	0.5	--
200	0.5	--
180	0.5	--
170	0.6	0.6
160	0.6	0.6
150	0.6	0.6
140	0.6	0.6
130	0.7	0.7
125	0.7	0.7
120	0.7	0.7
118	0.7	0.7
105	0.8	0.8
100	0.8	0.8
90	0.9	0.9
85	0.9	0.9
80	1.0	1.0
76	1.0	1.0
70	1.1	1.1
65	1.1	1.1

Datos:
 Número de Carriles, n= 2
 Velocidad de Diseño, V= 45 km/h
 Distancia entre Ejes, L= 6.1 metros.
 Nota= Sobre-anchos menores de 0.60 metros, no son necesarios en las curvas.

Fuente: Elaborado por Sudentantes.

Según los resultados de la **Tabla 14** se aplicarán sobre-anchos solo en curvas con Radios menores a 170 metros, los radios de mayor denominación no necesitan la aplicación de sobre-anchos. Para el Radio mínimo calculado de **65 metros** se necesita un sobreancho de **1.10 metros**.

3.3.4. Longitud de Transición (LT).

No se pueden iniciar bruscamente los peraltes máximos en los PC de las curvas horizontales ni pueden terminar igualmente en los PT, por esa razón se estiman las longitudes suficientes y necesarias en las tangentes para pasar cómodamente y sin riesgos de una sección en tangente a una sección en curva o dicho en otras palabras para pasar del bombeo al peralte máximo. Las estimaciones no se limitaron únicamente a estimar la longitud de transición del peralte, sino que también se estimaron dentro de estas longitudes las distancias necesarias para hacer la transición en la tangente desde el bombeo igual a -3% a 0%, transición del bombeo.

Nosotros estamos proponiendo que el paso del bombeo a la transición se haga con el procedimiento de girar la sección sobre el eje longitudinal de la corona porque se requieren distancias menores de transición y los desniveles relativos de los hombros se mantienen uniformes.

La longitud de transición depende de la velocidad de diseño (45 km/hora) y del ancho de la corona, porque el empate de la sección en tangente con la sección en curva se logra en los planos verticales ubicados en los bordes del camino.

Los parámetros para determinar la longitud de transición y la transición del bombeo son los siguientes datos de Diseño:

Velocidad de diseño, Vd: 45 km/h.

Velocidad de ruedo, Vr: 44 km/h.

Peralte máximo, emax: 0.08.

Semi-ancho de calzada, a: 2.90 metros.

Coefficiente de fricción lateral Máximo, fmax: 0.16.

Factor J: 0.007868181.

El Gradiente máximo (**Gmax**), se calculó con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Gmax} = \frac{145,606(emax+fmax)}{Vd^2} \quad \text{(Ec. 12)}$$

El grado de desplazamiento de PI (**Dpi**), se calculó con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Dpi} = \frac{145,606(emax)}{Vr^2} \quad \text{(Ec. 13)}$$

El desplazamiento de PI (**hpi**), se calculó con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{hpi} = emax \left[\frac{Vd^2}{Vr^2} \right] - emax \quad \text{(Ec. 14)}$$

La Pendiente de la Rama 1 y 2(S1, S2):

$$\mathbf{S1} = (hpi)(Dpi) \quad \text{(Ec. 15)}$$

$$\mathbf{S2} = \frac{fmax-hpi}{Dmax-Dpi} \quad \text{(Ec. 16)}$$

La media Ordenada (Mo), de la curva vertical asimétrica se obtuvo:

$$\mathbf{Mo} = \frac{Dpi (Dmax - Dpi)(S2 - S1)}{2(Dmax)} \quad \text{(Ec. 17)}$$

Para velocidades de 45 km/h, se obtuvieron los siguientes resultados:

El Gradiente máximo de curvatura:

$$\mathbf{Gmax} = 17.9 \text{ equivalente a } 17^\circ 58' 33.78''.$$

El grado de desplazamiento de PI:

$$\mathbf{Dpi} = 6.02 \text{ equivalente a } 6^\circ 1' 0.4''.$$

El desplazamiento de PI:

$$\mathbf{hpi} = 0.0037.$$

La Pendiente de la Rama 1:

$$\mathbf{S1} = 0.00061.$$

La Pendiente de la Rama 2:

$$\mathbf{S2} = 0.0139.$$

La media Ordenada:

$$\mathbf{Mo} = 0.0280.$$

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

$$e + f = \frac{V^2}{127R} \quad (\text{Ec. 18})$$

Dónde:

V = Velocidad de Diseño, km/h.

R = Radio mínimo, m.

El cálculo del coeficiente de fricción (**f**), para cada uno de los Radios presentados en las **Tabla 43**, se calculó con las siguientes ecuaciones:

$$f = Mo \left[\frac{D_{\max} - D_c}{D_{\max} - D_{pi}} \right]^2 + H_{pi} + S_2(D_c - D_{pi}). \quad (\text{Ec. 19})$$

$$f = Mo \left[\frac{D_c}{D_{pi}} \right]^2 + H_{pi} + S_1(D_c). \quad (\text{Ec. 20})$$

Si el Grado de curvatura (**Dc**), de cada radio es menor al Grado de desplazamiento del PI (**Dpi**), se utilizó la **ecuación 19**, para los Dc mayores a Dpi se utilizó la **ecuación 20**.

El cálculo del peralte (**e**), para cada uno de los Radios se calculó con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{V^2}{127R} - f \quad (\text{Ec. 21})$$

Dónde:

V = Velocidad de Diseño, km/h.

R = Radio de cada curva, m.

f = Coeficiente de fricción de cada uno de los Radios, m.

Debido a que esta carretera es de dos carriles, para el cálculo de la Longitud de Transición (LT), se utilizó la siguiente ecuación:

$$LT = m * a * e \quad (\text{Ec. 22})$$

Dónde:

LT = Longitud de Transición, m.

a = semi-ancho de calzada en tangente, m.

e = Peralte de la curva circular en valor absoluto, m/m.

mr = Pendiente Relativa.

La pendiente relativa (m_r), para la Velocidad de Diseño establecida para el Proyecto no se refleja en la **Tabla-15**, para conocer su valor se hizo una interpolación, determinándose un valor de pendiente relativa de 147 al 0.68%

Tabla-15: Pendiente relativa según la velocidad de Diseño.

Metric			US Customary		
Design speed (km/h)	Maximum relative gradient (%)	Equivalent maximum relative slope	Design speed (mph)	Maximum relative gradient (%)	Equivalent maximum relative slope
20	0.80	1:125	15	0.78	1:128
30	0.75	1:133	20	0.74	1:135
40	0.70	1:143	25	0.70	1:143
50	0.65	1:150	30	0.66	1:152
60	0.60	1:167	35	0.62	1:161
70	0.55	1:182	40	0.58	1:172
80	0.50	1:200	45	0.54	1:185
90	0.47	1:213	50	0.50	1:200
100	0.44	1:227	55	0.47	1:213
110	0.41	1:244	60	0.45	1:222
120	0.38	1:263	65	0.43	1:233
130	0.35	1:286	70	0.40	1:250
			75	0.38	1:263
			80	0.35	1:286

Fuente: AASHTO-Geometric Design of Highways and Streets (2001).

Si el peralte es menor al 3 %, es una curva CCS (curva circular simple), según AASHTO. Por Tanto, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$LT = b * e_D \quad (\text{Ec. 23})$$

Dónde:

b= Bombeo o Pendiente Transversal, metro/metro.

e_D = Peralte de la curva circular en valor absoluto, m/m.

Cálculo de la transición del bombeo (N).

$$N = \frac{LT \cdot b}{e_D} \quad (\text{Ec. 24})$$

Dónde:

LT: longitud de transición.

b: bombeo.

e_D: peralte de diseño

A continuación, se presentan la distribución de Peraltes y longitud de Transición.

Tabla-16: Distribución de Peraltes y Longitud de Transición.

Radio de Curva	Grado (Dc)	e + f	Coefficiente de Fricción (f)	Peralte (e _a)	Longitud de Transición (LT, metros)	transición del bombeo (N, metros)
5000	0.23	0.003	0.000	SN		
3000	0.38	0.005	0.000	SN		
2000	0.57	0.008	0.001	SN		
1500	0.76	0.011	0.001	SI	13	
1200	0.95	0.013	0.001	SI	13	41
1100	1.04	0.014	0.001	SI	13	33
1000	1.15	0.016	0.002	SI	13	30
800	1.43	0.020	0.002	SI	13	28
600	1.91	0.027	0.004	SI	13	23
500	2.29	0.032	0.005	SI	13	17
450	2.55	0.035	0.006	SI	13	15
420	2.73	0.038	0.007	3.1%	13	14
400	2.86	0.040	0.008	3.2%	14	13
350	3.27	0.046	0.010	3.6%	15	13
340	3.37	0.047	0.010	3.6%	16	13
300	3.82	0.053	0.013	4.0%	17	13
290	3.95	0.055	0.014	4.1%	18	13
260	4.41	0.061	0.017	4.4%	19	13
250	4.58	0.064	0.018	4.6%	19	13
240	4.77	0.066	0.020	4.7%	20	13
230	4.98	0.069	0.021	4.8%	20	13
220	5.21	0.072	0.023	4.9%	21	13
200	5.73	0.080	0.028	5.2%	22	13
180	6.37	0.089	0.034	5.5%	23	13
170	6.74	0.094	0.037	5.7%	24	13
160	7.16	0.100	0.041	5.8%	25	13
150	7.64	0.106	0.046	6.0%	26	13
140	8.19	0.114	0.052	6.2%	27	13
130	8.81	0.123	0.058	6.4%	27	13
125	9.17	0.127	0.062	6.6%	28	13
120	9.55	0.133	0.066	6.7%	28	13
118	9.71	0.135	0.068	6.7%	29	13
105	10.91	0.152	0.081	7.1%	30	13
100	11.46	0.159	0.087	7.2%	31	13
90	12.73	0.177	0.102	7.5%	32	13
85	13.48	0.187	0.111	7.6%	33	13
80	14.32	0.199	0.122	7.8%	33	13
76	15.08	0.210	0.131	7.8%	33	13
70	16.37	0.228	0.148	8.0%	34	13
65	17.63	0.245	0.165	8.0%	34	13

SN = Sección Normal.
 SI = Sección Inversa (peralte igual a la pendiente transversal normal).
 LT = Longitud de Transición del Peralte, no incluye la transición del bombeo.
Nota: Los Radios mayores a 1,500 metros, se consideran como CCS (curva circular simple), según AASHTO.

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

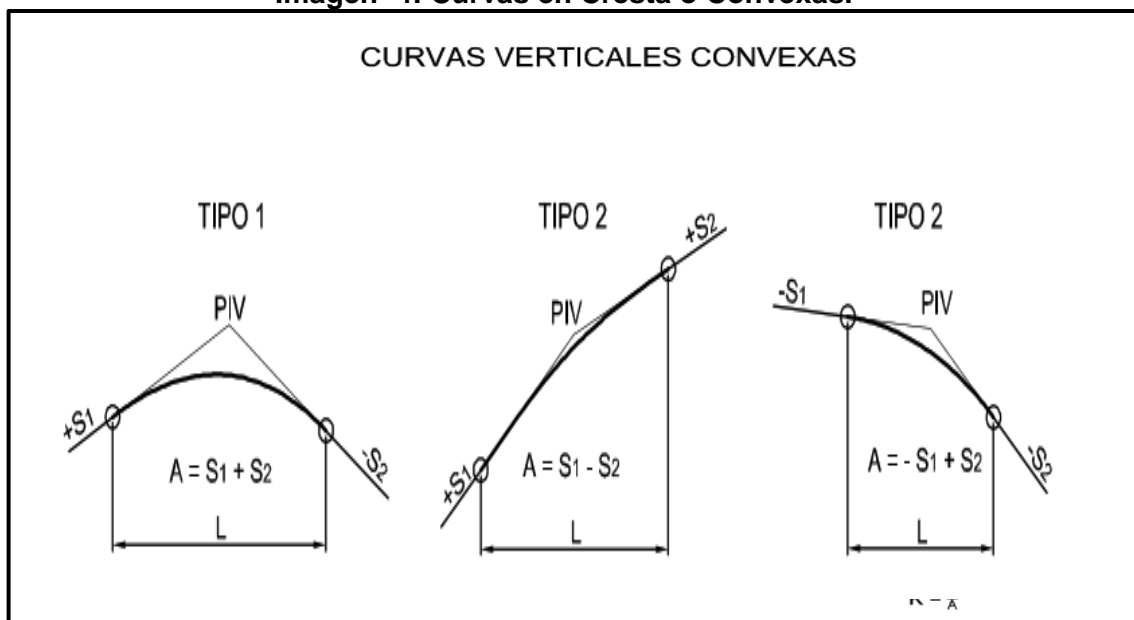
3.4. Alineamiento Vertical.

El alineamiento vertical comprende el diseño de la rasante, de la que depende la economía del proyecto. Este diseño deberá cumplir con las normas de diseño en lo que refiere a pendientes y longitudes de curva emitidas por la AASHTO. La topografía del terreno y la ubicación de la obra son factores fundamentales en el alineamiento vertical. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificando las pendientes ascendientes (+) y descendientes (-), expresadas usualmente en porcentajes. Aparte de las consideraciones de estética, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los siguientes factores: Visibilidad, Composición del tránsito y Relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo.

3.4.1. Curvas Verticales.

Las curvas verticales pueden tener su concavidad hacia arriba o hacia abajo. Las curvas cóncavas hacia arriba se denominan **Curvas en Cresta**, y las curvas cóncavas hacia abajo se llaman **Curvas en Columpio**. (Ver Imágenes 4 y 5).

Imagen- 4: Curvas en Cresta o Convexas.



Fuente: OSPINA, 2002.

Dónde:

L: Longitud de la cuerda.

K: Relación de curvatura vertical.

A: Diferencia algebraica de las pendientes.

S: Distancia de visibilidad de parada.

Tabla-17: Relación de curvatura vertical en cresta con la distancia de visibilidad de parada.

VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA MÍNIMA	K = RELACIÓN DE CURVATURA VERTICAL.	
		LONGITUD EN METROS POR % DE VARIACIÓN DE A.	
30	30	2	2
35	40	3.6	4
40	45	4.5	5
45	55	6.7	7
50	60	8	8
55	70	10.9	11
60	75	12.5	13
65	85	16.1	16
70	90	18	18
75	100	22.2	22

Fuente: Especificaciones Generales para Proyectos Geométricos de Camino de Penetración.

Criterio de comodidad:

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{V_D^2}{395} \quad (\text{Ec. 26})$$

$$L \geq \frac{V_D^2 \cdot A}{395} \quad (\text{Ec. 27})$$

Dónde: A en %.

Criterio de Apariencia: $L \geq$

$$K = \frac{L}{A} \geq 30 \Rightarrow L \geq 30 \cdot A \quad (\text{Ec. 28})$$

Dónde: A en %.

Criterio de drenaje:

$$K = \frac{L}{A} \leq 43 \Rightarrow L \leq 43 \cdot A \quad (\text{Ec. 29})$$

Dónde: A en %.

Los resultados se ajustan a lo recomendado por la Sieca, tal y como se muestra en la **Tabla 18**:

Tabla-18: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta.

Velocidad de Diseño Km/h	Velocidad de marcha Km/h	Distancia de parada para diseño (m)	Tasa de curvatura vertical K, long (m) por % de G*	Distancia mínima de adelantam. para Diseño (m)*	Tasa de curvatura vertical, K, long (m) por % de G*
30	30-30	30-30	3-3	217	50
40	40-40	45-45	5-5	285	90
50	47-50	60-65	9-10	345	130
60	55-60	75-85	14-18	407	180
70	67-70	95-110	22-31	482	250
80	70-80	115-140	32-49	541	310
90	77-90	130-170	43-71	605	390
100	85-100	160-205	62-105	670	480
110	91-110	180-245	80-151	728	570

Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana ,2004.

3.4.3. Cálculo de Curvas verticales en columpio.

$L \geq S$ S: Distancia de visibilidad de parada, mts; L: Longitud de curva, mts; Δ : Diferencia Algebraica.

$$L = \frac{\Delta S^2}{120 + 3.5S} \quad (\text{Ec. 30})$$

L en metros:

$$K = L/\Delta = \frac{S^2}{120 + 3.5S} \quad (\text{Ec. 31})$$

Calculando el valor de K para una velocidad **45 km/hora**

$$K_{45} = 63 \times 63 / (120 + 3.5 \times 63) = 3969 / 347.5 = 12$$

Para chequear, consultamos las siguientes **Tablas 19** y **20**, y comprobamos que el diseño y consideraciones del proyecto coinciden con las cifras de las tablas.

Favor observar que nuestras condiciones de cálculo es que la distancia de la curva sea igual o mayor que la distancia de visibilidad de parada y las tablas de SIECA consideran distancias de visibilidad de parada y rebase.

Tabla-19: Relación de curvatura vertical en columpio con la distancia de visibilidad de parada.

VELOCIDAD DE PROYECTO (Km/h)	DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA MÍNIMA	K = RELACIÓN DE CURVATURA VERTICAL.	
		LONGITUD EN m POR % DE VARIACIÓN DE A.	
		Calculado	Redondeado
30	30	3.5	4
35	40	5.5	6
40	45	6.5	7
45	55	8.8	9
50	60	9.9	10
55	70	12.3	12
60	75	13.6	14
65	85	16.1	16
70	90	17.3	17
75	100	19.9	20

Fuente: Especificaciones Generales para Proyectos Geométricos de Camino de Penetración.

Tabla-20: Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio.

Velocidad de diseño Km/h	Rango de velocidad de marcha Km/h	Coeficiente de fricción	Valores DVP (m)		Factor K de diseño *
			Menores	Mayores	
30	30-30	0.40	30	30	4-4
40	40-40	0.38	45	45	8-8
50	47-50	0.35	60	65	11-12
60	55-60	0.33	75	85	15-18
70	63-70	0.31	95	110	20-25
80	70-80	0.30	115	140	25-32
90	77-90	0.30	130	170	30-40
100	85-100	0.29	160	205	37-51
110	91-110	0.28	180	245	43-62

Fuente: Secretaría de Integración Económica Centroamericana ,2004.

3.5. Resultados del Alineamiento Horizontal y Vertical.

Resultados obtenidos del alineamiento Horizontal: En los 1.5 kilómetros, se trazaron 10 curvas horizontales, cuyas características se detallan en la **Tabla 21**.

Para el tramo **Guanacaste (0+000) – Ducuale Grande (1+500)**, todas las curvas fueron proyectadas para una velocidad de 45 Kilómetros/hora, en la siguiente tabla se presenta un resumen de estas curvas:

Tabla-21: Curvas Horizontales Trazadas.

N° Curva	PC	PI	PT	Longitud (metros)	Radio (Metros)	Delta
1	0+104.33	0+176.78	0+249.23	144.899	160	51°53'-18" Der.
2	0+414.67	0+473.06	0+531.46	116.787	70	95°-35'-26" Izq.
3	0+572.18	0+594.65	0+617.13	44.946	70	36°-51'-00" Der.
4	0+654.44	0+672.45	0+690.50	36.020	65	31°-29'-37" Izq.
5	0+732.50	0+756.81	0+781.14	48.650	180	15°-29'-09" Izq.
6	0+813.62	0+863.48	0+913.35	99.726	70	81°-37'-36" Der.
7	0+953.99	0+988.48	1+022.98	68.990	130	30°-24'-22" Izq.
8	1+080.63	1+170.59	1+260.56	179.928	300	34°-21'-49" Izq.
9	1+395.77	1+418.24	1+440.72	44.946	70	36°-47'-20" Der.
10	1+460.58	1+475.57	1+490.50	29.980	76	22°-36'-06" Izq.

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Resultados obtenidos del alineamiento Vertical: Se proyectaron 7 PIV (Punto de Intersección Alineamiento Vertical) en los cuales se trazaron 7 curvas verticales, de las cuales 4 son en columpio y 3 en cresta.

En la **Tabla 22** se presente un reporte del Alineamiento Vertical Proyectado para el tramo Guanacaste Est (0+000) – Ducuale Grande Est (1+500):

Tabla-22: Datos de Curvas Verticales Proyectadas.

N° Curva	Tipo de Curva	PC	PI	PT	Longitud (metros)	A.D	K
1	Columpio	0+086.10	0+131.10	0+176.09	90.0	10.456	86.08
2	Cresta	0+250.89	0+301.00	0+350.87	100.0	-13.561	7.374
3	Columpio	0+384.40	0+454.40	0+524.35	140.0	-5.225	26.793
4	Columpio	0+753.19	0+903.20	1+053.19	300.0	1.283	233.756
5	Cresta	1+190.72	1+220.71	1+250.72	60.00	-1.739	34.510
6	Cresta	1+333.59	1+378.58	1+423.59	90.00	-4.752	18.94
7	Columpio	1+459.68	1+479.68	1+499.68	40.00	7.667	5.217

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

A continuación, se presenta el resumen de los criterios de diseño producto del alineamiento horizontal y vertical, para el tramo el tramo Guanacaste Est (0+000) – Ducuale Grande Est (1+500):

Tabla-23: Resumen de Criterios Finales de Diseño.

ITEM	DESCRIPCIÓN / PARAMETRO.	ABREVIATURA	UNIDAD DE MEDIDA	VALORES.
1	Clasificación Funcional.		Camino Vecinal	
2	Ancho del Derecho de Vía.	ADV	metros	15.00
3	Tipo de Terreno		Plano/ Ondulado	
4	Velocidad de Diseño.	V_D	KPH	45.00
5	Velocidad de Ruedo.	V_R	KPH	44.00
6	Vehículo de Proyecto.	Veh.	Tipo.	C2
7	Distancia entre ejes	L_{ee}	metros	6.10
8	Distancia de Visibilidad de Parada	DVP	metros	55.00
9	Distancia de Visibilidad de Rebase.	DVR	metros	316.00
10	Coefficiente de Fricción Lateral.	f_1	S/U	0.17
11	Radio de Curvatura Mínimo.	R_m	metros	65.00
12	Grado de Curvatura Máximo.	G_c	G. Min. Seg.	17° 37' 46.34"
13	Número de Carriles de Rodamiento.	N_c	Unid.	2.00
14	Ancho Carril de Rodamiento.	A_c	metros	3.00
15	Ancho Bordillos Longitudinales	BI	metros	0.15
16	Ancho Total de Rodamiento.	AR	metros	6.00
17	Ancho de Hombros.	Hm	metros	1.00
18	Pendiente del Hombro.	Hm%	%	4.00
19	Ancho de Corona.	A_c	metros	7.00
20	Pendiente Transversal (Bombeo).	B	%	3.00
21	Cunetas Triangulares	CT	metros	1.00
22	Ancho de Sección Típica Propuesta	AST	metros	9.00
23	Sobreelevación Máxima (Peralte).	e_{max}	%	8.00
24	Pendiente Relativa.	m_r	%	0.68 (1/147)
25	Distancia a Obstrucciones laterales.	Offs.	metros	1.20
26	Sobreelevación Máxima en Curvas Horiz.	S_{max}	metros	1.10
27	Sobreelevación Mínima en Curvas Horiz.	S_{min}	metros	0.60
28	Superficie-carpeta de Rodamiento.	S_{rod}	Tipo.	Adoquines de Concreto (3,500 PSI)

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE TRÁNSITO.

4.1. Generalidades.

En todo estudio de tránsito se deben de llegar a obtener el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), como variable principal para diseño y proyecciones a futuro, a partir de censos o conteos de tránsito en el lugar de la futura construcción (si existe la ruta o va ser pavimentada o repavimentada) o si es totalmente nueva mediante censos de tránsito en lugares próximos. También es necesario conocer las tasas de crecimiento de tránsito, así como la distribución por dirección y si se trata de un camino de varios carriles, la distribución por carril.

En este capítulo se realizó la proyección del tránsito actual de la vía, obtenido mediante un aforo vehicular, el cual se proyecta para 15 años. Tomando en cuenta que el tránsito es uno de los aspectos más significativos a considerar para el diseño de pavimentos y es a su vez una de las variables que presenta mayor incertidumbre al momento de estimarse, por lo tanto, se debe de contar con la información más precisa posible del tránsito para realizar el diseño, y obtener resultados seguros.

4.2. Metodología.

Los datos de Tránsito Promedio Diario Anual, así como los factores de ajuste estacional, el número promedio de ejes y otros parámetros, fueron obtenidos de los datos de campo y de los cálculos de gabinete.

La estación de conteo vehicular fue ubicada en una zona con adecuada visibilidad y con amplitud en los hombros, para lograr captar el tránsito en ambos sentidos de la vía. Para obtener resultados adecuados, se contará y clasificará el cien por ciento de los vehículos que circularán en ambas direcciones de la estación de conteo y clasificación vehicular.

4.2.1. Ubicación de la Estación de Aforo.

Se decidió escoger una sola estación de aforo vehicular, la cual estará ubicada al inicio del tramo en la estación **0+000**, en las coordenadas geográficas 13°22'47.7" Norte 86°24'06.5" Oeste. **Ver a continuación**

Imagen- 6: Ubicación del punto de conteo vehicular.



Fuente: Google Earth.

4.2.2. Periodo de Aforo de Tránsito.

El conteo volumétrico se realizó de forma manual, ubicando dos aforadores en la estación 0+000 (inicio del tramo), la campaña de levantamiento de datos tuvo un periodo de 7 días de 12 horas diurnas. Los conteos volumétricos de tránsito se realizaron por conteo manual de los vehículos en ambas direcciones, clasificados por tipo de vehículos (motocicletas, automóviles, jeep, camionetas, autobuses, camiones, vehículos agrícolas y de tracción animal). **(Ver Anexos, Tabla-68 a la 74, págs. VII-X)**

Tabla - 24 : Aforo Vehicular.

Tramo 1.5 km : Guanacaste- Ducuale Grande	
Estación	0+000
Horas	12 horas (6:00 am – 6:00 pm)
Sentido	Ambos Sentidos
Duración	7 días
Aforo Inicial	Lunes 8 de Enero de 2018
Aforo Final	Domingo 14 de Enero de 2018

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

4.2.3. Clasificación de vehículos.

Para la clasificación de los vehículos, el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha designado la siguiente terminología para los vehículos que circulan a través de la infraestructura vial en el país (**Ver Anexos, Tabla-78, pág. XIII**)

4.2.4. Tipos de Vehículos.

La hoja de clasificación vehicular usada por el MTI, está compuesta por 17 tipos de vehículos, los cuales se mencionan a continuación:

- Motocicleta
- Automóviles
- Jeep
- Camioneta
- Microbus
- Minibus
- Bus
- Liviano de carga
- Camión rígido sencillo, 2 ejes
- Camión rígido sencillo, 3 ejes
- Camión de carga Tx –Sx-<4
- Camión de carga Tx –Sx->5
- Camión combinado Cx –Rx-<4
- Camión combinado Cx –Rx->5
- Vehículo agrícola (tractor)
- Vehículo de construcción (niveladora)
- Otro (remolque halado por un vehículo liviano)

Para el levantamiento de la información de campo fue necesario tener en cuenta las características de los vehículos y agruparlos en cuatro categorías:

Motocicletas: Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados con o sin transporte, esta categoría incluye scooter, motonetas, moto carros, cuadra ciclos y otros triciclos a motor. (MTI, 2016)

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

Vehículos pesados de pasajeros: Son vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los microbuses pequeños (hasta de 15 pasajeros y microbuses medianos de 25 pasajeros y los buses medianos y grandes).

Vehículos pesados de cargas: Son los vehículos destinados al transporte pesado de cargas mayores a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3, 4, 5 y más ejes, estos vehículos incluyen los camiones de dos ejes (C2), camiones C3, C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos T3S2 y T3S3 y otros tipos de vehículos para la clasificación de vehículos especiales, tales como agrícolas y de construcción. (MTI, 2016)

4.2.5. Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.

La diversidad en las características de los vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida de diseño, traen como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura.

4.2.6. Clasificación de ejes

Los ejes se clasifican en sencillo, tándem y tridem.

2.2.6.1 Eje sencillo

Es un eje en cuyos extremos lleva una o dos ruedas sencillas.

2.2.6.2 Eje tándem

Es aquel constituido por dos ejes sencillos con rueda doble en los extremos.

2.2.6.3 Ejes tridem

Es aquel constituido por tres ejes sencillos con rueda doble en los extremos.

Pesos Permisibles por Tipos de Vehículos

El Ministerio de Transporte e Infraestructura, ha designado los siguientes pesos en dependencia del tipo de vehículo, los cuales se muestran el Diagrama de Cargas Permisibles (**Ver Anexos, Tabla-79, Tabla-80, pág. XIV**).

4.2.7. Digitalización y Control de Calidad.

Una vez concluidas las labores de campo se procede a revisar cada hoja de campo, para realizar los totales de cada casilla, controlar que cada hoja estuviese debidamente identificada. Una vez revisada se pasa al proceso de digitalización de las boletas. La digitalización se realiza en una hoja de Excel que se utiliza como base de datos primaria, esta hoja electrónica posteriormente será utilizada en el proceso del cálculo del TPDA.

4.2.8. Resultados de los Aforos de Tránsito.

En el tramo de la carretera Guanacaste- Ducuale Grande Comunidad (Ducuale), de la información recogida de los conteos, se obtuvo el volumen de tránsito por día. A continuación, se muestran los conteos de tránsito de los 7 días, así como el promedio Volumen Horario de Máxima Demanda por día en consolidado para ambos sentidos del tramo en estudio.

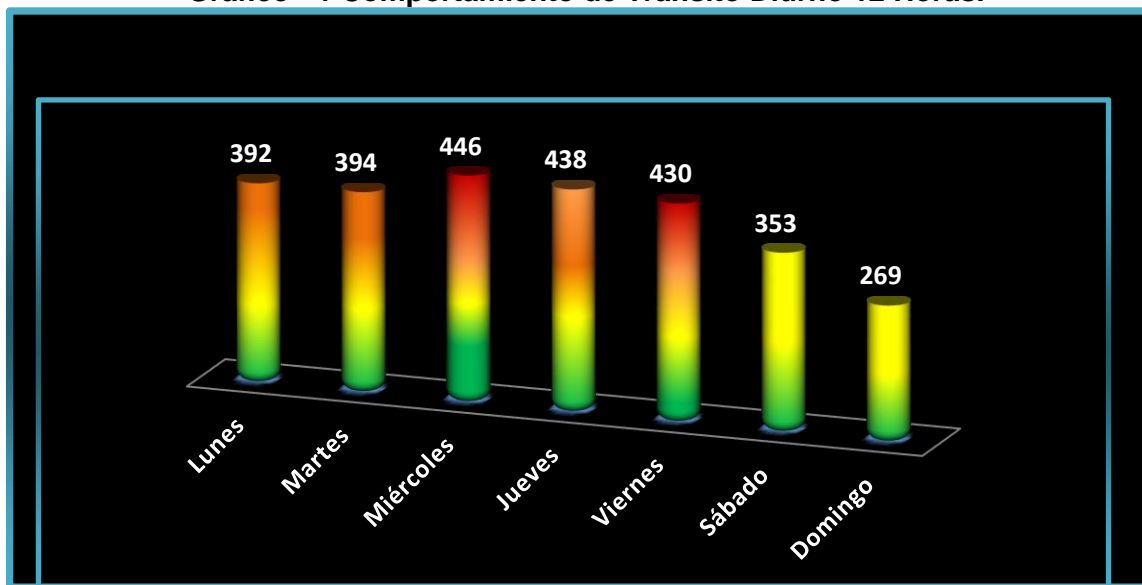
Tabla - 25 : Aforo Vehicular de 7 Días (Ambos Sentidos).

Tramo 1.5 km: Guanacaste- Ducuale Grande							
HORA / SENTIDO	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
6-7	41	38	47	49	62	17	43
7-8	42	46	42	45	34	43	40
8-9	39	39	47	31	29	25	18
9-10	37	39	40	50	29	18	21
10-11	48	23	28	31	47	21	18
11-12	26	33	18	27	36	67	13
12-1	20	34	32	43	38	33	29
1-2	28	24	35	39	24	26	6
2-3	24	29	28	37	36	24	19
3-4	25	34	48	18	24	19	25
4-5	41	34	39	39	50	47	20
5-6	21	21	42	29	21	14	17
<i>Volumen Diurno (Veh/12 horas)</i>	392 Veh	394 Veh	446 Veh	438 Veh	430 Veh	353 Veh	269 Veh
Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD)= 67 (sábado de 11-12) . Volumen Diurno Máximo (VDM)= 446 (miércoles) .							

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Una vez realizado el conteo vehicular de tránsito durante los 7 días consecutivos 12 horas desde el día (lunes 8 de enero hasta el Domingo 14 enero del 2018), se puede apreciar el comportamiento del tramo en análisis “Guanacaste Ducuale-Grande” este presenta un bajo volumen de tránsito, ya que su flujo diario de 12 horas es menor a 500 vehículos por día. Como se aprecia en el **Gráfico-1**, el día que se registró un flujo vehicular más alto fue el día miércoles, jueves y con menor demanda el día sábado y domingo.

Gráfico - 1 Comportamiento de Tránsito Diurno 12 Horas.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

4.2.9. Determinación del Tránsito Promedio Diurno (TPDiS).

Para la cuantificación del tránsito promedio diurno, se realizó un aforo vehicular, con un período de 12 horas continuas por día. Para obtener el Tránsito Promedio Diurno fue necesario aplicar la **Ecuación – 32**:

$$TPDiS = \frac{Total\ Diurno}{N} \quad (Ec. 32)$$

Dónde:

TPDiS: Tránsito Promedio Diurno Semanal (12 horas).

N: es el total de días del aforo (7 días).

Los resultados del tránsito en ambos sentidos se muestran en la Tabla siguiente:

Tabla - 26: Tránsito Promedio Diurno/12 horas por tipo de Vehículos.

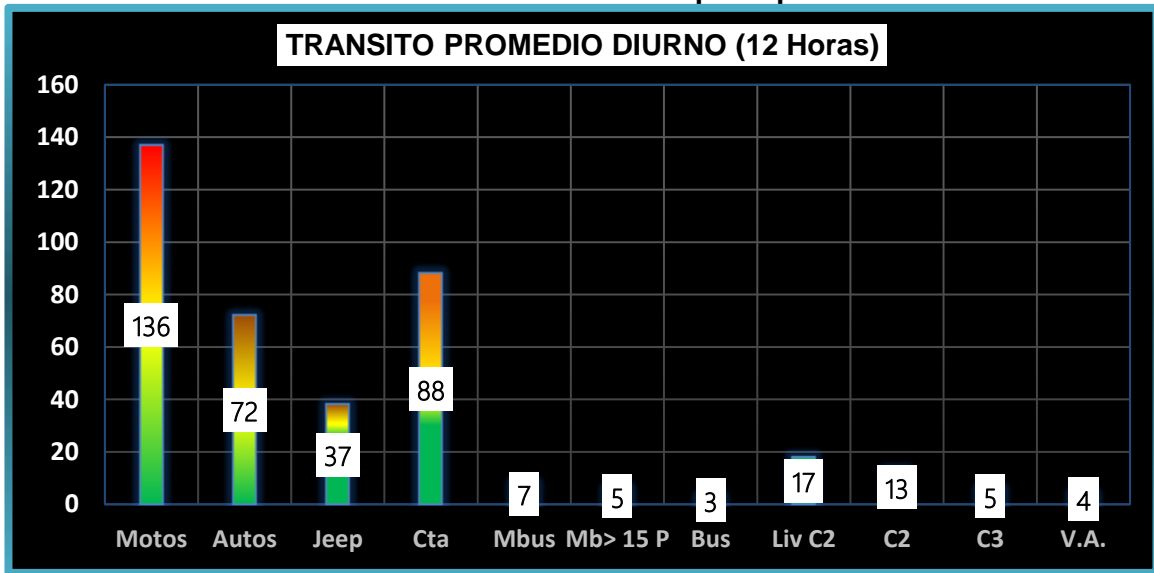
Estación 0+000 (Ambos Sentidos)												
Tipo de Veh.	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga			V.A	TOTAL
Día	Moto	Auto	Jeep	Cta	Mb< 15 P	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3		
Lunes	184	45	28	79	6	2	3	11	18	9	7	392
Martes	162	69	21	81	11	4	3	19	15	6	3	394
Miércoles	152	103	34	95	6	7	4	14	18	7	6	446
Jueves	138	148	23	63	2	11	3	31	11	5	3	438
Viernes	102	36	72	143	10	9	4	24	19	7	4	430
Sábado	112	46	41	108	13	3	2	17	6	3	2	353
Domingo	104	57	41	47	4	2	2	6	4	1	1	269
Total Diurno	954	504	260	616	52	38	21	122	91	38	26	2722
TPDiS (12 horas)	136	72	37	88	7	5	3	17	13	5	4	389

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

En la **Tabla -26** podemos observar el consolidado del conteo vehicular efectuado durante una semana (7 días), así mismo se puede apreciar el comportamiento del tránsito promedio diurno de 12 horas, obtenido de la división del total diurno entre el número de días en el cual se realizó el aforo vehicular, obteniendo así un TPDiS de **389** vehículos/ 12 hrs.

En el (**Gráfico-2** **pág. 50**) se muestra en comportamiento del tránsito promedio diurno (12 horas), para el tramo Guanacaste – Ducuale Grande, donde se puede notar la prevalencia de vehículos Livianos entre ellos las motos, en segundo orden las camionetas y en tercer orden los Jeep, luego tenemos a los vehículos pesado entre ellos camiones C2, C2 Liv, C3, posterior los vehículos de pasajeros bus, micro bus y por último los vehículos agrícolas.

Gráfico - 2 Tránsito Promedio Diurno por Tipo de Vehículo.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

En vista que los datos recolectados son una muestra representativa de un periodo de conteo de 7 días consecutivos, es necesario estimar el TPDA, para ello se utilizan los factores de ajustes diario, y expansión de una estación permanente más próxima a la zona del proyecto.

4.3. Cálculo del Tránsito Promedio Anual (TPDA).

Es la unidad de medida habitual para indicar el uso o importancia de una carretera y se expresa en número de vehículos. Debido a que los conteos se realizaron en horas diurnas (de 06:00 am a 06:00 pm), es necesario expandir los resultados utilizando el factor día (Expansión de 12 horas a 24 horas), al hacer esto se obtiene un tránsito promedio diario semanal, ya que se hizo un conteo de una semana, a la vez este se expande a TPDA utilizando el factor expansión. Para calcular el tránsito promedio diario anual, se determina con la siguiente expresión matemática:

$$TPDA = TPDiS_{12H} * FD * FE \quad (\text{Ec. 33})$$

Dónde:

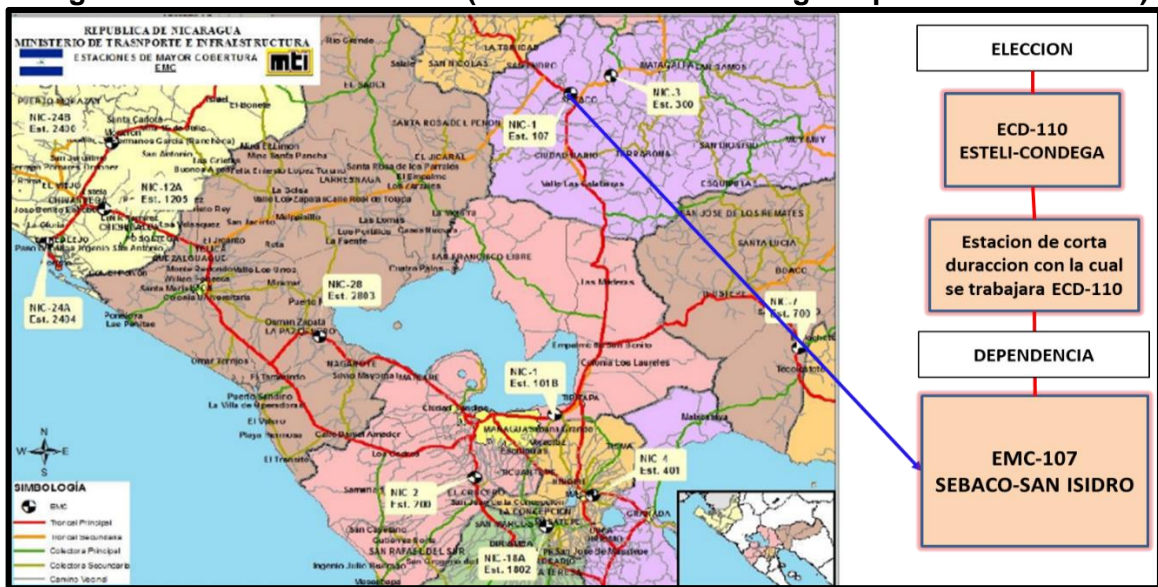
TPDi_{S12 horas} = Tránsito Promedio Diurno Semanal.

FD= Factor Día (12 horas a 24 horas).

FE= Factor Expansión (TPDA).

Para obtener el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) fue necesario usar factores de ajustes diarios, obtenidos del anuario estadístico del MTI del año 2016, publicado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura –DAV, Para expandir (TPDiS a TPDA), se identificó la estación de corta duración N°110 (ECD Estelí - Condega) por su similitud con respecto al tramo de estudio, su dependencia es la Estación N°107 (EMC -107).

Imagen-7: Estación Identificada (ECD-110 Estelí- Condega Dependencia EMC107)



Fuente: Anuario de Tráfico 2016. MTI.

La expansión de Tránsito Promedio Diurno de 12.0 horas (TPDiS), se realizó en base a factores de ajustes, estos factores se aplican para estaciones de corta duración y conteo sumario (ECD o ECS) que dependen de la estación de mayor cobertura (EMC-107), en este caso se aplicaron para la estación de corta duración Estelí–Condega (ECD-110), con la cual trabajaremos ya que su dependencia corresponde a la estación de mayor cobertura Empalme Sébaco San Isidro EMC-107, se debe de conocer que los factores de ajuste de la estación de mayor cobertura son nulos, ya que sus conteos son de 24 horas durante una semana, cada tres cuatrimestres del año, por lo que los factores que presenta es para las estaciones que dependen de ella (**Ver Tabla 27 a continuación**).

Tabla - 27: Dependencia de Estaciones (Estación Epm. Sébaco -San Isidro).

DEPENDENCIA DE ESTACIONES 2016					
ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	Pkm	NOMBRE DEL TRAMO
107 → Sébaco - Emp. San Isidro	NIC-1	108	ECD	119.5	Emp. San Isidro - La Trinidad
	NIC-1	109	ECD	129.1	La Trinidad - Emp. San Nicolás
	NIC-1	142	ECD	140.0	Emp. San Nicolás - Estelí
	NIC-1	110	ECD	152.1	Estelí - Condega
	NIC-1	111	ECD	187.3	Condega - Shell Palacagüina
	NIC-1	114	ECD	199.5	Shell Palacagüina - Emp. Yalagüina
	NIC-4	405	ECD	65.0	Emp. Guanacaste - Emp. Nandaime
	NIC-4B	434	ECD		Rtda Tisma - Rtda. Las Flores (circunvalacion)
	NIC-4B	433	ECD		Rtda. Coyotepe - Rtda. Tisma (circunvalación)
	NIC-7	708	ECD	251.5	Muelle de los Bueyes - Ciudad Rama

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2016,MTI– DAV, pág.44.

En la **Tabla:28** se muestran los factores de ajustes para las estaciones de corta duración (ECD) y conteo sumario (ECS), en este caso para la estación con la cual estamos trabajando la ECD 110- Estelí-Condega, cabe mencionar que se utilizaron los factores de ajustes del primer cuatrimestre del año, ya que los conteos de aforo vehicular se realizaron en el mes de enero-2018.

Para expandir nuestro TPDiS, solo fue necesario utilizar el factor día y factor expansión ya que el conteo de aforo se realizó durante 7 días consecutivos, el factor semana (FS) y el factor fin de semana (FS), no fue necesario utilizarlos.

Tabla - 28: Factores del primer Cuatrimestre del año Enero Abril para ECD-110.

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	V.A
Factor Día →	1.26	1.30	1.26	1.30	1.22	1.22	1.20	1.32	1.46	1.50	1.00
Factor Semana	1.01	1.05	1.01	0.95	0.94	1.49	0.98	0.87	0.88	0.84	0.89
Factor Fin de Semana	0.99	0.90	0.98	1.14	1.18	0.55	1.05	1.61	1.52	1.85	1.48
Factor Expansión →	1.09	1.04	0.94	1.01	1.06	1.00	1.00	1.07	1.03	1.30	1.56

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2016,MTI– DAV, pág.251

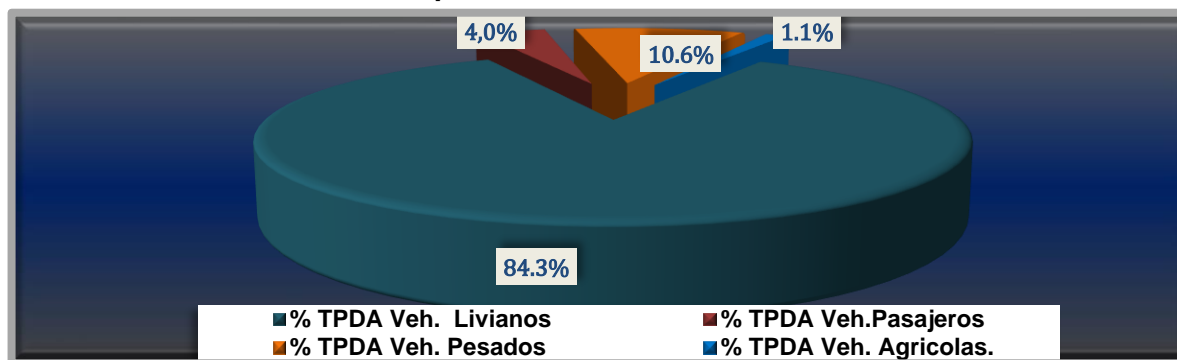
A continuación, se realizó el cálculo del tránsito promedio diario anual TPDA.

Tabla - 29: Tránsito Promedio Diario Anual.

Tipo Veh.	Veh Livianos				Veh Pesados de Pasajeros			Veh Carga			Veh Pesado	Total
Factor	Moto	Auto	Jeep	Cta	Mb< 15 P	Mb> 15 P	Bus	Liv C2	C2	C3	V.A	
TPDiS	136	72	37	88	7	5	3	17	13	5	4	389
FD	1.26	1.3	1.26	1.3	1.22	1.22	1.2	1.32	1.46	1.5	1	
FE	1.09	1.04	0.94	1.01	1.06	1.00	1.0	1.07	1.03	1.30	1.56	
TPDA	188	98	44	116	10	7	4	25	20	11	6	529
% TPDA	35.5%	18.5%	8.3%	21.9%	1.9%	1.3%	0.8%	4.7%	3.8%	2.1%	1.1%	100%
	Vehículo Livianos				Vehículo de Pasajeros			Vehículo de Carga			Equipo Pesados	
	84.3 %				4.0 %			10.6 %			1.1 %	

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Gráfico - 3 : Composición Vehicular del tramo en Estudio.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Al analizar el **Gráfico-3** que representa la composición vehicular del tramo Guanacaste – Ducuale Grande, este indica que el **84.3 %** del tránsito corresponde a vehículos livianos, el **10.6 %** corresponde a vehículos de carga, el **4.0%** a vehículos de pasajeros y el **1.1%** a vehículos agrícolas, para un total de 100%.

4.4. Determinación de las Tasas de Crecimiento.

Para determinar las tasas de crecimiento para el tránsito vehicular futuro para el tramo Guanacaste – Ducuale Grande, se realizaron correlaciones entre los registros históricos del tránsito promedio diario anual “TPDA” y el producto interno bruto “PIB”, así como con la población, a fin de estimar una tasa diferenciada de crecimiento basado en datos históricos. **(Ver Anexos, Tabla-77, pág. XII).**

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del Producto interno Bruto (PIB) de los últimos 16 años, donde se aprecia el comportamiento histórico del PIB, desde el año 2001 al año 2016 **(Ver Tabla 30 a continuación).**

Tabla - 30: Registros Históricos del PIB, TPDA y POB.

AÑO	TPDA ECD 110	PIB (Miles \$)	POB (Miles de habitantes)
2001	2419.0	4102	5174
2002	-	5224	5244.7
2003	-	5322	5312.7
2004	2195.0	5796	5380.5
2005	-	6321	5450.4
2006	-	6786	5638.0
2007	2334.0	7458	5707.9
2008	2508.0	8491	5778.8
2009	-	8381	5850.5
2010	2574.0	8741	5923.1
2011	-	9756	5996.6
2012	2629.0	10533	6071.0
2013	-	10983	6134.3
2014	-	11880	6198.2
2015	4294.0	12748	6262.7
2016	4537.0	13230	6327.9

Fuente: Banco Central de Nicaragua (Informe Anual 2016).

4.4.1. Tasas de Crecimiento.

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

Para el presente tramo de adoquinado se utilizaron los datos históricos del tránsito promedio diario anual “TPDA” de la Estación N°110 de corta duración (ECD Estelí–Cóndega). En los registros de la estación N°110 ECD (Estelí–Cóndega), podemos observar crecimientos moderados en relación a los siguientes años, hasta llegar al 2016 que se encuentra con una TPDA mucho mayor a los anteriores, elevando su tasa de crecimiento en un 5.36% con relación al año (2010-2012), algunos años no poseen registros por lo cual se realizaron correlaciones de las variables para saber si estos datos son confiables. **(Ver Anexos, Tabla-75, pág. X).**

Las tasas de crecimiento interanual se calcularon usando la **ecuación 34**:

$$TC = \left[\left(\frac{Año_n}{Año_{n-1}} \right) - 1 \right] * 100 \quad (\text{Ec. 34})$$

Dónde:

TC: Tasa de crecimiento.

Año n: Año actual.

Año n- 1: Año anterior.

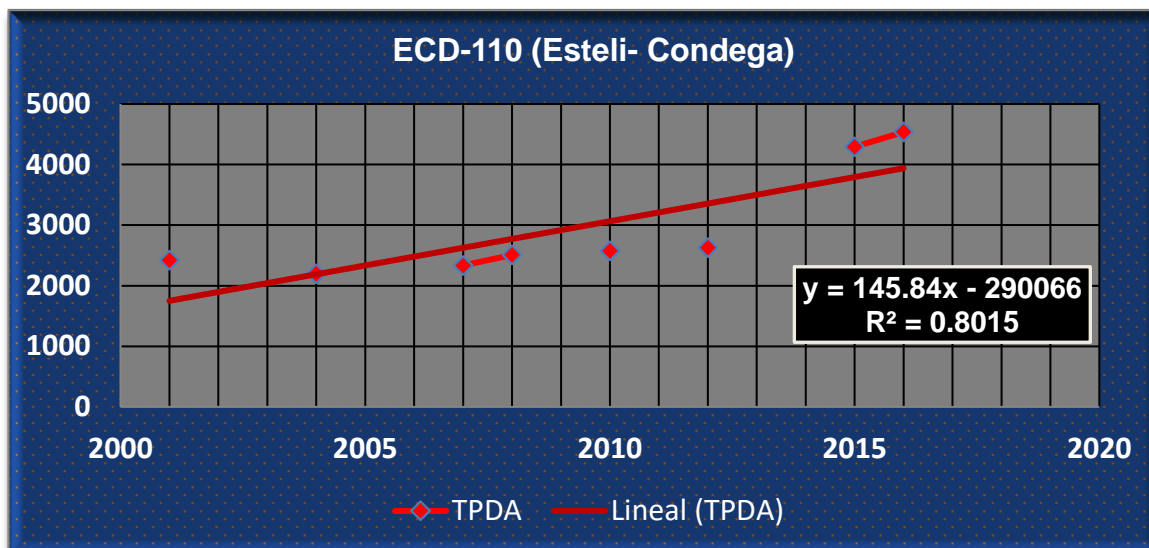
Tabla - 31: Evolución TPDA de la Estación ECD 110 Estelí- Condega.

AÑO	TPDA ECD-110	TCA
2001	2419	
2002		
2003		
2004	2195	-10.21%
2005		
2006		
2007	2334	
2008	2508	6.94%
2009		
2010	2574	
2011		
2012	2629	2.09%
2013		
2014		
2015	4294	
2016	4537	5.36%
Promedio	2,936	4.80%

Fuente: Revista Anuario de Aforo 2016, MTI– DAV).

A partir de los registros históricos de la estación ECD-110 se dispuso a realizar una correlación de sus variables para determinar el grado de confiabilidad que existe entre ellas desde el año 2001 hasta el año 2016. **(Ver Gráfico 4 a continuación)**

Gráfico - 4 :Correlación TPDA de la Estación 110 ECD (Estelí –Cóndega).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

La correlación de las variables de la estación Estelí – Cóndega ECD-110, da como resultado un coeficiente de determinación $R^2=0.8015$, lo cual representa un valor bastante confiable con respecto a sus variables ya que este se encuentra por encima de 0.75, por lo que se trabajará con dicha estación para el cálculo de las tasas de crecimiento.

4.4.2. Correlación de Datos entre ECD N°110 y Producto Interno Bruto (PIB).

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del PIB de los últimos 16 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2001 al año 2016.

El PIB promedio 8,142 \$ Millones de dólares, con una tasa de crecimiento promedio de 8.45%. Las tasas de crecimiento interanual de los últimos 16 años se calcularon usando la **Ecuación N° 34**.

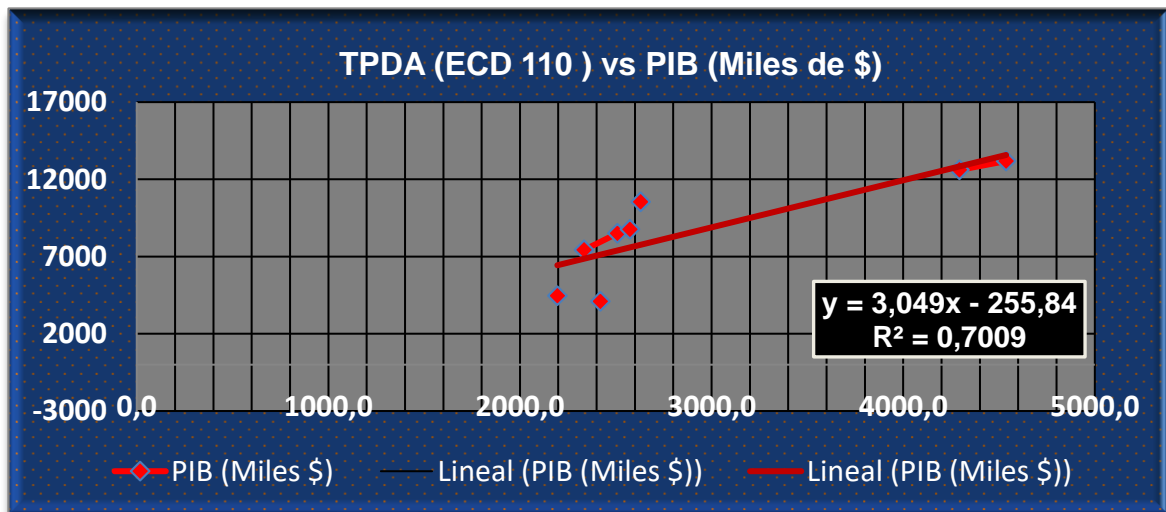
Tabla - 32: Tasas de Crecimiento Anual para PIB.

AÑO	TPDA ECD-110	PIB (Miles \$)	Tasa Crecimiento Anual (PIB)
2001	2419	4,102	
2002	-	4,026	-1.86%
2003	-	4,101	1.87%
2004	2195	4,465	8.86%
2005	-	4,872	9.12%
2006	-	6,764	38.83%
2007	2334	7,423	9.75%
2008	2508	8,497	14.46%
2009	-	8,299	-2.33%
2010	2574	8,759	5.54%
2011	-	9,774	11.60%
2012	2629	10,533	7.76%
2013	-	10,983	4.28%
2014	-	11,880	8.17%
2015	4294	12,611	6.15%
2016	4537	13,184	4.55%
Promedio	2,936 Veh/día	\$ 8,142	8.45%

Fuente: Banco Central –Indicadores Económicos 2016.

Se obtendrá la elasticidad de los indicadores como lo son TPDA de la estación de corta duración ECD-110 Estelí -Condega y el producto interno bruto del país de los últimos 16 años. Estas variables serán sometidas a un estudio estadístico de correlación de variables, para determinar el grado de correlación que existe entre ellas. **(Ver Gráfico-5 a continuación)**

Gráfico - 5: Correlación TPDA (EDC-110) Vs PIB (Millones \$).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Como se muestra en el **Gráfico-5** la correlación entre los datos de TPDA Vs PIB posee una buena correlación de variables, por lo cual la línea de tendencia presenta continuidad. En este caso se obtuvo un R^2 de **0.7009** este presenta una elasticidad de **3.049**

Luego se procede a mejorar la fórmula de R^2 calculado, realizando el mismo procedimiento de correlación no sin antes aplicar Logaritmo Natural a los datos de la **Tabla-33**, con ellos se elaboran rectas de regresión y se calcula el coeficiente de correlación entre las variables en cuestión. A continuación, se muestra el cálculo de los logaritmos naturales necesarios previo al cálculo de la correlación:

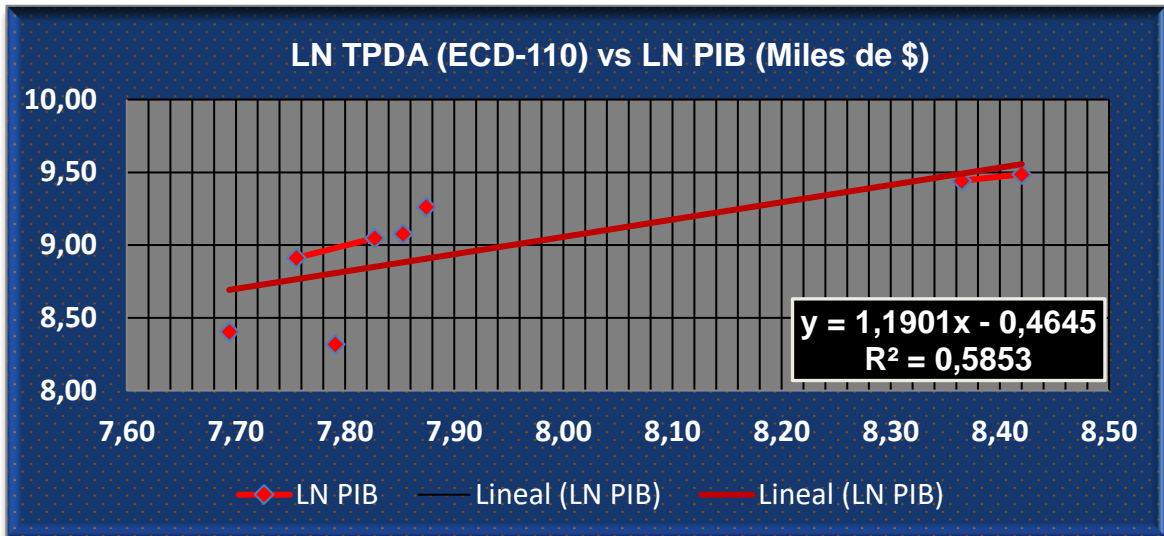
Tabla - 33: Datos LN TPDA y LN PIB.

AÑO	LN TPDA ECD 110	LN PIB (Miles \$)
2001	7.79	8.32
2002	-	8.30
2003	-	8.32
2004	7.69	8.40
2005	-	8.49
2006	-	8.82
2007	7.76	8.91
2008	7.83	9.05
2009	-	9.02
2010	7.85	9.08
2011	-	9.19
2012	7.87	9.26
2013	-	9.30
2014	-	9.38
2015	8.36	9.44
2016	8.42	9.49

Fuente: Banco Central –Indicadores Económicos 2016.

A continuación, en el **Gráfico-6** se muestra el resultado de la correlación entre las variables de los datos **LNTPDA Vs LNPIB** de la **Tabla 33**, el cual dio como resultado un coeficiente de determinación $R^2=0.5853$, y una elasticidad de **1.1901** en un periodo de 16 años del año 2001 al año 2016.

Gráfico - 6 Correlación LN TPDA (ECD-110) y LN PIB (Millones \$).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Se consideran que las elasticidades son los coeficientes constantes de la ecuación, en la comparativa de gráficos se escoge la elasticidad del gráfico con el R^2 más alto. De la correlación de las variables **TPDA Vs PIB** y **LNTPDA Vs PIB** se obtiene lo siguiente:

Tabla - 34: Resultados de Correlación TPDA (ECD-110) y PIB (Millones \$).

Correlación de TPDA Vs PIB (Gráfico -5)	
Coeficiente de Correlación (R^2)	0.7009
Elasticidad	3.049
Correlación de LN TPDA Vs LN PIB (Gráfico -6)	
Coeficiente de Correlación (R^2)	0.5853
Elasticidad	1.1901

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Como se aprecia en la **Tabla-34**, se escoge la primera elasticidad de la correlación de las variables de **TPDA Vs PIB** ya que el coeficiente de determinación R^2 es más alto que la correlación de variables entre **LNTPDA Vs LNPIB** así que esta se utilizará para determinar las tasas de crecimiento del tránsito de carga, que son los vehículos que mueven la producción hacia los mercados nacionales e internacionales, lo mismo que los insumos para la producción.

4.4.3. Correlación de Datos entre ECD 110 y Población (POB).

Partiendo de la información del Banco Central de Nicaragua, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del POB de los últimos 16 años, donde se aprecia el comportamiento histórico, desde el año 2001 al año 2016.

El POB promedio de 5,778.2 Miles de habitantes, con una tasa de crecimiento promedio de 1.35%. Las tasas de crecimiento interanual de los últimos 15 años se calcularon usando la **Ecuación N° 34**.

Tabla - 35: Datos ECD-110 y Tasas de Crecimiento Anual para Población.

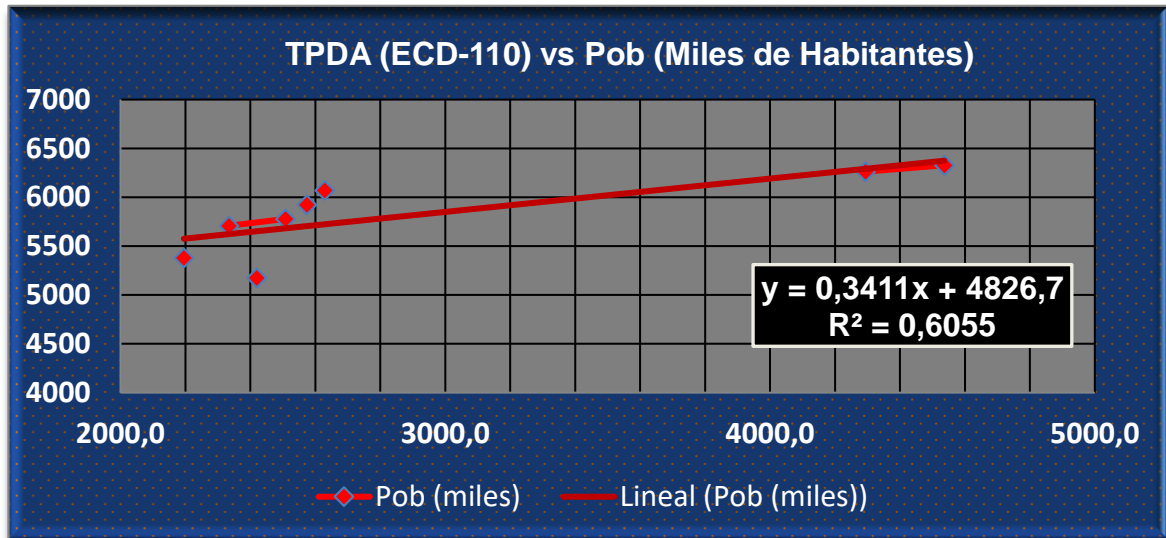
AÑO	TPDA ECD 110	POB (Miles/hab)	Tasa Crecimiento Anual (POB)
2001	2419	5,174	
2002	-	5,245	1.37%
2003	-	5,313	1.30%
2004	2195	5,381	1.28%
2005	-	5,450	1.30%
2006	-	5,638	3.44%
2007	2334	5,708	1.24%
2008	2508	5,779	1.24%
2009	-	5,850	1.24%
2010	2574	5,923	1.24%
2011	-	5,997	1.24%
2012	2629	6,071	1.24%
2013	-	6,134	1.04%
2014	-	6,198	1.04%
2015	4294	6,263	1.04%
2016	4537	6,328	1.04%
Promedio	2,936 Veh/día	5,778.2 miles/hab	1.35%

Fuente: Banco Central –Indicadores Económicos 2016.

Las variables de TPDA de la ECD 110 (Estelí-Condega) y de Población serán sometidas a un estudio estadístico de correlación de variables, para determinar el grado de correlación entre ellas, de forma que se establezca su crecimiento con los diferentes tipos de tránsito a los cuales se deben realizar proyecciones.

A continuación, en el **Gráfico-7** se muestra el resultado de la correlación entre datos de la **Tabla-35**:

Gráfico - 7 Correlación TPDA (ECD-110) y Población (Miles \$).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

A continuación, se muestra en el **Tabla -36** el cálculo de los logaritmos naturales necesarios previo al cálculo de la correlación:

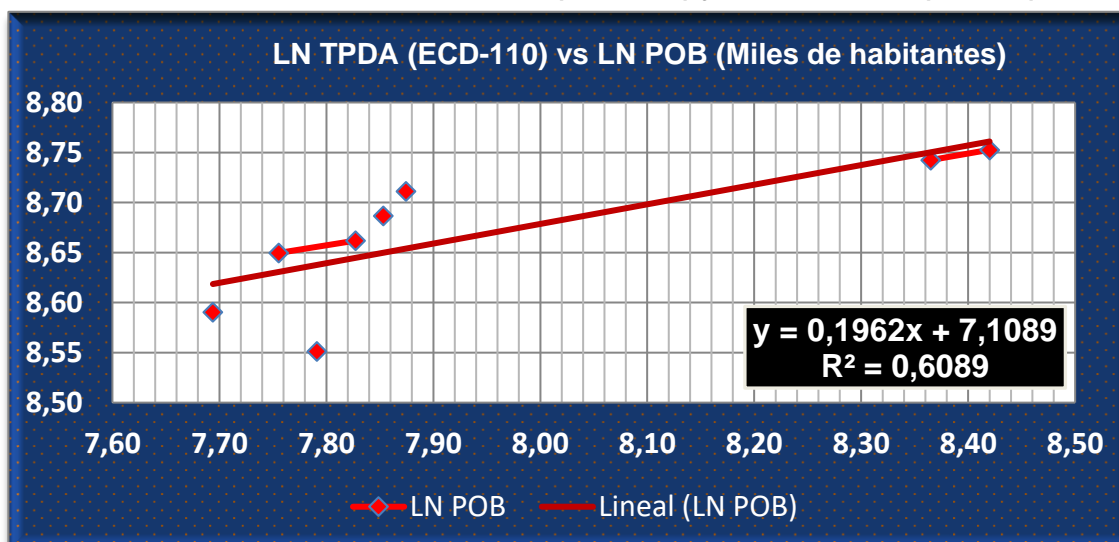
Tabla - 36: Datos LNTPDA ECD-110 y LN POB.

AÑO	LN TPDA ECD 110	LN POB (Miles/Hab)
2001	7.79	8.55
2002	-	8.56
2003	-	8.58
2004	7.69	8.59
2005	-	8.60
2006	-	8.64
2007	7.76	8.65
2008	7.83	8.66
2009	-	8.67
2010	7.85	8.69
2011	-	8.70
2012	7.87	8.71
2013	-	8.72
2014	-	8.73
2015	8.36	8.74
2016	8.42	8.75

Fuente: Banco Central –Indicadores Económicos 2016.

En el **Gráfico-8** se muestra el resultado de la correlación entre datos del **Tabla: 36:**

Gráfico - 8 Correlación LN TPDA (ECD 110) y LN Población (Miles \$).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Se consideran que las elasticidades son los coeficientes constantes de la ecuación, en la comparativa de gráficos se escoge la elasticidad del gráfico con el R^2 más alto de la correlación de las variables **TPDA Vs Población** y **LNTPDA Vs LNPOB** se obtiene lo siguiente:

Tabla - 37: Resultados de Correlación TPDA (ECD-110) y POB (Miles/Hab).

Correlación de TPDA Vs POB (Gráfico -7)	
Coefficiente de Correlación (R^2)	0.6055
Elasticidad	0.3411
Correlación de TPDA Vs POB (Gráfico -8)	
Coefficiente de Correlación (R^2)	0.6089
Elasticidad	0.1962

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Como se muestra en la **Tabla-37**, se escoge la segunda elasticidad porque el coeficiente (R^2) de la correlación de las variables de **LNTPDA Vs POB** es más alto, que la correlación de **TPDA Vs POB** así que esta se utilizará para determinar las tasas de crecimiento del tránsito de pasajeros, que son los vehículos de transporte que mueven la mayor cantidad de población hacia los diferentes destinos (laborales, compras, estudios, recreativos y de otras índoles).

4.4.4. Calculo de Proyección de Tránsito.

Procedemos a calcular las tasas de crecimiento utilizando los datos históricos de TPDA, PIB, POB, para cada uno de ellos.

Tabla - 38: Datos Históricos (TPDA, PIB, POB).

AÑO	TPDA ECD-110	PIB (Miles \$)	POB (miles)
2001	2419	4102	5174
2002	-	4026	5245
2003	-	4101	5313
2004	2195.0	4465	5381
2005	-	4872	5450
2006	-	6764	5638
2007	2334.0	7423	5708
2008	2508.0	8497	5779
2009	-	8299	5850
2010	2574.0	8759	5923
2011	-	9774	5997
2012	2629.0	10533	6071
2013	-	10983	6134
2014	-	11880	6198
2015	4294.0	12611	6263
2016	4537.0	13184	6328

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

El método más común para proyección de tránsito es la siguiente ecuación:

$$T_C = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] - 1 \quad (\text{Ec. 35})$$

Dónde:

TPDA_i= Tránsito Promedio Diario Anual Actual

TPDA₀= Tránsito Promedio Diario Anual del año Base.

n= La diferencia de años

Aplicando la **ecuación N°35**:

- **Tasa de crecimiento TPDA:** utilizando datos históricos de la estación ECD-110 (Estelí-Condega) de los últimos 16 años (2001-2016).

$$Tc = \left[\left(\frac{4,537}{2,419} \right)^{1/16} \right] - 1$$

$$Tc = \left[(1.8755)^{1/16} \right] - 1$$

$$Tc = [1.04009] - 1$$

$$Tc = 0.04009 * 100 = \mathbf{4.0\%}$$

- **Tasa de crecimiento PIB:** utilizando datos históricos de los últimos 16 años (2001-2016).

$$Tc = \left[\left(\frac{13,184}{4,102} \right)^{1/16} \right] - 1$$

$$Tc = \left[(3.2138)^{1/16} \right] - 1$$

$$Tc = [1.07569] - 1$$

$$Tc = 0.07569 * 100 = \mathbf{7.57\%}$$

Afectando la Tasa crecimiento resultante con Elasticidad escogida **3.049**.

$$Tc = 7.57 \% * 3.049 = \mathbf{23.08\%}$$

- **Tasa de crecimiento POB:** utilizando datos históricos de los últimos 16 años (2001-2016).

$$Tc = \left[\left(\frac{6,328}{5,174} \right)^{1/16} \right] - 1$$

$$Tc = \left[(1.2230)^{1/16} \right] - 1$$

$$Tc = [1.01266] - 1$$

$$Tc = 0.01266 * 100 = \mathbf{1.27\%}$$

Afectando la Tasa crecimiento resultante con Elasticidad escogida de **0.1962**.

$$Tc = 1.27 \% * 0.1962 = \mathbf{0.25\%}$$

4.5. Selección de la Tasa de Crecimiento.

Se decidió utilizar la tasa de crecimiento vehicular de **4.0 %** para todo el tránsito, a consecuencia de que la tasa de crecimiento para PIB resultó muy alta de **23.08%** y para pasajeros de **0.25%** lo cual resulta muy baja, en cambio la tasa del TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) resulta aceptable en base al crecimiento económico que tiene el país actualmente.

4.6. Determinación del Tránsito de Diseño.

Para convertir el volumen de tránsito obtenido de los conteos se usará un tránsito de Diseño (TD) que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos. Este se obtiene a partir de la información básica suministrada por el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), el Factor de Crecimiento (FC), Factor de Distribución (FD) y Factor Carril (fc). Se calcula mediante la siguiente **Ecuación N°36:**

$$TD = TPDA * FC * FD * fc * 365 \quad (\text{Ec. 36})$$

4.6.1. Período de Diseño (PD).

Es la cantidad de años para la cual será diseñada la estructura de pavimento, por lo general varía dependiendo del tipo de carretera. De acuerdo a la ubicación geográfica del tramo y al volumen actual de tránsito que circula por ella, elegimos 15 años para el período de diseño, ya que el tramo tiene una clasificación funcional de Colectora Rural.

Tabla - 39: Período de Diseño (N).

Tipo de carretera	Período de diseño (años)
Autopista Regional	20 – 40
Troncales Sub-Urbanas	15 – 30
Troncales Rurales	15 – 30
Colectoras Sub-Urbanas	10 – 20
Colectoras Rurales	10 – 20

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2004.

Para efecto de diseño el período a utilizar en el presente proyecto es de **N=15 años** ya que nuestro tramo en estudio corresponde a una colectora rural.

4.6.2. Factor de Crecimiento (FC).

Este se obtiene a partir del periodo de diseño y está en dependencia del grado de importancia de la vía, y la tasa anual de crecimiento del tránsito. Se determina mediante la siguiente **ecuación N°37**:

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad (\text{Ec. 37})$$

Dónde:

FC: Factor de Crecimiento.

i: Tasa anual de Crecimiento.

n: Periodo de Diseño.

$$FC = \frac{(1 + 0.040)^{15} - 1}{0.040} = \mathbf{20.024}$$

4.6.3. Factor Distribución Por Dirección (FD).

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

Tabla - 40: Factor de Distribución por Dirección (FD).

Número de carriles en ambas direcciones	FD %
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2004.

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

4.6.4. Factor Distribución Por Carril (fc).

El carril de diseño es por el que circulan el mayor número de ejes equivalentes (ESAL'S). En el **Tabla-41** se presenta el factor carril.

Tabla - 41: Factor de Distribución por Carril (FC).

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2004.

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

En base a los datos anteriormente definidos se realizó la determinación del Tránsito de Diseño (TD), para cada eje y tipo de vehículos aplicando la siguiente **Ecuación N°36 de la pág. 65**, tal como se muestra en la **Tabla -42**:

Tabla - 42: Tránsito de Diseño.

Tránsito de carril de Diseño para el Cálculo del ESAL'S						
Tipo de vehículos	Tránsito Actual (2018)	F.C.	Días del año	Factor de Dirección (Fs)	Factor de Dirección (Fs)	Tránsito para el carril de diseño
Autos	98.00	20.024	365	0.50	1.00	358,130
Jeep	44.00	20.024	365	0.50	1.00	160,793
Camionetas	116.00	20.024	365	0.50	1.00	423,909
McBus<15 pas	10.00	20.024	365	0.50	1.00	36,544
MnBus 15-30 pas	7.00	20.024	365	0.50	1.00	25,581
Bus	4.00	20.024	365	0.50	1.00	14,618
C2 liv	25.00	20.024	365	0.50	1.00	91,360
C2 5 +ton	20.00	20.024	365	0.50	1.00	73,088
C3	11.00	20.024	365	0.50	1.00	40,199
V.A.	6.00	20.024	365	0.50	1.00	21,927
Total						1,246,149 Veh/día

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Los resultados de la Tabla -42 para el tramo Guanacaste- Ducuale Grande, utilizando un factor de crecimiento de **20.024**, con un periodo de diseño de 15 años, da como resultado un Tránsito de Diseño de **1,246,149 Vehículos/ día**.

4.6.5. El Índice de Serviciabilidad Inicial (Po).

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

En el Diseño de la Estructura de Pavimento articulado del tramo de carretera Guanacaste – Ducuale Grande se trabajó con un valor de **Po=4.2**.

4.6.6. El Índice de Serviciabilidad Final (Pt).

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

Para camino vecinal, colectora rural se toma un valor de $pt = 1.8- 2.0$ según el manual SIECA Capítulo 3 Pág. 4.

En este caso se decidió tomar el valor de **Pt=2.0**.

4.6.7. Pérdida de Serviciabilidad (Δ PSI).

Es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. Entre mayor sea el Δ PSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, calculado con la siguiente **Ecuación N°38**:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (\text{Ec. 38})$$

En el Diseño de la Estructura de Pavimento articulado del tramo Guanacaste – Ducuale Grande se trabajó con un valor de:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

4.6.8. Número Estructural Asumido (SN).

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

4.6.9. Factor de Equivalencia (FESAL).

Se obtiene las tablas de la AASHTO– 93 apéndice D, para ejes Sencillos y Dobles respectivamente. Conociendo la serviciabilidad final (Pt=2.0), el número estructural asumido (SN=5) y los pesos (las cargas se encuentran en Kips), se obtienen los factores de equivalencia (**Ver Anexos (Tablas – 81 y 82), págs. XV y XVI**). Si los factores de equivalencia de cargas en los ejes no se encuentran en estas tablas se deben de Interpolar dichos valores.

Se procede a interpolar los pesos por eje dados en Kips reflejados a continuación:

Tabla - 43: Factores de ejes Kips a Interpolar.

Tipo de vehículos	Peso X eje(Ton.met)	Peso X eje (Kips)
Autos	1.00	2.20
Camionetas	2.00	4.40
McBus<15 pas	4.00	8.80
MnBus 15-30 pas	8.00	17.60
Bus	5.00	11.00
C3	16.50	36.30
V.A	4.50	9.90
	6.50	14.30

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

En las **Tablas 44, 45 y 46** se realizaron los cálculos de interpolación obteniendo los factores ESAL para cada peso por eje por cada tipo de vehículo.

Tabla - 44: Interpolación Lineal (2.2, 4.4, 8.8).

EJE SIMPLE= 2.2 kips		EJE SIMPLE= 4.4 kips		EJE SIMPLE= 8.8 kips	
(kips)	SN=5	(kips)	SN=5	(kips)	SN=5
2.0	0.0002	4.0	0.002	8.0	0.031
2.2	X	4.4	X	8.8	X
4.0	0.002	6.0	0.009	10.0	0.079
X = 0.00038		X = 0.0034		X = 0.0502	

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla - 45: Interpolación Lineal (9.9, 11, 14.30).

EJE SIMPLE= 9.9 kips		EJE SIMPLE= 11 kips		EJE SIMPLE= 14.30 kips	
(kips)	SN=5	(kips)	SN=5	(kips)	SN=5
8.0	0.031	10.0	0.079	14.0	0.338
9.9	X	11.0	X	14.30	X
10.0	0.079	12.0	0.174	16.0	0.603
X = 0.077		X = 0.1265		X = 0.378	

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Tabla - 46: Interpolación Lineal (17.60 y 36.30).

EJE SIMPLE= 17.60 kips		EJE DOBLE= 36.30 kips	
(kips)	SN=5	(kips)	SN=5
16.0	0.603	36.0	1.38
17.60	X	36.30	X
18.0	1.00	38.0	1.73
X = 0.9206		X = 1.43	

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

4.6.10. Ejes Equivalentes (ESAL o W18).

En el Método AASHTO-93 los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos del cálculo, se los transforma un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 KN o 18 Kips, los cuales se les denomina “equivalent simple axial load” o ESAL. Se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$\text{ESAL o W18} = \text{TD} \cdot \text{FESAL} \quad (\text{Ec.39})$$

Dónde:

TD: Transitó de Diseño.

FESAL: Factor de Equivalencia de carga por eje.

Ya conocido los valores del Tránsito de Diseño (TD) por tipo de vehículo cuyos resultados se muestran en la **Tabla -42** de la **pág. 67**. En donde el TPDA para motos no se tomó en cuenta en el cálculo del tránsito de diseño, ya que se considera que el daño causado por este tipo de vehículo es imperceptible.

Los valores de los factores de Equivalencia (FESAL), los cuales se tuvieron de interpolar 7 valores de FESAL para ejes Simples (2.2, 4.4, 8.8, 9.9, 11, 14.30 y 17.60), y un 1 valor de FESAL para ejes Dobles (36.30). Solo el peso de 22 Kips no se interpoló ya que el FESAL (2.35), si se muestra en el cuadro AASHTO– 93 apéndice D, para ejes Sencillos. El cálculo del **ESAL o W18** se muestra a continuación, en la **Tabla-47**:

Tabla - 47: Cálculo ESAL'S del Carril de Diseño.

Asumimos un número estructural (SN=5), Po=4.2 Pt=2.0 ΔPSI=2.2							
<i>Tipo de vehículos</i>	<i>Peso X eje(Ton.met)</i>	<i>Peso X eje (Kips)</i>	<i>Tipo de eje</i>	<i>TPDA 2018</i>	<i>TD</i>	<i>Factor ESAL</i>	<i>ESAL de diseño</i>
Autos	1.00	2.20	Simple	98	358,130	0.00038	136
	1.00	2.20	Simple			0.00038	136
Jeep	1.00	2.20	Simple	44	160,793	0.00038	61
	1.00	2.20	Simple			0.00038	61
Camionetas	1.00	2.20	Simple	116	423,909	0.00038	161
	2.00	4.40	Simple			0.0034	1441
McBus<15 pas	2.00	4.40	Simple	10	36,544	0.0034	124
	4.00	8.80	Simple			0.0502	1835
MnBus > 15 pas	4.00	8.80	Simple	7	25,581	0.0502	1284
	8.00	17.60	Simple			0.9206	23550
Bus	5.00	11.00	Simple	4	14,618	0.1265	1849
	10.00	22.00	Simple			2.35	34352
C2 Liv	4.00	8.80	Simple	25	91,360	0.0502	4586
	8.00	17.60	Simple			0.9206	84106
C2 5 +ton	5.00	11.00	Simple	20	73,088	0.1265	9246
	10.00	22.00	Simple			2.35	171757
C3	5.00	11.00	Simple	11	40,199	0.1265	5085
	16.50	36.30	Doble			1.43	57485
V.A.	4.50	9.90	simple	6	21,927	0.077	1688
	6.50	14.30	simple			0.378	8284
TOTAL				341 de 529	1,246,149.00		407,227.00

Nota: Se tomó un TPDA de 341 vehículos/hora del total resultante que fue de 529 vehículos/hora, ya que las motos no se tomaron en cuenta por no ejercer una carga considerable al pavimento.

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Para el tramo en estudio se obtuvo un ESAL'S **4.07E +05** repeticiones equivalentes a 18 Kips, por carril de diseño, el cual tiene un peso de 8.2 ton. o (18,000 lbs), en un periodo de diseño 15 años.

CAPÍTULO V

ESTUDIO GEOTÉCNICO.

5.1. Generalidades.

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados de ensayos de laboratorio y estratigrafía general deducida a partir de ambas etapas investigativas campo y laboratorio, llevados a cabo por el consultor en ingeniería geotécnica **Alfonso Jerez F. (INGENICA)**, y proporcionados a nosotros por la Alcaldía Municipal de Condega. Los trabajos de campo fueron realizados entre los meses de febrero y abril del año 2016, básicamente comprendieron la exploración y muestreo tanto de los suelos y materiales que conforman la plataforma existente de la carretera como de las fuentes o bancos de préstamo localizados aledaños a la misma.

5.2. Metodología.

La metodología implementada para la ejecución del estudio de suelos comprende básicamente una investigación de campo a lo largo del tramo de 1.5 kilómetros definido por la carretera del proyecto; mediante la ejecución de prospecciones de exploración se observaron las características del terreno de fundación, para luego obtener muestras representativas y en cantidades suficientes para ser sometidas a ensayos de laboratorio.

En este capítulo se detallarán los procedimientos llevados a cabo para la ejecución de este estudio, así como los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio practicados sobre las muestras de suelo.

Se realizó un análisis del suelo, con el objetivo de conocer sus características físicas, mecánicas condiciones de soporte, y de esta manera se establecerán los parámetros básicos necesarios para el diseño de la estructura. Seguidamente estas muestras fueron analizadas en laboratorio para determinar sus propiedades, entre ellas: Humedad, Valor de Soporte (CBR), Granulométrica, Límites de Atterberg (Límite e índice plástico) y Densidad (Próctor)

5.3. Ensayos de Suelos en Línea.

Según los estudios de suelos brindados por la Alcaldía Municipal de Condega, se tomaron muestras representativas alternadas a uno y otro lado de la vía, a una distancia de 250 metros. Con una profundidad de hasta 1.50 metros, dicho procedimiento se inició en la estación 0+000 (inicio del tramo) hasta la estación 1+500 (fin del tramo). Se efectuaron 7 sondeos manuales, en estos sondeos se encontraron 17 muestras alteradas representativas de cada estrato encontrado, marcando las profundidades respectivas. **(Ver Tablas -49 y 50, Pág.77-78)**

5.3.1. Resultado de los Ensayos sobre la Línea.

Los suelos existentes a lo largo del tramo, de acuerdo a los ensayos de laboratorio analizados presentan de manera general las características siguientes:

Superficialmente existe una capa de rodamiento de 10 a 40 cm de espesor, es un suelo granular compuesto por fragmentos de piedra grava y arena, está clasificado como un suelo tipo **A-1- a (GW)** según el sistema unificado de clasificación de suelos **SUCS**, este material se clasifica del tipo **GW**, en general estos suelos no presentan Límite Líquido, y Índice de Plasticidad. Las partículas de los suelos gravosos pasan el 100% el tamiz de 2", 45 % el tamiz No.4, y entre 12 y 13% el tamiz No. 200. Cabe mencionar que la clasificación de la AASHTO lo cataloga como un suelo de excelente calidad ubicado en el primer lugar del grupo del suelo A-1.

El CBR obtenido del grupo de muestras del tipo de suelo **A-1-a (0)** con índice de grupo cero, compuestos con fragmentos de piedra y arena presenta un cbr compactado al 95% Próctor Modificado, de 62.3 y 62.5%.

Debajo de los suelos descritos anteriormente, que fueron encontrados superficialmente, subyacen suelos gravo arcillosos con arena, areno arcillosos con grava, así como suelos arcillosos y limo arcillosos con grava de media a baja compresibilidad tipo **A- 2- 4 (SC), A- 6 (CL) y A- 7- 5 (CH)**.

Los suelos del tipo **A- 2- 4** del grupo A-2 tienen de 26 a 29% de Límite Líquido, de 9 a 10.1% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan el 73% el tamiz de 2", pasan de 52 a 65% el tamiz No.4 pasan de 27 a 29% el tamiz No.200.

Los suelos limo arcillosos del tipo **A-6 (CL)** según el sistema unificado de clasificación de suelos **SUCS**, tiene 27% de Límite Líquido, 11% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan el 100%, el tamiz de 2" pasan el 100% el tamiz No.4 pasan de 62 % tamiz No.200.

Los suelos del tipo **A- 7- 5 (CH)**, catalogado como suelo limo arcillosos del grupo A-7 tienen de 58% de Límite Líquido, de 22% de Índice de Plasticidad, y sus partículas pasan el 100% el tamiz de 2", pasan 100% el tamiz No.4 y el tamiz No.200 pasan de 96 a 98%.

El CBR obtenido de grupos de muestras de suelos gravo arcillosos, compactadas al 95% Próctor Modificado, fue entre 24.3 y 38.2% para los suelos del tipo A-2-4, para los suelos del tipo A- 6 fue de 11.2% y para los suelos del tipo A-7-5 fue entre 7.2 y 7.6%.

Finalmente se realizó un perfil estratigráfico para detallar los tipos de suelos y su profundidad, en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. **(Gráfico-9 y 10, Pág. 79)**

5.3.2. Análisis de los Resultados.

En base a lo descrito anteriormente, podemos concluir que predominan los suelos **A- 7- 5 (CH), A- 2- 4(SC) y A- 1- a (WG)**. Si bien son suelos de baja resistencia y calidad, con límites líquidos e índices de plasticidad altos según su clasificación y características físico-mecánicas. También tenemos suelos de excelente calidad como lo es el suelo (A-1-a) capa de rodamiento existente.

A continuación, se presenta la referenciación en Coordenadas UTM WGS-84 para cada uno de los sondeos también las características granulométricas, clasificación y CBR al 95% próctor modificado. **(Ver Tablas 48 a la 50, Pag.76-78)**

Tabla -48: Coordenadas Geográficas para cada Sondeo en el tramo de Estudio.

Sondeos	Banda	Coordenadas UTM WGS-84			Clasificación AASHTO		
		X	Y	Z	Estrato No.1	Estrato No.2	Estrato No.3
S1-0+000	BD	562,766.38	1,477,633.53	568.12	A-1-a (0)	A-7-5 (16)	A-2-4 (0)
S2-0+250	BI	562,605.41	1,477,809.38	569.36	A-1-a (0)	A-7-5 (16)	-
S3-0+500	BI	562,542.11	1,478,032.15	559.95	A-1-a (0)	A-7-5 (16)	A-6 (6)
S4-0+750	BD	562,292.14	1,478,021.89	553.87	A-1-a (0)	A-7-5 (16)	-
S5-1+000	BD	562,110.80	1,478,089.06	549.36	A-1-a (0)	A-7-5 (16)	-
S6-1+250	BI	561,883.09	1,478,180.38	546.11	A-1-a (0)	A-2-4 (0)	Roca
S7-1+500	BD	561,647.28	1,478,233.21	535.45	A-1-a (0)	A-2-4 (0)	A-7-5 (16)

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

En la **Tabla:48** se muestra la referenciación de los 7 sondeos realizados a cada 250 metros, a una profundidad de 1.50 metros, los resultados se presentan utilizando el sistema de coordenadas UTM WSG-84, así como las elevaciones del terreno natural existente y su ubicación en banda. Los sondeos que presentan tres estratos son los (S1, S3, S7), y los sondeos (S2, S4, S5, S6) poseen dos estratos, de manera puntual en el sondeo seis (S6) se muestra que no se pudo profundizar más ya que se encontró material rocoso.

Tabla- 49: Resumen de Sondeos realizados a lo largo del Tramo (SM-1, SM-2, SM-3).

SONDEOS DEL TRAMO GUANACASTE - DUCUALE - CONDEGA.																			
Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (metros)	% Que Pasa por el Tamiz										L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación		CBR a Compactación		
			2"	1 ½"	1"	¾"	½ "	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200			SUCS	AASHTO	90%	95%	100%
Sm - 1; Estación 0+000, banda derecha.																			
Sm-1	1	0.00-0.20			100	84	72	65	45	34	21	13	--	NP	GW	A-1-a (0)	43.2	62.5	74.8
	2	0.20-0.80							100	100	99	96	58	22	CH	A-7-5 (16)	4.2	7.2	8.5
	3	0.80-1.50							73	65	39	27	26	9	SC	A-2-4 (0)	16.3	38.2	48.3
Sm - 2; Estación 0 +250, banda izquierda.																			
Sm-2	1	0.00-0.10			100	84	72	65	45	34	21	13	--	NP	GW	A-1-a (0)	43.2	62.5	74.8
	2	0.10-1.50							100	100	99	98	58	22	CH	A-7-5(16)	4.2	7.2	8.5
Sm - 3; Estación 0+500, banda izquierda.																			
Sm-3	1	0.00-0.15			100	84	72	65	45	34	21	13	--	NP	GW	A-1-a (0)	41.2	62.3	74.8
	2	0.15-0.60							100	100	99	96	58	22	CH	A-7-5(16)	4.2	7.2	8.5
	3	0.60-1.50							100	97	86	62	27	11	CL	A-6(6)	7.8	11.2	15
OBSERVACIONES:																			
L.L. : Límite Líquido I.P. : Índice Plástico I.G. : Índice de Grupo N.P. : Suelo No Plástico																			

Fuente: Alcaldía Municipal de Condega - Alfonso Jerez F. (INGENICA-2016).

Tabla -50: Resumen de Sondeos realizados a lo largo del Tramo (SM-4, SM-5, SM-6, SM-7).

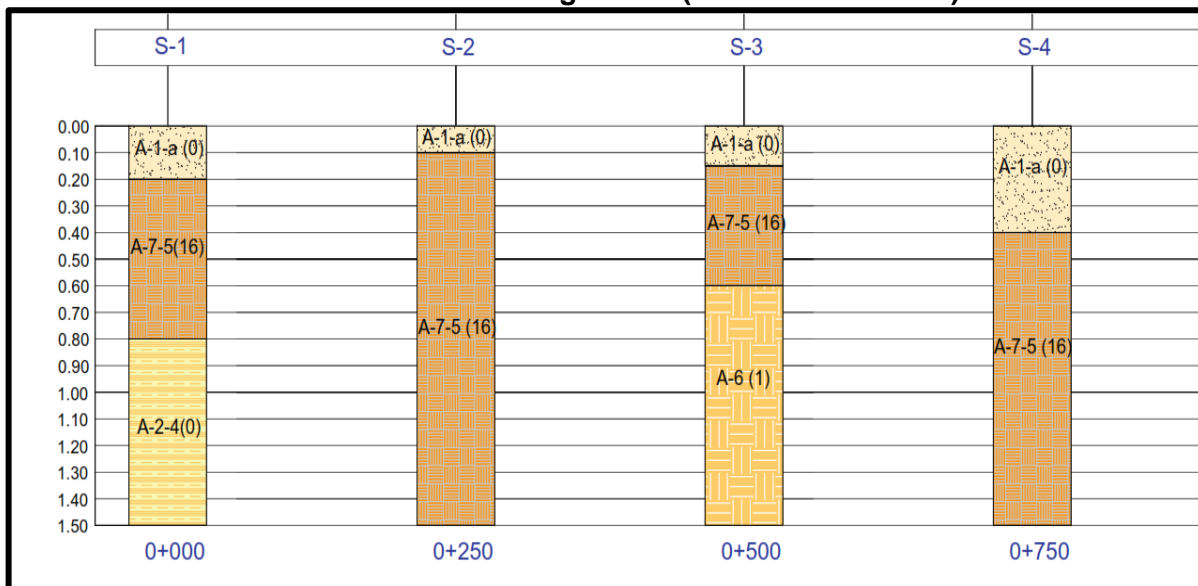
SONDEOS DEL TRAMO GUANACASTE - DUCUALE - CONDEGA.																			
Sondeo N°	Muestra N°	Profundidad (metros)	% Que Pasa por el Tamiz										L.L. (%)	I.P. (%)	Clasificación		CBR a Compactación		
			2"	1 ½"	1"	¾"	½ "	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200			SUCS	AASHTO	90%	95%	100%
Sm - 4; Estación 0+750, banda derecha.																			
Sm - 4	1	0.00-0.40			100	84	72	65	45	34	21	13	--	NP	GW	A-1-a (0)	43.2	62.5	74.8
	2	0.40-1.50							100	100	99	96	58	22	CH	A-7-5(16)	4.5	7.6	8.5
Sm - 5; Estación 1+000, banda derecha.																			
Sm - 5	1	0.00-0.28			100	84	72	65	45	34	21	13	--	NP	GM	A-1-a (0)	41.2	62.3	74.8
	2	0.28-1.50							100	100	99	96	58	22	CH	A-7-5(16)	4.5	7.6	8.6
Sm - 6; Estación 1+250, banda izquierda.																			
Sm - 6	1	0.00-0.30			100	84	72	65	45	34	21	13	--	NP	GW	A-1-a (0)	41.2	62.3	74.8
	2	0.30-0.90							73	65	39	27	26	9	SC	A-2-4 (0)	16.3	38.2	48.3
			-	MATERIAL ROCOSO															
Sm - 7; Estación 1 + 500, banda derecha.																			
Sm - 7	1	0.00-0.18			100	84	72	65	45	34	21	13	--	NP	GM	A-1-a (0)	43.2	62.5	74.8
	2	0.18-0.85							86	52	30	29	29	10	SC	A-2-4 (0)	13.8	24.3	36.7
	3	0.85-1.50							100	100	99	96	58	22	CH	A-7-5(16)	4.5	7.6	8.5
OBSERVACIONES:																			
L.L. : Límite Líquido I.P. : Índice Plástico I.G. : Índice de Grupo N.P. : Suelo No Plástico																			

Fuente: Alcaldía Municipal de Condega - Alfonso Jerez F. (INGENICA-2016).

5.3.3. Estratigrafía del Terreno.

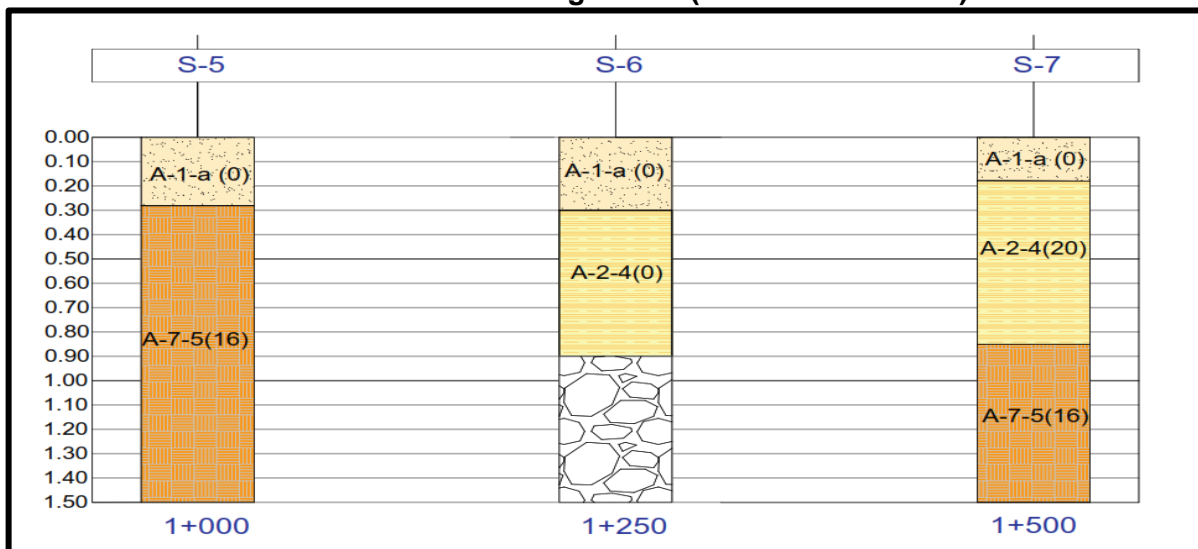
Finalmente se realizó un perfil estratigráfico para detallar los tipos de suelos y su profundidad, en base al trabajo de campo y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio suministrados por la Alcaldía Municipal de Condega.

Gráfico- 9: Perfiles Estratigráficos (Est. 0+000 a 0+750).



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Gráfico- 10: Perfiles Estratigráficos (Est. 1+000 a 1+500).



Elaborado por Sustentantes.

5.3.4. Evaluación de la carpeta de Rodamiento existente.

A lo largo del tramo se identificó que la carpeta de rodamiento cuenta con espesores de 10 centímetros mínimo y máximo de 40 centímetros de espesor, manteniendo un promedio de 23 centímetros, donde los suelos que predominan en todo el tramo son los **A-1-a (GW)** según el sistema unificado de clasificación de suelos **SUCS** y del grupo A-1 de la AASHTO. (Ver Anexos Tabla 83 y 84, pág. XVII, XVIII)

Tabla- 51: Carpeta de Rodamiento Existente y profundidad de Subrasante.

Sondeo No.	Espesor	Clasificación AASHTO de suelos.	% DE C.B.R. ASTM D 1883-07		
			90%	95%	100%
S1-0+000	20 cm	A-1-a (0)	43.2	62.5	74.8
S2-0+250	10 cm	A-1-a (0)	43.2	62.5	74.8
S3-0+500	15 cm	A-1-a (0)	41.2	62.3	74.8
S4-0+750	40 cm	A-1-a (0)	43.2	62.5	74.8
S5-1+000	28 cm	A-1-a (0)	41.2	62.3	74.8
S6-1+250	30 cm	A-1-a (0)	41.2	62.3	74.8
S7-1+500	18 cm	A-1-a (0)	43.2	62.5	74.8

Fuente: Sustentantes.

5.3.5. Evaluación de la Subrasante.

La obtención del Módulo de Resiliencia se obtuvo en base a pruebas de laboratorio, realizadas por Alfonso Jerez F. (INGENICA-2016) en materiales a utilizar en la carpeta de subrasante (Ensayo AASHTO-T-274), con muestras representativas de esfuerzo.

Respecto a la determinación del CBR y selección de este parámetro para el diseño a continuación se indican algunos comentarios:

- CBR de laboratorio: Los datos de CBR que se utilizan para la determinación del CBR de diseño provienen de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelos y materiales granulares existentes, que se encontraron durante la ejecución de los sondeos de línea.

Sin embargo, las condiciones de laboratorio y valores de CBR obtenidos podrían tener limitaciones en cuanto a su representatividad respecto a las condiciones naturales del material en sitio, sobre todo si las capas de material existente se van a conservar en su condición actual o serán removidas y compactadas en un espesor parcial determinado, según las recomendaciones constructivas y niveles de subrasante. Por esta razón es una buena práctica realizar pruebas de CBR en sitio cuando se ejecutan sondeos de línea para determinar la capacidad de soporte del material bajo condiciones de consolidación y humedad natural para compararlas con los resultados de laboratorio.

A partir de la información disponible en planos donde se nos muestran las diferentes profundidades de subrasante con respecto al terreno existente, nos queda claro que los valores de CBR a utilizar entre la estación 0+000 hasta la estación 0+500, serán de los suelos subyacentes a la carpeta de rodamiento, donde el suelo que predomina es el **A-7-5 (16)** según el sistema unificado de clasificación de suelos AASHTO.

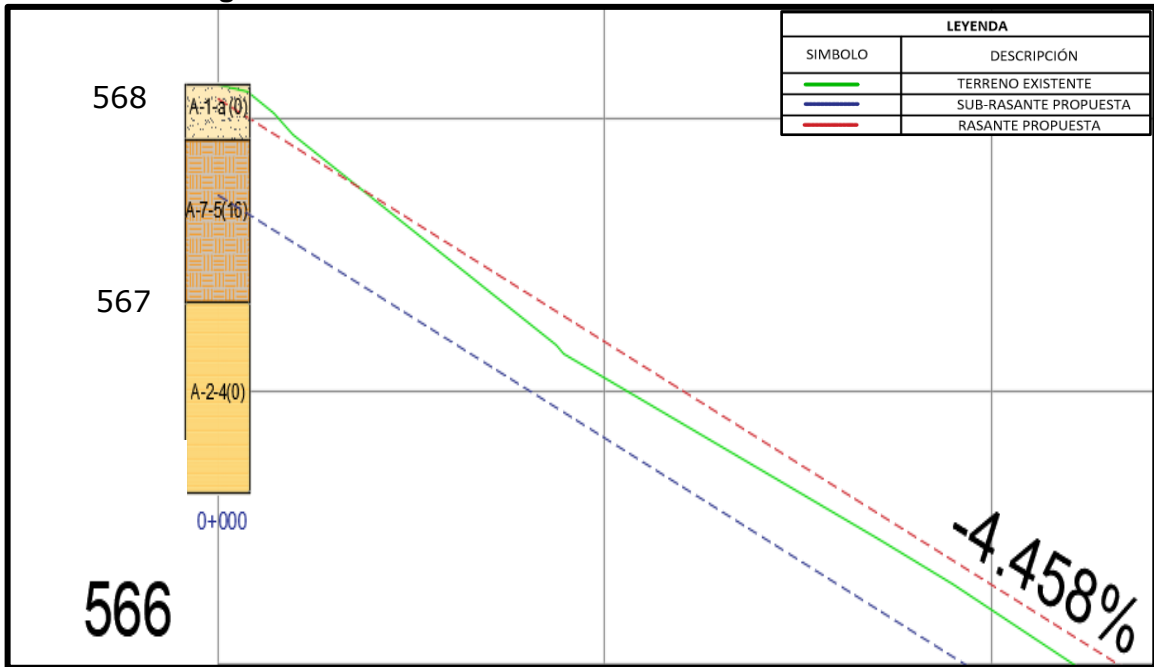
Entre la estación 0+500 hasta la estación 1+500, los valores de CBR a utilizar serán de los suelos de la carpeta de rodamiento y parte de los suelos subyacentes, donde el suelo que destacan son el **A-1-a (0)**, **A-2-4 (0)** y **A-7-5 (16)** según el sistema unificado de clasificación de suelos AASHTO.

Tabla- 52: Profundidad de Subrasante y suelos a Utilizar.

Sondeo No.	Profundidad de subrasante	Clasificación AASHTO de suelos por debajo de la línea de subrasante
S1-0+000	40 cm	A-7-5 (16)
S2-0+250	35 cm	A-7-5 (16)
S3-0+500	35 cm	A-7-5 (16)
S4-0+750	20 cm	A-1-a (0), A-7-5(16)
S5-1+000	23 cm	A-1-a (0), A-7-5(16)
S6-1+250	20 cm	A-1-a (0),A-2-4 (0)
S7-1+500	68 cm	A-2-4 (0), A-7-5 (16)

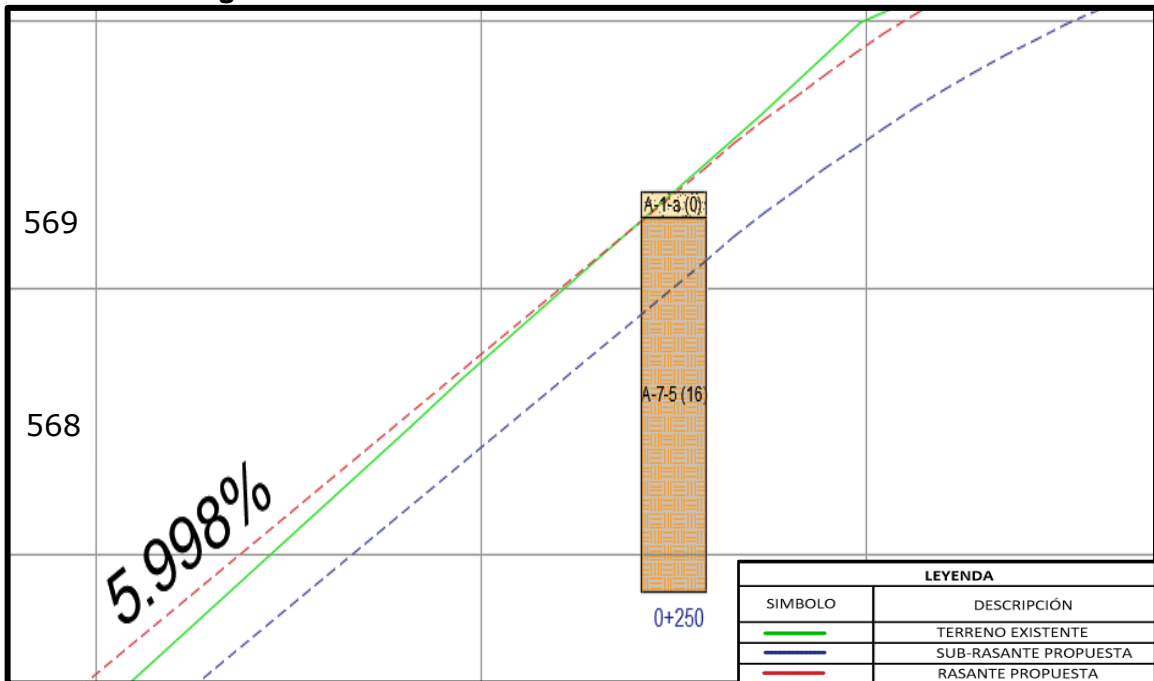
Fuente: Elaborado por Sustentante.

Imagen-8: Profundidad de Subrasante de la estación 0+000.



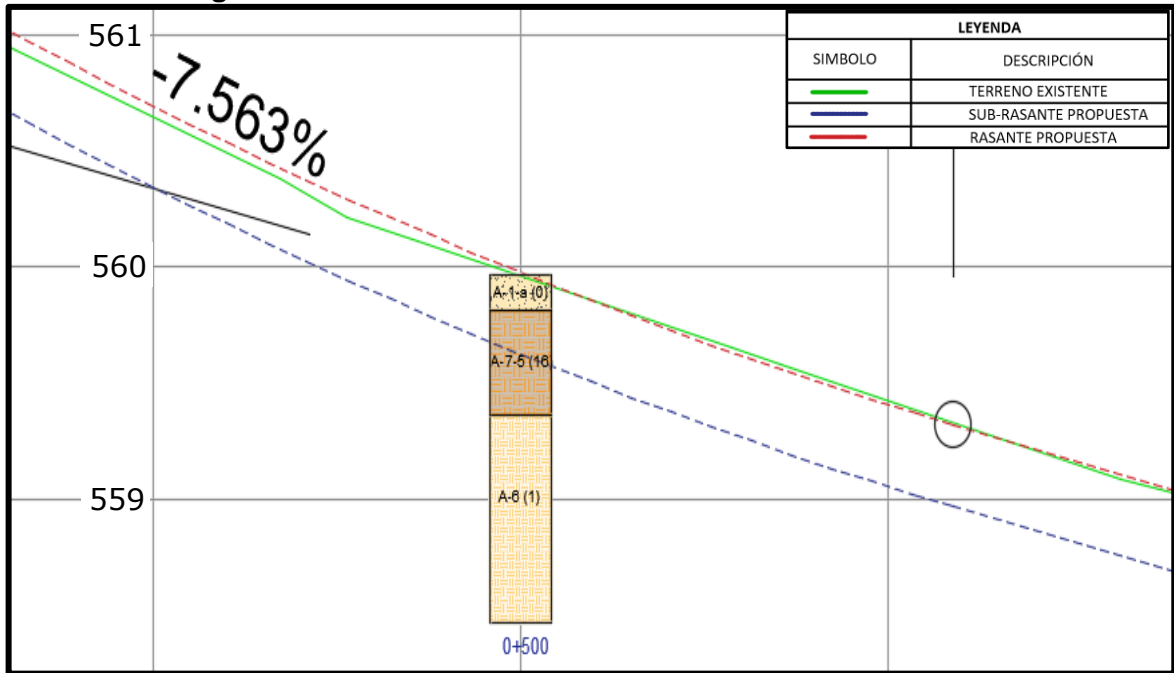
Fuente: Elaborado por Sustentante.

Imagen-9: Profundidad de Subrasante de la estación 0+250.



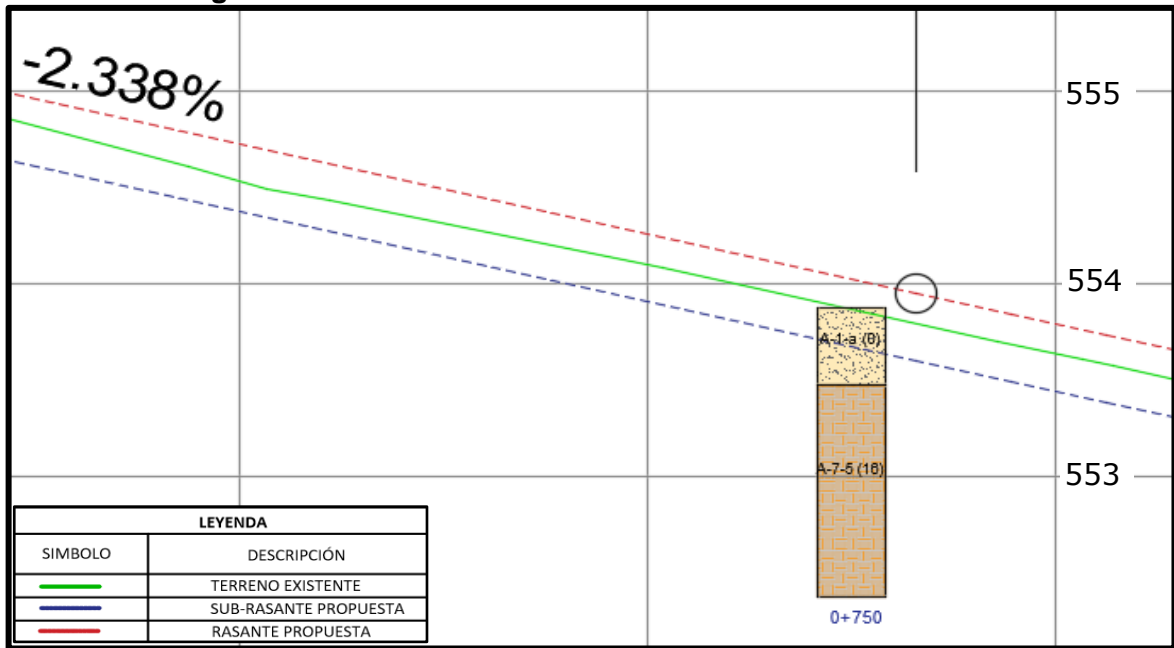
Fuente: Elaborado por Sustentante.

Imagen-10: Profundidad de Subrasante de la estación 0+500.



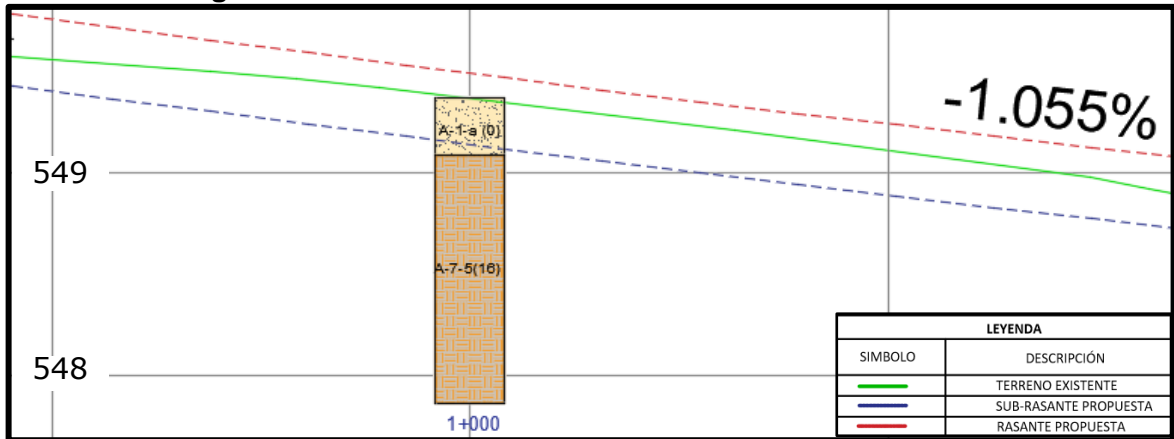
Fuente: Elaborado por Sustentante.

Imagen-11: Profundidad de Subrasante de la estación 0+750.



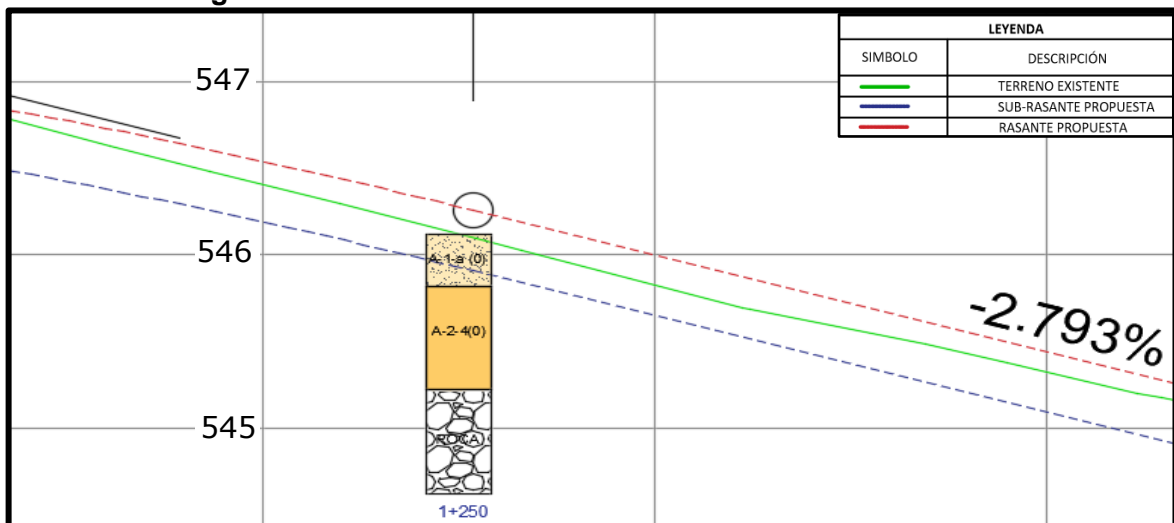
Fuente: Elaborado por Sustentante.

Imagen-12: Profundidad de Subrasante de la estación 1+000.



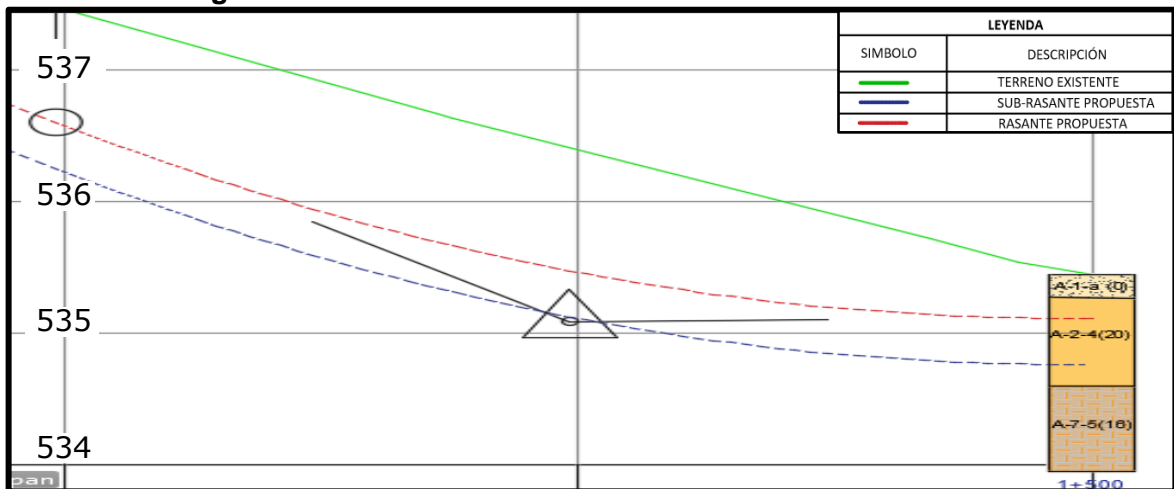
Fuente: Elaborado por Sustentante.

Imagen-13: Profundidad de Subrasante de la estación 1+250.



Fuente: Elaborado por Sustentante.

Imagen-14: Profundidad de Subrasante de la estación 1+500.



Fuente: Elaborado por Sustentante.

5.3.6. Ensayos de Bancos.

Se tomaron 2 de los bancos de material más cercano a la zona, bancos de préstamo material selecto. Los Bancos son de uso conocido en la zona y se encuentran en explotación, por lo que presentan cortes. En la siguiente tabla se plasma nombre y ubicación.

Tabla- 53: Bancos de Préstamo.

Características de los Bancos	Banco 1	Banco 2
Tipo de Tenencia (Pública o Privada)	Privada	Privada
Nombre del Dueño	Jaime Chavarría	David Dávila
Estado de la vía de Acceso al Banco de Materiales (Buena, Regular, Mala)	Bueno	Bueno
Distancia entre el Banco de Materiales y el Proyecto (Km)	8 (carretera hacia Yalí)	17 (carretera hacia Yalí)
¿Está en Explotación?	SI	SI
Tipo de material (m. selecto, arena, bolón)	Material Selecto	Material Selecto
Uso Probable/ Maquinaria a utilizar	Base y Subbase / Retroexcavadora	Subbase / Retroexcavadora
Clasificación	A-1-a (0)	A-2-4 (0)
Altura	20	11
Ancho	52	67
Largo	60	46

Fuente: Alcaldía Municipal de Condega - Alfonso Jerez F. (INGENICA-2016).

El volumen explotable aproximado de los Bancos es el siguiente:

5.3.7. Banco de Préstamo N – 1 Dueño (Jaime Chavarría).

Las dimensiones aproximadas (largo x alto x ancho) del Banco, son de 60x20x52 m, para un Vol.± de 62,4 00 m³. El material de descapote de la roca en las catas 1 y 2, tiene un descapote de 0.7 m de espesor, este banco se encuentra localizado a 8 kilómetros carretera hacia Yalí, posee un material **A-1-a (0)**, su uso probable es para base y subbase.

5.3.8. Banco de Préstamo N – 2 Dueño (David Dávila).

Las dimensiones aproximadas (largo x alto x ancho) del Banco, son de 46x11x67 m, para un Vol.± de 33,902 m³. El descapote tiene un espesor de 0.85 m. este banco se encuentra localizado a 17 kilómetros carretera hacia Yalí, posee un material **A-2-4 (0)**, su uso probable es para subbase.

Los materiales obtenidos de los Bancos de Préstamo, de acuerdo con la exploración realizada y a los ensayos de laboratorio efectuados, presentan de manera resumida las siguientes características:

Tabla- 54: Resultados de Laboratorio de Bancos de Materiales.

BANCOS IDENTIFICADOS PARA EL PROYECTO (DUCUALE GRANDE)															
BANCO No.	DESCRIPCION DEL MATERIAL	GRANULOMETRIA										Límites		Clasificación	
		3"	2"	1"	1/2"	3/4"	3/8"	4	10	40	200	LL	IP	Grupo	CBR al 95%
No. 1 Jaime Chavarría	Grava Bien gradada piedra y arena	100	98	68	61	56	37	33	11	6	4	-	NP	A-1-a(0)	84.6
No. 2 David Davila	Grava Arcillosa con Arena	100	98	76	71	64	60	57	46	28	15	38	9	A-2-4(0)	42
Observaciones: IG=Indice de Grupo LL=Límite Líquido IP=Indice Plástico m = metros km = Kilometros lzq= Izquierda Der= Derecha NP= No Posee															
BANCO No.	DUEÑO	Muestra No.	DESCRIPCION DEL MATERIAL	Clasificación AASHTO		P.V.S. Máximo (kg/m ³)	Humedad %	Valor de CBR (%)							
				Grupo	IG			90%	95%	100%					
Nº 1	Jaime Chavarría	1	Grava Bien graduada piedra y arena	A-1-a	0	2,289	9.5	58	84.6	91					
Nº 2	David Davila	1	Grava pobremente graduada con Arcilla y Arena	A-2-4	0	1,922	13.1	38	42	64					
Observaciones: IG=Indice de Grupo m = metros km = Kilometros lzq= Izquierda Der= Derecha															

Fuente: Alcaldía Municipal de Condega - Alfonso Jerez F. (INGENICA-2016).

5.3.9. Clasificación y descripción del Banco de préstamo N –1.

En el banco de préstamo **Jaime Chavarría**, el material se describe como una Grava bien graduada con fragmentos de piedra y arena. Según la AASHTO su clasificación general es un material de excelente calidad se encuentra entre la clasificación de suelos granulares dentro del grupo **A-1**, el material está clasificado dentro del subgrupo como un suelo **A-1-a (0)** con índice de grupo “cero”, una humedad óptima de 9.5%, su densidad seca es de 2,289 Kg/m³, y su CBR con un Próctor Modificado al 95% de 84.6%. Sus partículas pasan 33% el tamiz N° 4, 11% el tamiz N° 10, 6% el tamiz N° 40 y 4% el tamiz N° 200. **(Ver Tabla 54, pág.86)**

5.3.10. Clasificación y descripción del Banco de préstamo N-2.

En el banco de préstamo **David Dávila**, el material se describe como una grava pobremente graduada con arcilla y arena, Según la AASHTO su clasificación general es un material regular a pobre este se encuentra entre los suelos con fragmentos grava y arena arcillosa **A-2-4 (0)** con índice de grupo “cero”, se encuentre dentro del grupo de suelo **A-2**, este posee una humedad óptima de 13.1%, su densidad seca es de 1, 922Kg/m³ y su CBR con un Próctor Modificado al 95% de 42%. Sus partículas pasan 57% el tamiz N° 4, 46% el tamiz N° 10, 28% el tamiz N° 40 y 15% el tamiz N° 200. **(Ver Tabla 54, pág.86)**

5.3.11. Análisis de Bancos de préstamos.

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

Tabla- 55: Especificaciones de Materiales para Base Granular.

Propiedad	Especificación	Metodología
Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
Índice Plástico	10% máx.	AASHTO-90
CBR	80% min.	AASHTO-193
Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
Compactación	95% Próctor Modificado	AASHTO-191

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

De acuerdo a la **Tabla- 55 (Criterio de la Nic 2000)** el banco de préstamo N°1 **Jaime Chavarría** se puede utilizar como fuente de material para la capa base, debido a que su CBR (**84.6%**) es mayor al mínimo requerido (80%), Este banco de material no posee limite liquido ni índice plástico ya que se trata de un material A-1-a (0), el ensayo desgaste de los ángeles realizado resulto de 48% y el ensaye de Intemperismo acelerado tuvo un resultado de 11%. **(Ver Anexos (Tablas 85), pág. XIX)**

El material de **subbase** deberá ser seleccionado y tener mayor valor de soporte (C.B.R) que el material de subrasante y su espesor serán variable según las condiciones y debe de cumplir con los requisitos propuestos por las normas NIC. 2000:

Tabla- 56: Especificaciones de Materiales para Sub-base Granular.

Propiedad	Especificación	Metodología
Límite Líquido	25% máx.	AASHTO-89
Índice Plástico	10% máx.	AASHTO-90
CBR	40% min.	AASHTO-193
Desgaste de los Ángeles	50% máx.	AASHTO-96
Intemperismo Acelerado	12% máx.	AASHTO-104
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)

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

De acuerdo a la **Tabla-56 (Criterio de la Nic 2000)** el banco de préstamo N°2 **David Dávila**, puede ser utilizado como fuente de material para la capa subbase, debido a que su CBR (**42%**) es mayor a 40%, que es el mínimo permitido por la Nic 2000, su índice de plasticidad se ajusta con un 9%, el ensayo desgaste de los ángeles realizado en los fragmentos rocosos resulto de 39% y el ensaye de Intemperismo acelerado tuvo un resultado de 8%. **(Ver Anexos (Tablas 86), pág. XX)**

Es necesario ver si los bancos se ajustan a las condiciones mínimas granulometría y resistencia (CBR), establecidas en la sección II del Artículo– 1003.23 de la NIC– 2000, en donde se plantean los requisitos que debe cumplir un material utilizado como base granular, después de colocado y compactado, **(Ver Anexos (Tablas – (87-90,) Pág. XXI, XXII)**

5.4. CBR de Diseño.

Es necesario recordar que el Ensayo CBR (California Bearing Ratio): mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) en 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. La ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el número T-193.

La Sub– rasante es la capa de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no sea afectada por las cargas de diseño que corresponde al tránsito previsto. En nuestro caso se tomó de acuerdo al diseño geométrico propuesto en plano, mediante la línea de subrasante.

Tabla-57: Especificaciones para terraplenes y materiales para sub– rasante.

Propiedad	Terraplenes	Capa	Sub-rasante	Metodología
% de malla Nº 200	40 % Max		30 % Max	AASHTO-11
Limite Liquido	40 % Max		30 % Max	AASHTO-89
Índice Plástico	15 % Max		10 % Max	AASHTO-90
CBR	10 % Min		20 % Max	AASHTO-193
Compactación	Próctor modificado (AASHTO-9)	95 %Min Del peso volumétrico seco Max obtenido por medio de la prueba Próctor modificado (AASHTO-T-180)		ASHTO T-191 y/0 T238 (in situ)

Fuente: Especificaciones generales NIC– 2000.

Aplicando el criterio expuesto por el Instituto del Asfalto para la determinación del valor del CBR de Diseño, el cual recomienda tomar un valor adecuado ya sea de **60%, 75% o el 87.5%**, de los valores individuales obtenidos sean iguales o mayores que él de acuerdo con el tránsito que se espera que circule por el pavimento, como se muestra en la **Tabla-58:**

Tabla- 58: 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 ESAL's	75
> de 1,000,000 ESAL's	87.5

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

Se eligió el percentil de Diseño **75.00 %** ya que el **ESAL's** es de **407,227.00** como se presenta el capítulo II de tránsito.

En la siguiente **Tabla-59** se muestra el cálculo del CBR de la sub- rasante

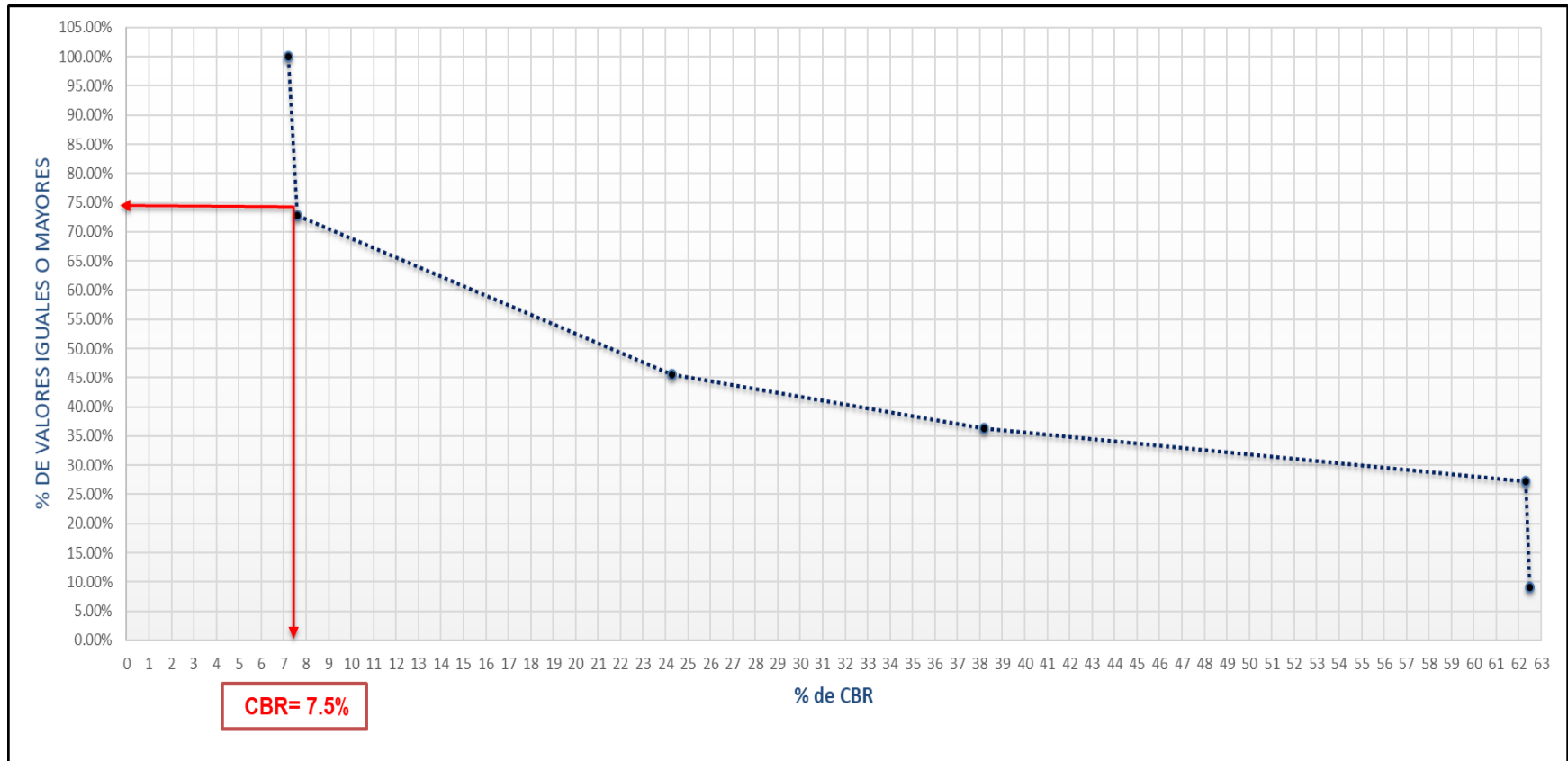
Tabla- 59: Valores para determinar CBR de Diseño.

CLASIFICACIÓN	CBR	CANTIDAD DE VALORES IGUALES O MAYORES	Frecuencia	%
AASHTO	95%			
A-7-5	7.2	3	11	100%
A-7-5	7.6	3	8	73%
A-2-4	24.3	1	5	45%
A-2-4	38.2	1	4	36%
A-1-a	62.3	2	3	27%
A-1-a	62.5	1	1	9%

Total de Valores utilizados= 11 de 17 muestras Totales extraídas a lo largo de los 1.5 Kilómetros del tramo.

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Gráfico- 11: CBR de Diseño.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Se puede demostrar en el gráfico el resultado del CBR de diseño para la sub-rasante fue de **7.5 %**. Se asume que este porcentaje se establece como una muestra representativa de los valores de CBR encontrados en los sondeos de línea.

CAPÍTULO VI

DISEÑO DE PAVIMENTO.

6.1. Generalidades.

En este capítulo se presenta el diseño de una estructura de pavimento articulado (adoquinado) por el método de la AASHTO 93 que es uno de los métodos que más se emplea en Centroamérica para el diseño de estructuras de pavimento; este método también es aplicable en el diseño de carreteras cuya superficie de rodadura está constituida por pavimento asfáltico.

6.2. Consideraciones del Diseño AASHTO– 93.

Para el Diseño de la Estructura de Pavimento articulado se deben de tener en cuenta las siguientes variables:

6.2.1. Confiabilidad (R).

Función de la Confiabilidad del diseño o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

Es un factor de seguridad que se emplea en el diseño de un pavimento, depende de diversos factores, entre ellos la calidad del estudio de tránsito realizado, la calidad de los materiales, calidad de los estudios de muestreos de suelos y calidad del trabajo de construcción, lo que nos guiará a clasificar de manera funcional la carretera y a la vez el nivel de confiabilidad que presentará esta vía.

Tabla- 60: Niveles de confiabilidad.

Clasificación de la vía.	Niveles Recomendados Confiabilidad (R)	
	Zona Urbana	Zona Rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO 93.

Se tomó un valor de confiabilidad de **R=80%** considerando que nuestra vía tiene una clasificación funcional del tipo **Colectora Rural**.

6.2.2. Desviación Estándar (So).

Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.

Tabla- 61: Desviación Estándar.

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

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.

Se tomó un valor de Desviación Estándar de **So=0.45** considerando que es una construcción nueva de pavimento articulado.

6.2.3. Coeficiente de Drenaje (m).

El drenaje, es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil, y por lo tanto lo es también en el diseño del mismo los coeficientes se muestran en la tabla.

Tabla- 62: Coeficientes de Drenaje.

Calidad de drenaje	% de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos 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 – 0.70	0.40

Fuente: Manual AASHTO– 93 Design Requirements.

En este caso se considera un **m=1.00**, dado que se asume una buena capacidad para drenar el agua de la vía en cada una de las capas que conforman el pavimento.

6.2.4. Cálculo del CBR de Diseño.

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 sub- rasantes bajo el pavimento de carreteras, la ASTM denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y esta normado con el número ASTM D 1883- 73 y en la AASHTO con el número T- 193.

En el capítulo V se realizó el cálculo del CBR de diseño, en el **gráfico-11, pág. 91**, donde el CBR la sub- rasante es de **7.5%** utilizando un percentil de **75%**.

6.2.5. Módulo de Resiliencia (MR).

La base para la caracterización de los materiales de sub- rasante en este método es el Módulo Resiliente, el cual es una medida de la propiedad elástica de los suelos y se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición, por lo tanto, se han establecido correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR tomando en cuenta el valor del CBR, utilizaremos la siguiente ecuación para calcular el Módulo de Resiliencia de la Sub- rasante:

Tabla- 63: Correlaciones para cálculo de Modulo de Resiliencia.

Valor de CBR	Consideración
CBR < 10 %	MR= 1500 x CBR Ec. 40.
CBR > 10%	MR= 4,236 x ln (CBR)+ 241 Ec. 41.

Fuente: Manual de diseño de Pavimentos AASHTO 1993.

En este caso como se obtuvo un CBR de diseño para la subrasante de **7.5 %**, utilizaremos el primer criterio para calcular el módulo resiliente de la sub rasante, por tanto:

$$\mathbf{MR = 1,500 * CBR} \quad (\text{Ec.40})$$

$$\mathbf{MR = 1,500 * 7.5\%}$$

$$\mathbf{MR = 11,250 Psi}$$

6.2.6. Coeficientes de capa.

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

a_1 : Para la carpeta de rodamiento.....se utiliza (Adoquín).

a_2 : Para la base granular. (Banco de préstamo Jaime Chavarría)

a_3 : Para la sub- base... (Banco de préstamo David Dávila)

6.2.6.1. Coeficiente Estructural (a_1).

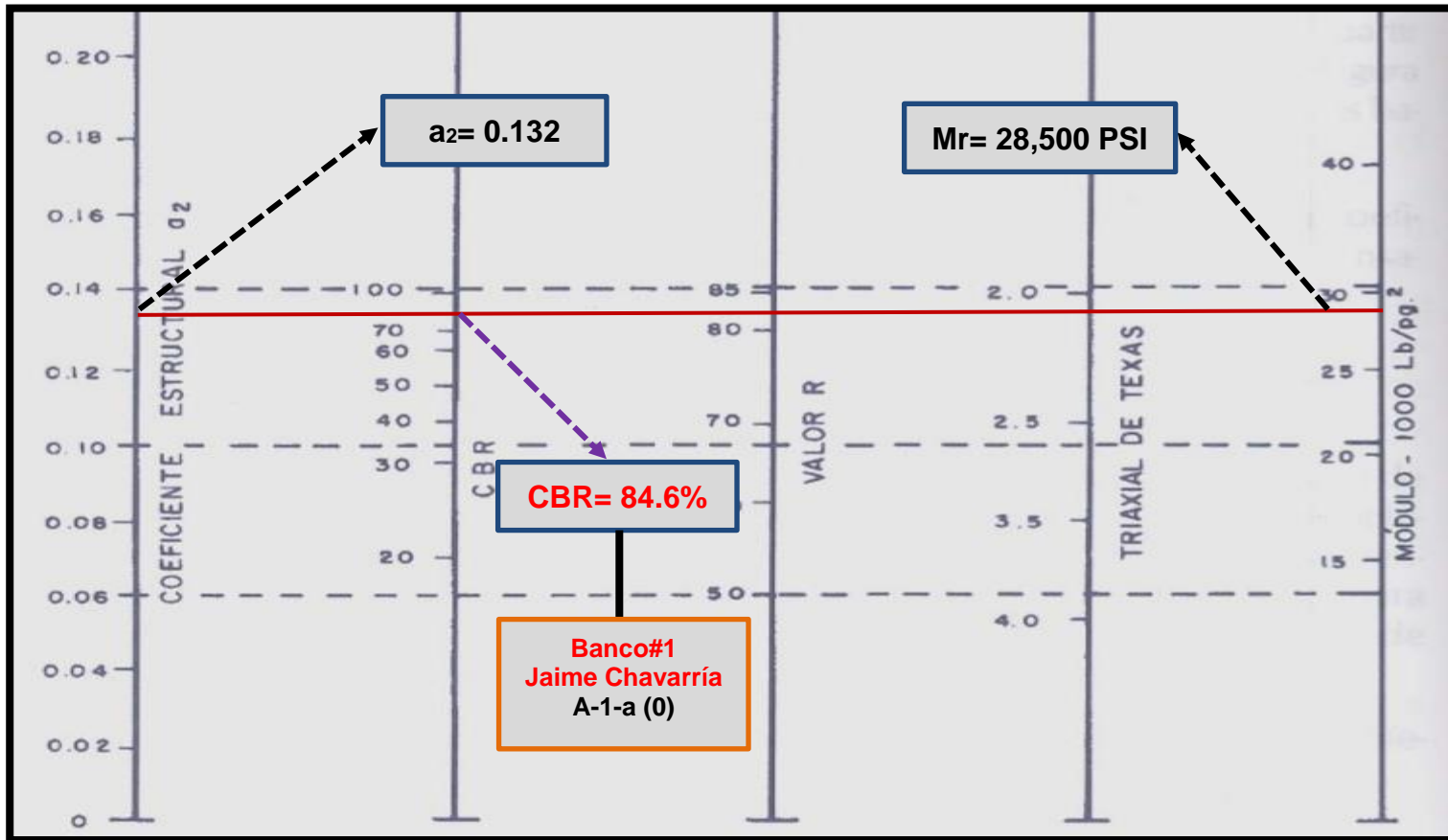
Se considera el coeficiente de $a_1 = 0.45$ cuando se utiliza adoquín como carpeta de rodamiento, valor tomado del Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos, Capítulo 7, Diseño de espesores con adoquín, Método AASHTO, página 107.

6.2.6.2. Coeficientes Estructurales para base (a_2) y para Subbase (a_3).

La determinación del coeficiente estructural a_2 y a_3 se realizó en base a la aplicación del nomograma para base y subbase granular no tratada proporcionado por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993). El valor utilizado para el cálculo a_2 es el del Banco de Préstamo **N#1 (Jaime Chavarría)** que corresponde a un CBR de **84.6%**, de acuerdo al **gráfico-12, pág. 96** en la línea trazada del nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de $a_2 = 0.132$ y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **$M_r = 28,500$ PSI.**

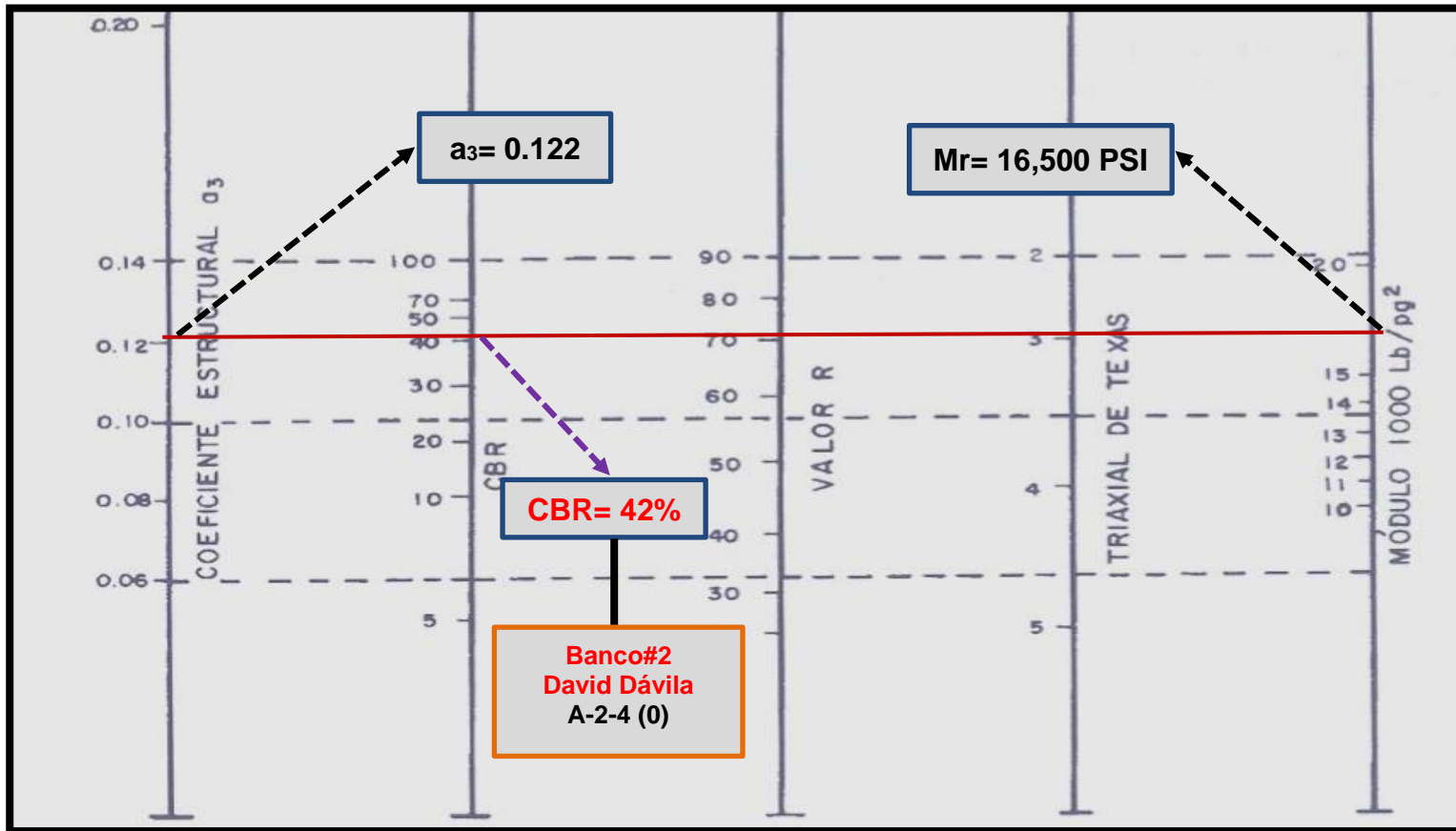
Para el coeficiente estructural a_3 se utilizó el CBR del Banco de Préstamo **N#2 (David Dávila)** que es de **42%** de acuerdo con el **gráfico-13, pág. 97** en la línea trazada del nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de $a_3 = 0.122$ y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **$M_r = 16,500$ PSI.**

Grafico- 12: Calculo del coeficiente estructural (a_2) para bases granulares no-tratadas.



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

Grafico- 13: Calculo del Coeficiente Estructural (a_3) para Subbases Granulares no-tratadas.



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

6.2.7. Números Estructurales.

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

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

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \quad (\text{Ec. 42})$$

Dónde:

D₁= espesores del Adoquín (pulgadas).

D₂ = espesores de la capa base en (pulgadas).

D₃= espesores de la capa sub- base (pulgadas).

a₁= coeficiente estructural de capa Adoquín, dependiente de su módulo.

a₂ = coeficiente estructural de capa Base, dependiente de su módulo.

a₃= coeficiente estructural de capa Sub-base, dependiente de su módulo.

m₁, m₂, m₃= coeficientes de drenaje para capas no estabilizadas, dependiente del tiempo requerido para drenar y del tiempo en que la humedad se encuentre en niveles cercanos a la saturación.

6.2.7.1. Número Estructural (SN₁).

El Número Estructural (**SN₁**) para la carpeta de rodamiento, debido que utilizará adoquín el espesor será de D₁= 4 pulgadas y Coeficiente de capa (a₁) para adoquín ya está dado, es de 0.45.

Para el cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

SOLUCION: $SN_1^* = a_1 * D_1$ (Ec.43)

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

$$SN_1^* = 1.8$$

Dónde:

a₁= coeficiente estructural del adoquín.

D₁ = espesor del Adoquín (pulgadas).

6. 2. 7. 2. Números Estructurales (SN₂) y (SN₃).

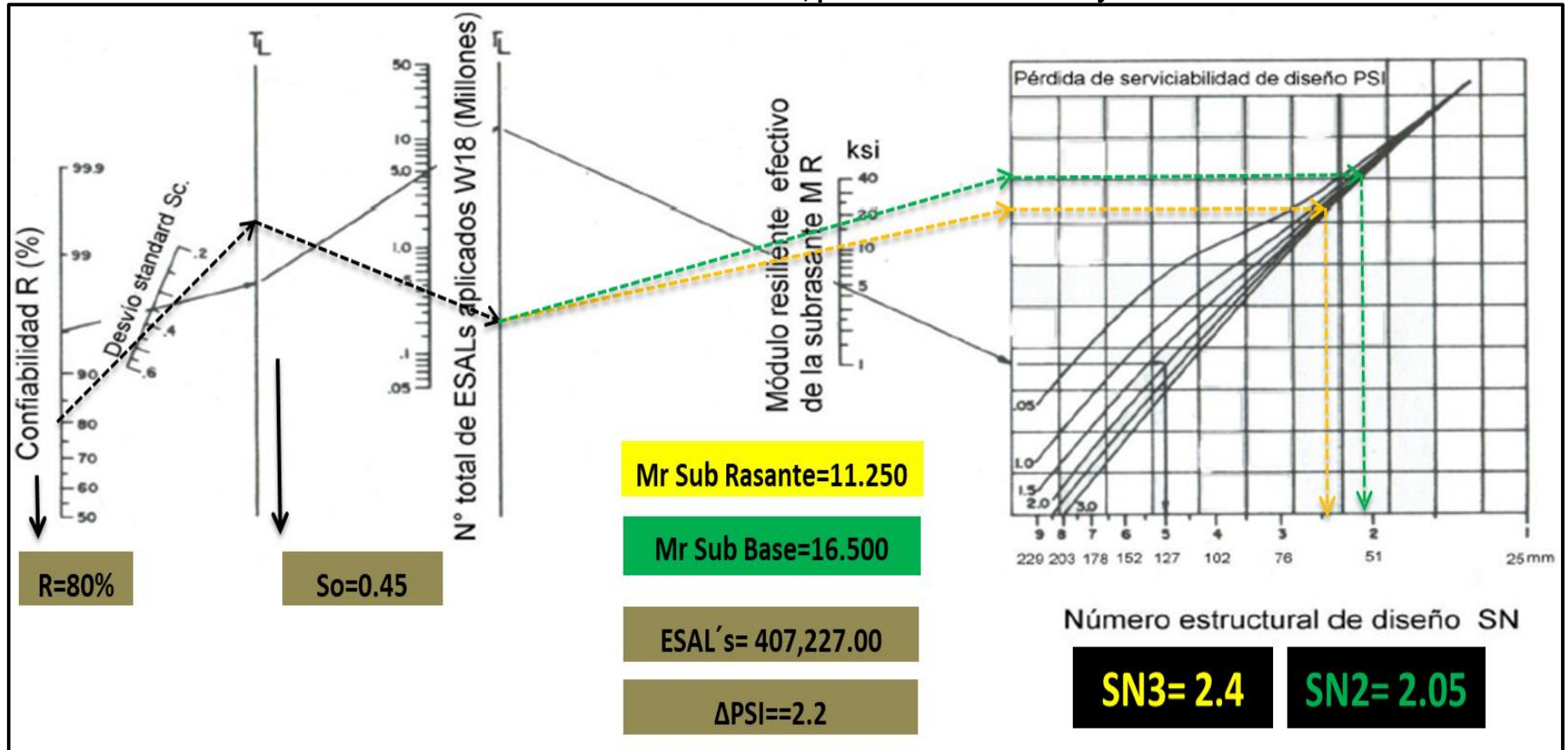
Para el cálculo del Numero Estructural (**SN₂**), eso se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993 Pág. 3-40), obteniendo un **SN₂=2.05**. El resultado se muestra en el **Gráfico-14, Pág. 100**.

Para el cálculo del Numero Estructural (**SN₃**) es necesario, para eso se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO 1993 Pág. 3-40), obteniendo un **SN₃=2.40**. El resultado se muestra en el **Gráfico-14, Pág. 100**.

En el Ábaco de Diseño los factores de diseño que participan (variables independientes) son los siguientes:

1. La confiabilidad en el diseño (**R= 80%**)
2. La desviación estándar del sistema (**So=0.45**)
3. Cargas equivalentes en el período de diseño (**Wt18= 407,227.00**)
4. El valor del Módulo Resiliente del material de subrasante (**MR=11.250 Ksi**)
5. El valor del Módulo Resiliente del material de subbase (**MR=16.500 Ksi**)
6. La pérdida de serviciabilidad en el período de diseño (**ΔPSI=2.2**)

Grafico- 14: Ábaco de Diseño AASHTO, para el Cálculo de SN2 y SN3.



Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93 Pág. 3-40.

6.2.8. Cálculo del espesor de la base (D₂) y Subbase (D₃).

Teniendo en cuenta que ya se conoce el valor de **SN₁** y **SN₂**, entonces el valor del espesor de la base se obtiene en el siguiente **procedimiento #1**:

$$D_2 = \frac{(SN_2 - SN_1)}{a_2 * m_2} \quad (\text{Ec. 44})$$

$$D_2 = \frac{(2.05 - 1.8)}{0.132 * 1.00}$$

D₂ = 1.89 pulgadas “No Cumple con Espesor Sugerido”

Tabla- 64: Espesores Mínimos Sugeridos por Capa.

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

Fuente: Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO 1993, pág. 3-46.

Se corrige el número estructural (SN₂), utilizando D₂= 4.00 pulgadas.

$$SN_2^* = a_2 * D_2 * m_2 \quad (\text{Ec. 45})$$

$$SN_2^* = (0.132) * (4.00) * (1.00)$$

$$SN_2^* = 0.528$$

Teniendo en cuenta que el valor de **SN₃** resultante fue de **2.40**, entonces el valor del espesor de la Sub-base se obtiene de la siguiente manera:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_3} \quad (\text{Ec. 46})$$

$$D_3 = \frac{2.40 - (0.528 + 1.8)}{0.122 * 1.00}$$

D₃ = 0.59 pulgadas “No Cumple con Espesor Sugerido”

Se corrige el número estructural (SN₃), utilizando D₃= 4.00 pulgadas, espesor mínimo requerido según la tabla de espesores mínimos sugeridos para subbase.

$$SN_3^* = a_3 * D_3 * m_3 \quad (\text{Ec. 47})$$

$$SN_3^* = (0.122) * (4.00) * (1.00)$$

$$SN_3^* = 0.488$$

Los criterios de la AASHTO 93, indican que, si el resultado del espesor para la subbase posee un valor negativo, este no necesita dicha capa.

Comprobación.

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN \text{ Requerido} \quad (\text{Ec. 48})$$

$$1.8 + 0.528 + 0.488 \geq 2.40$$

$$2.82 \geq 2.40 \quad \text{CUMPLE ok!}$$

Nota:

El resultado de la Base es de **1.89 pulgadas** y de subbase es de **0.59 pulgadas**, ninguna de las dimensiones cumple con los espesores mínimos sugeridos de la AASHTO-93, por lo cual se propuso utilizar **4 pulgadas** para cada una de las dimensiones calculadas cumpliendo con el criterio de los espesores mínimos en base al número de ejes equivalente en el carril de diseño, sin embargo, al realizar la comprobación este queda con un sobre diseño alto por lo que se decidió realizar nuevamente el cálculo y compensar la base con 2 pulgadas más de **4" a 6" pulgadas** y de esta manera no utilizar la capa subbase con el espesor mínimo sugerido ya que estaríamos encareciendo la estructura de pavimento articulado.

A continuación, se muestra el **procedimiento #2** a seguir:

$$D_2 = \frac{(SN_3 - SN_1)}{a_2 * m_2} \quad (\text{Ec. 44})$$

$$D_2 = \frac{(2.40 - 1.8)}{0.132 * 1.00}$$

$$D_2 = 4.55'' \quad \text{optar a 6 pulgadas}$$

Se corrige el número estructural (SN₂), utilizando D₂= 6.00 pulgadas.

$$SN_2^* = a_2 * D_2 * m_2 \quad (\text{Ec. 45})$$

$$SN_2^* = (0.132) * (6.00) * (1.00)$$

$$SN_2^* = 0.792$$

Teniendo en cuenta que el valor de **SN₃** resultante fue de **2.40**, entonces el valor del espesor de la Sub-base se obtiene de la siguiente manera:

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 * m_3} \quad (\text{Ec. 46})$$

$$D_3 = \frac{2.40 - (0.792 + 1.8)}{0.122 * 1.00}$$

$$D_3 = -1.57 \text{ pulgadas}$$

El valor resultante del cálculo de la subbase da negativo por lo que no necesita dicha capa, ya que se compenso la base con 2 pulgadas más sobre el espesor mínimo sugerido por la AASHTO-93 de **4" a 6" pulgadas**. Se debe conocer que cuando el espesor de la base da negativo el valor del número estructural SN₃ es cero. **Ver a continuación**

Comprobación.

$$SN_1^* + SN_2^* + SN_3^* \geq SN \text{ Requerido} \quad (\text{Ec. 48})$$

$$1.8 + 0.792 + 0 \geq 2.40$$

$$2.59 \geq 2.40 \quad \text{CUMPLE ok!}$$

Al realizar la comprobación de los números estructurales (SN₁, SN₂, SN₃), resulta mayor al requerido por lo cual cumple.

6.2.9. Resultados Finales.

Este proyecto contemplará el **procedimiento #2** para la construcción de la estructura de pavimento ya que disminuirá los costos de construcción al solo utilizar una base de **6" pulgadas** y no 8" pulgadas según el **procedimiento #1**. En base al análisis y a los resultados obtenidos en el segundo proceso, la estructura de pavimento articulado del tramo en análisis queda de la siguiente manera.

Tabla- 65: Espesores de Diseño.

CAPA	ESPESOR
Carpeta de Rodamiento (Adoquín)	4 pulgadas
Cama de Arena	2 pulgadas
Base granular (Banco Jaime Chavarría)	6 pulgadas
ESPESOR TOTAL	10 pulgadas

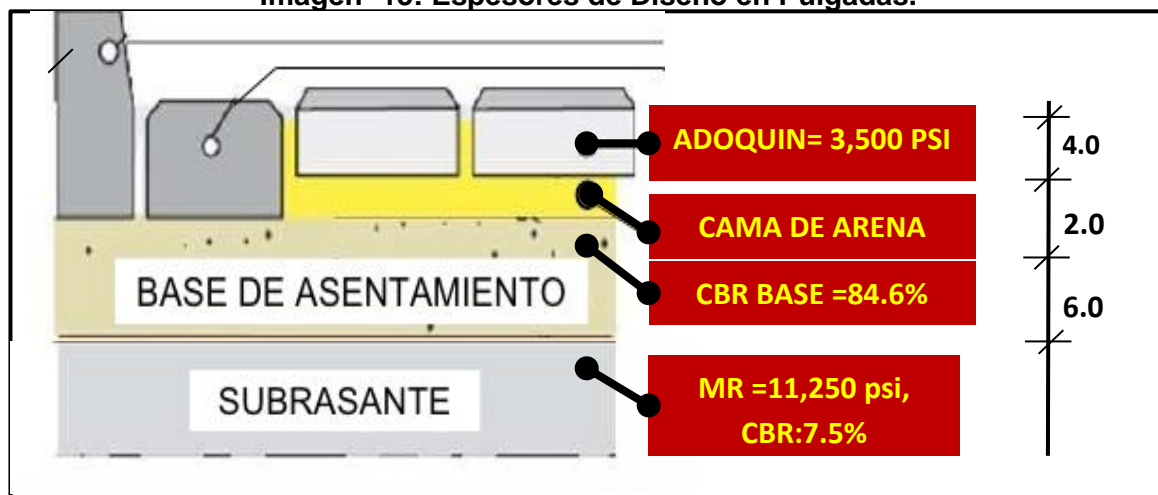
Fuente: Elaborado por Sustentantes.

Nota: La Arena: no es tomado en cuenta en la suma total del espesor requerido, ya que esta no aporta ninguna función estructural. Sin embargo, esta tiene tres funciones:

- 1) De soporte para los adoquines.
- 2) Amarre entre adoquines.
- 3) Como filtro para el agua que logre penetrar entre las juntas.

A continuación, se presenta los resultados del paquete estructural diseñado:

Imagen- 15: Espesores de Diseño en Pulgadas.



Fuente: Elaborado por Sustentantes.

6.3. Uso del programa WinPAS.

Para verificar lo realizado anteriormente se procede a hacer uso del programa WinPAS (Pavement Analysis Software, versión 1.0.4), para el cual se necesitan los datos siguientes:

Tabla-66: Datos de Diseño.

Datos Para Utilizar en WinPAS.	
Confiability (R)	80%
Desviación Estándar (So)	0.45
Capacidad de Servicio Inicial (Po)	4.2
Capacidad de Servicio Final (Pt)	2.0
Número de Ejes Equivalentes (ESAL's)	407,227.00
C.B.R. de Diseño	7.5%
Módulo Resiliente Sub-rasante (MR)	11,250 PSI
Coefficientes Estructurales (a ₁ , a ₂ , a ₃)	0.45, 0.132, 0.122
Espesores de Diseño en pulgadas (D ₁ , D ₂)	4.00, 6.00
Coefficientes de Drenaje (m ₂)	1.00

Fuente: Elaborado por Sustentantes.

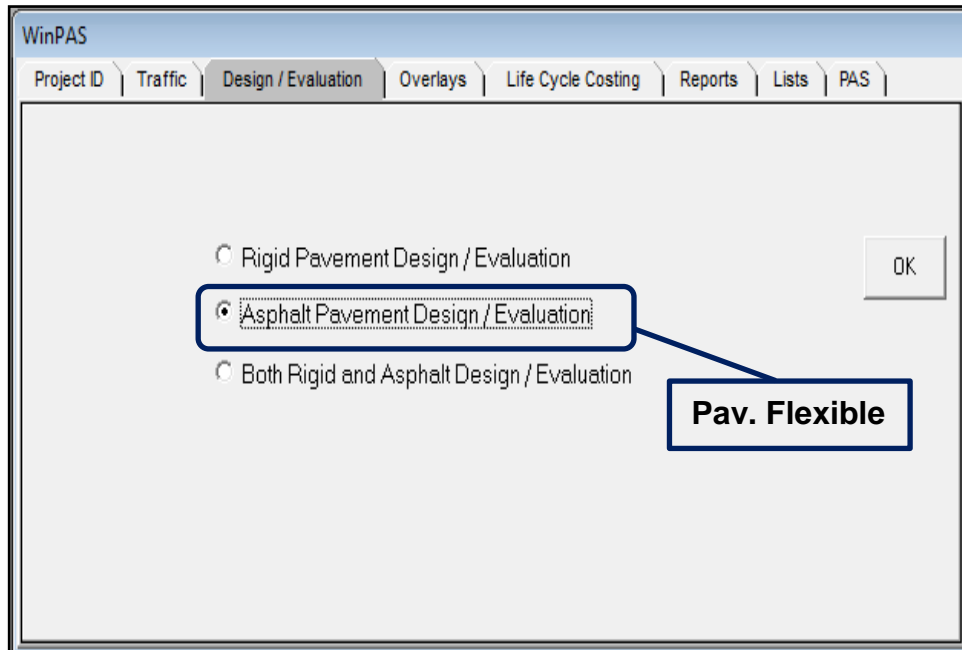
6.3.1. Software de Diseño WinPAS.

Imagen- 16: Interfaz del programa (Paso-1).



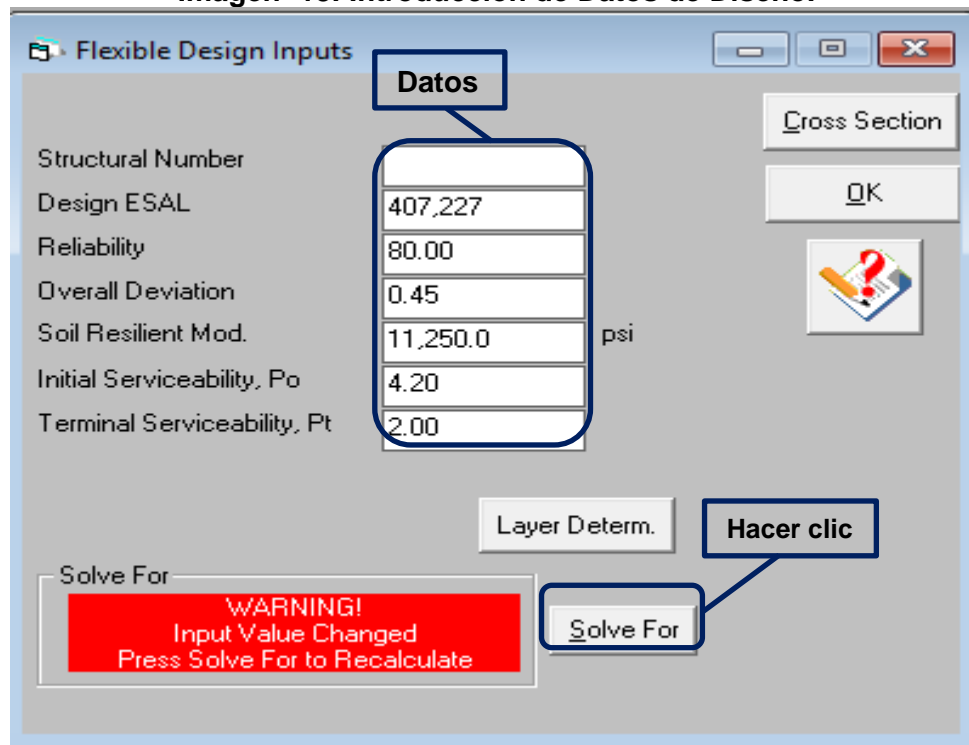
Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

Imagen- 17: Selección de Tipo de Pavimento (Paso 2).



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

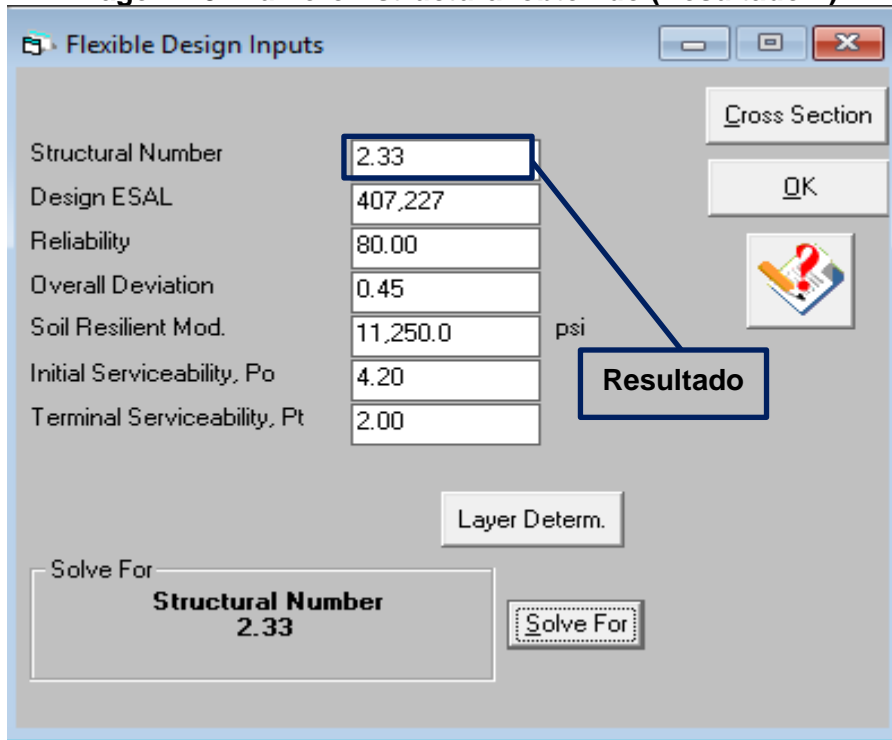
Imagen- 18: Introducción de Datos de Diseño.



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

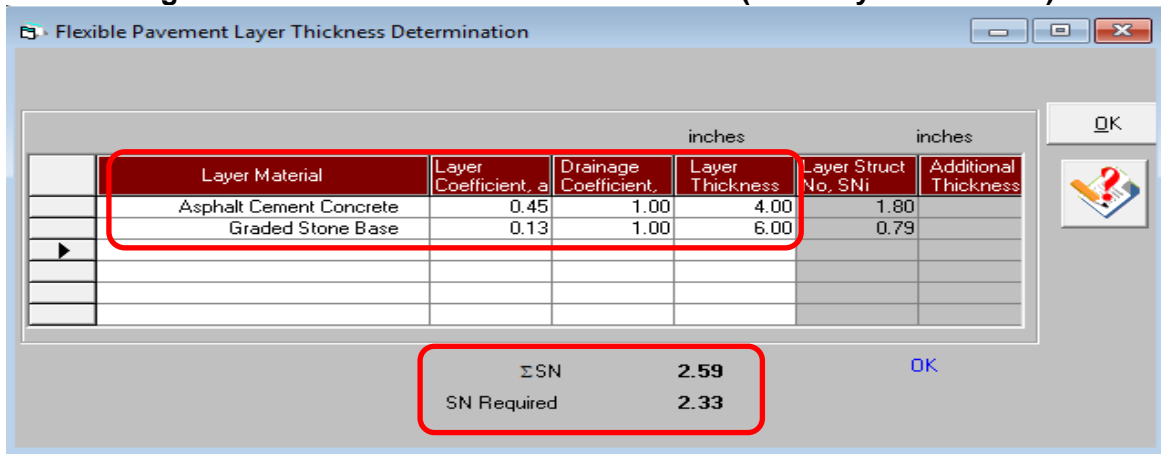
En base a los datos de entrada, el programa calcula el resultado para el número estructural requerido, al dar clic en Solve For (Hacer clic).

Imagen- 19: Número Estructural obtenido (Resultado-1).



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

Imagen- 20: Determinación del SN de Diseño (Paso-5 y Resultado 2).



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

Al introducir los datos para cada una de las capas del pavimento, el programa WinPAS evalúa la capacidad que va a tener la estructura de pavimento ($SN_1 + SN_2 + SN_3$), que es el Numero Estructural de Diseño (ΣSN), el cual debe de ser mayor que el Numero Estructural requerido (SN Required). Según la **imagen- 21** los resultados finales son los siguientes:

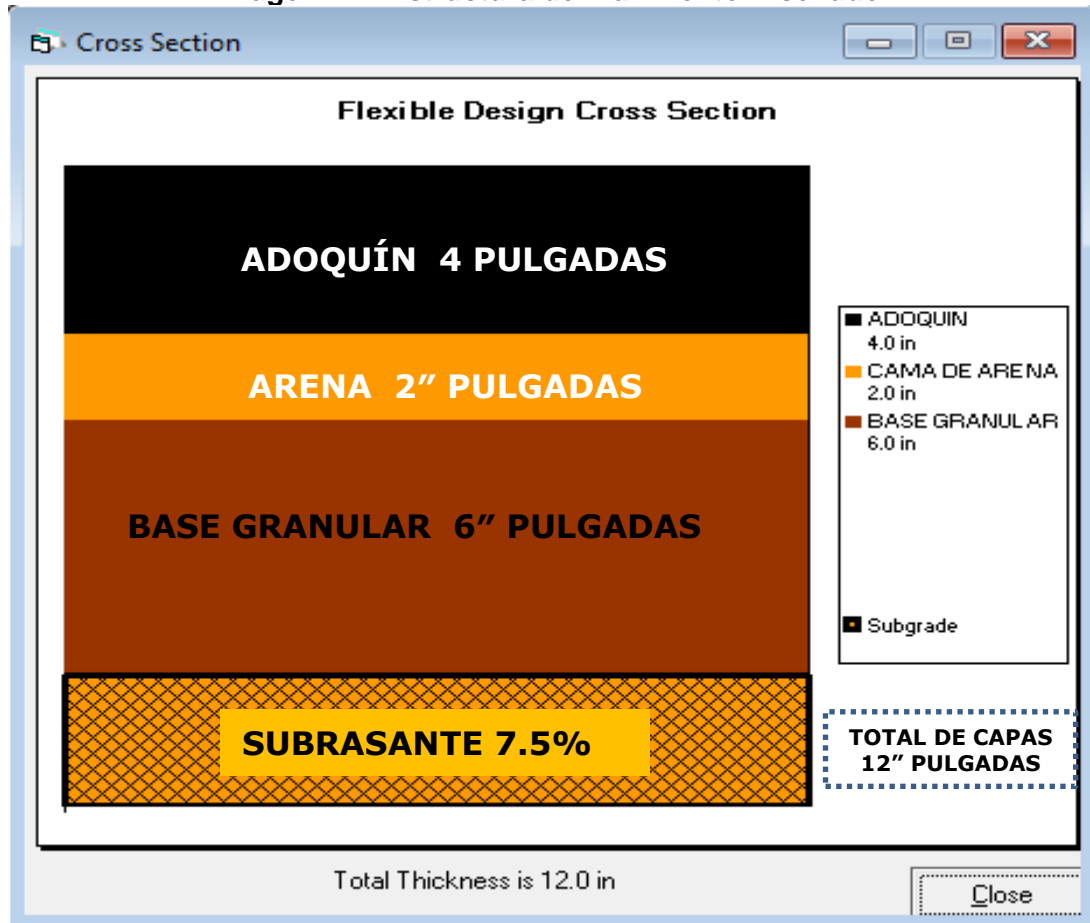
$$\Sigma SN \geq SN \text{ Requerido}$$

$$SN_1 + SN_2 + SN_3 \geq SN \text{ Requerido}$$

$$1.80 + 0.792 + 0 \geq 2.33$$

$$2.59 \geq 2.33 \quad \text{¡OK CUMPLE!}$$

Imagen- 21: Estructura del Pavimento Diseñado.



Fuente: WinPAS (Pavement Analysis Software 1.0.4).

El total requerido para la estructura de pavimento articulado es de **12" pulgadas**.

CONCLUSIONES.

Según los objetivos específicos planteados en este proyecto de monografía se ha concluido lo siguiente:

Se analizó el estudio topográfico de 1.50 kilómetros del tramo Guanacaste punto inicial (**Est: 0+000**), hasta la comunidad Ducuale Grande punto final (**Est: 1+500**). La metodología utilizada fue mediante una poligonal abierta y se ejecutó con la ayuda de una Estación Total Leica TS06, en el sector presenta un terreno que varía de plano a ondulado, la pendiente máxima de este tramo es de **(-7.56%)** inicia en estacionamiento **0+320** y finaliza en el estacionamiento **0+465**, y la pendiente mínima de este tramo es de **(-1.05)**, inicia en estacionamiento **0+890** y Finaliza en el estacionamiento **1+184**.

Cabe mencionar que se encontraron 11 rectas y 10 curvas a lo largo del tramo, la curva de mayor importancia en este tramo de carreta está ubicada entre las estaciones **1+170.59** y **1+260.56**, también se ubicaron 3 obras de drenajes entre ellas (2 alcantarillas) y (1 vado), los cuales están debidamente referenciadas, el levantamiento realizado del tramo tiene una longitud total de **1,500** metros.

El contenido de este capítulo expone resultados corresponden al establecimiento y/o definición de la Geometría Vial del tramo de Proyecto **Guanacaste –Ducuale Grande (1.5 kilómetros)**, adoptando las Normas de Diseño del Proyecto mostradas en Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (Normas SIECA, 2da Edición 2004) o en su defecto la Guía de Diseño Geométrico de la AASHTO (A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, Quinta Edición 2004).

El tramo de carretera se diseñó con un ancho de corona de **7.30 metros**, complementada con cunetas triangulares a cada lado de **1.0** metro de ancho, para un total de sección típica de **9.30 metros**.

Se definieron los parámetros tal como; distancia entre ejes (6.1 metros - Bus), coeficiente de fricción longitudinal (0.17), radio de curvatura máximo (65 metros), pendiente transversal (3%), distancia de visibilidad de parada (65 metros) y rebase (316 metros); en función de la velocidad de diseño (45 km/h).

A partir de Conteos vehiculares realizados durante 7 días consecutivos (una semana) en períodos de 12 horas diurnas se obtuvo un **TPDA** (tránsito promedio diario anual) de **529** vehículo/día.

Para la proyección del tránsito se utilizó la estación de corta duración más cercana al tramo (ECD-110) obteniendo una tasa de crecimiento del **4.0%**, dato alcanzado mediante las correlaciones del TDPA Vs PIB, TPDA Vs Población utilizando las variables de las tasas de crecimiento históricas desde el año 2001 al año 2016.

Una vez determinada la tasa de crecimiento y factor de crecimiento **FC=20.024** se procede a realizar el cálculo del tránsito de diseño **TD= 1,246,149.00** para posterior calcular el número de repeticiones por eje equivalente (**ESAL's**), de **407,227.00** en un periodo de 15 años.

Se analizaron un total de 7 sondeos manuales con profundidades máximas de 1.5 metros los cuales evidencian que superficialmente existe una capa de rodamiento promedio de 23 cm de espesor del tipo A-1-a (0), por debajo subyacen suelos compuestos en su mayoría de grava limosa con arena y de arenas limosas con arcilla tipo A- 7- 5, A- 6 y A- 2- 4, son tipos de suelo de regular calidad a deficiente calidad para ser utilizados como base.

El cálculo del CBR de la Subrasante resulto de **7.5%**, este cálculo se realizó tomando un percentil de 75% ya que nuestro ESAL's de **407,227.00** repeticiones equivalentes a 18,000 libras.

Se utilizará como fuente de materiales para capa Base el **Banco N°1 Jaime Chavarría**, debido a que su resistencia (CBR) y demás ensayos, se ajusta a lo establecido en la sección II del Artículo– 1003.23(a) de la NIC– 2000, en donde se plantean los requisitos que debe cumplir un material utilizado como base granular. El CBR próctor modificado de este banco de préstamo según los ensayos de laboratorio resulta de **84.6%**, por encima del mínimo requerido según las normas de la Nic 2000.

El **Banco N°2 David Dávila** cumple con las especificaciones de la sección II del Artículo– 1003.23(a) NIC-2000, donde se plantean los requisitos que debe cumplir el material para utilizarse como subbase granular, sin embargo, no se hará uso de este banco ya que no es necesario dicha capa.

En el diseño de la estructura de pavimento, los espesores resultantes fueron: **4.0 pulgadas** para la carpeta de rodamiento (adoquín), **2.0 pulgadas** para la cama de arena y **6.0 pulgadas** para la base granular, el espesor de la capa subbase resultó negativo por lo cual no necesita dicha capa.

RECOMENDACIONES.

- La excavación en la vía no deberá sobrepasar los niveles de corte indicados en el diseño geométrico de la subrasante, mostrado en planos planta-perfil.
- El material cortado producto de la excavación de la capa de rodamiento existente del tipo A-1-a (0) en la vía deberá ser acopiado para reutilizarse como material aislante de la capa base granular.
- Se recomienda utilizar como fuente de material para la capa base el banco de préstamo **N°1 (Jaime Chavarría)**, el cual cumple con las especificaciones técnicas de la NIC-2000 sección II del Artículo–1003.23(a).
- En la elaboración de la capa base se debe constatar que el material no esté contaminado, que esté libre de cualquier otro material, ya sea bolsas, trozos de árboles o rocas muy grandes, ya que esto disminuirá la resistencia de la estructura y provocaría hundimientos en la estructura de rodamiento.
- Para los suelos arcillosos (A-7-5) más superficiales presentes en las estaciones 0+000 hasta la Est 1+000, se recomienda realizar un corte de 20 centímetros extra y reemplazar con material acopiado del corte definido por la subrasante, ya que este material servirá de aislante para que el material base no se contamine.
- Las pruebas de compactación serán solicitadas por la supervisión una vez finalizada la construcción de la base mejorada con cemento, el laboratorio será seleccionado por el contratante debiendo estar debidamente autorizado por el MTI, el grado de compactación mínimo requerido deberá de ser del 95% de compactación estándar.

- Verificar que los adoquines y arena a emplearse cumplan con las especificaciones de calidad y resistencia expuestas en las normas AASHTO y en el presente documento.
- El adoquín a usarse es el tipo "TRAFICO", de concreto de 3500 PSI, sin rajaduras ni defectos en las aristas, sin orificios en sus partes planas y de buena contextura.
- El adoquín no deberá presentar en su superficie fisuras ni cascaduras ni cavidades, ni tener materiales extraños tales como piedras, trozos de madera o vidrio, embebidos en su masa. Las aristas deberán ser regulares y la superficie no deberá ser extremadamente rugosa. El tamaño de los adoquines deberá ser uniforme para evitar irregularidades o juntas muy anchas al ser colocados. El tamaño máximo del agregado a usar en el concreto es de 19 milímetros NIC-2000 Sección 502.02 (a).
- La supervisión del proyecto deberá verificar la resistencia de los materiales (Adoquín) la cual debe certificarse en laboratorio mediante pruebas de resistencia a la compresión para verificar la calidad del mismo.
- El dueño no hará pago adicional por adoquines que resulten de mala calidad, es obligación del Contratista adquirir adoquines de la calidad especificada y que sean a entera satisfacción del dueño. La superficie adoquinada, una vez terminada deberá tener un bombeo del 3% lateral para facilitar el escurrimiento del agua.
- La arena que servirá de colchón a los adoquines deberá ser arena lavada, dura, angular y uniforme y no deberá contener más del 3% (en peso) de limo, arcilla o de ambos. Su graduación será tal que pase totalmente por el tamiz No. 4 y no más del 15% sea retenido en el tamiz No. 10. El espesor de esta capa no deberá ser menor de 3 cm ni mayor de 5 centímetros. Sección 502.02 (c).

- Se recomienda respetar los espesores de la estructura de pavimento articulado diseñada, los cuales serán: 4" pulgadas de adoquín y 6" pulgadas de base granular no tratada.
- Antes de realizar la construcción de la estructura de pavimento valorar la condición de todas las obras de drenaje existentes para verificar si estas son aún funcionales.
- Respetar las pendientes de escurrimiento para este tipo de superficies ya que al tratarse de adoquín y pendiente muy elevada podría desencajonarlos.

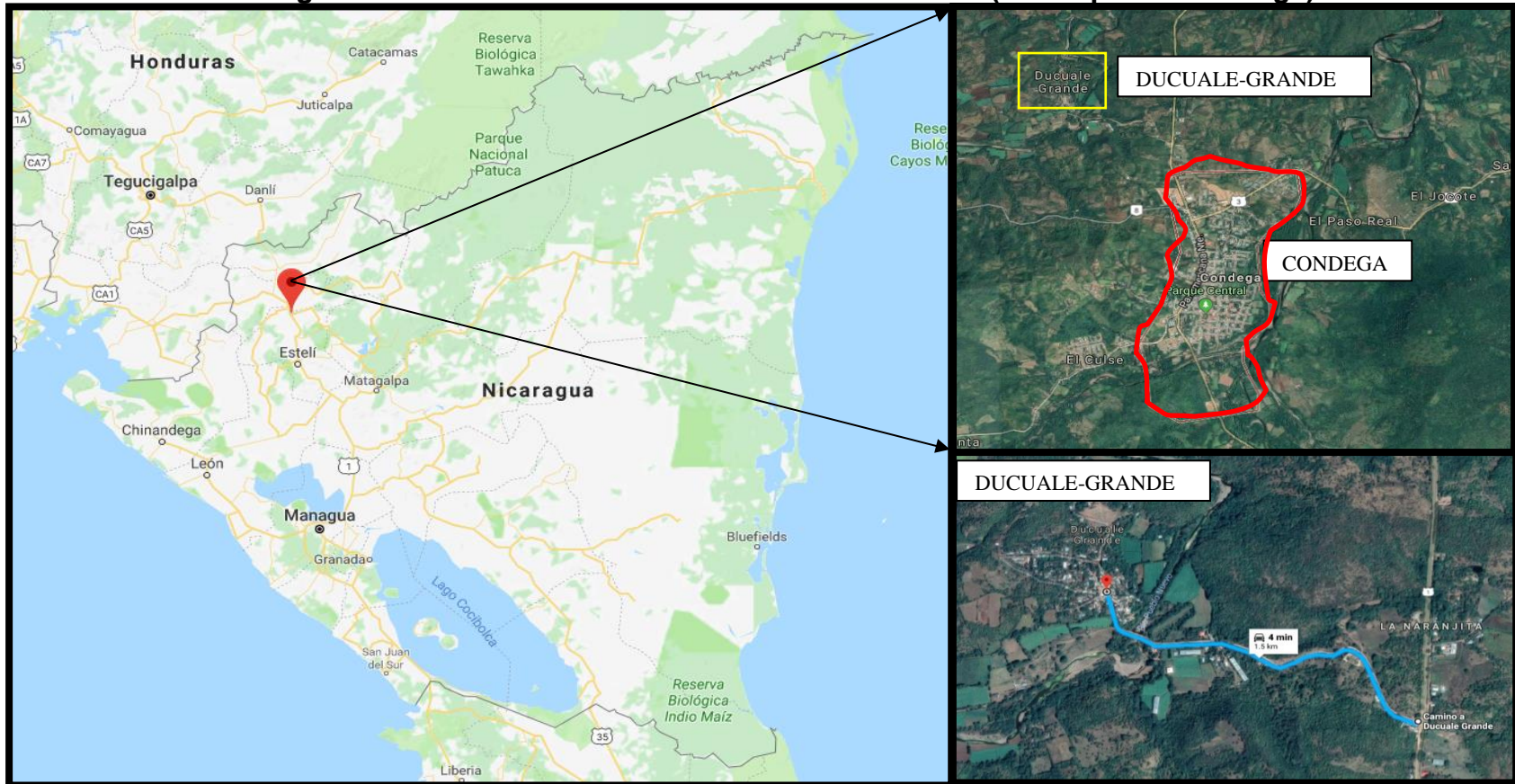
BIBLIOGRAFÍA.

- ✓ AASHTO, e. a. (93). Diseño de Pavimentos AASHTO 93 (5ta edición). San Juan: Instituto Nacional de Carreteras de Estados Unidos.
- ✓ BCN, (2016). Banco Central de Nicaragua (Informe anual).
- ✓ Hoel, N. J. (2005). Ingeniería de Tránsito y carreteras. Mexico: International Thomson Editores, S.A. de C.V.
- ✓ Infraestructura, M. d. (2016). Anuario de Tráfico. Managua: División de Administración Vial.
- ✓ Infraestructura, M. d. (2000). Especificaciones Técnicas NIC 2000. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- ✓ MTI. (2008). Manual para Revisión de Estudios Geotécnicos.
- ✓ SIECA. (2002). Manual Centro Americano de Normas 2da. Guatemala: Secretaria de la Integración Económica Centroamericana.
- ✓ SIECA. (2004). Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales.
- ✓ Villalaz, C. (1976-1980). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Monterrey - México: Limusa Noriega Editores.



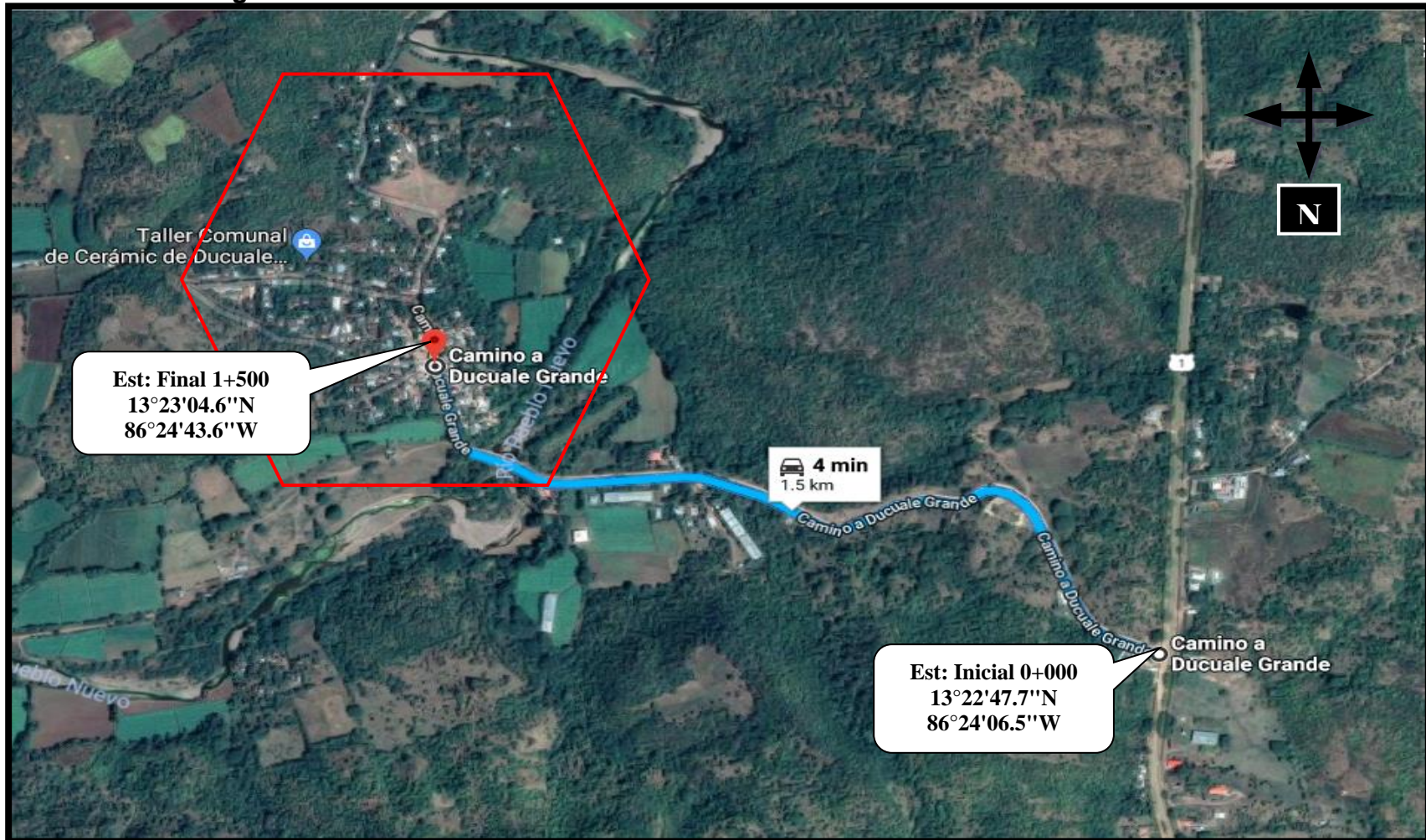
ANEXOS

Imagen- 22 : Macro-Localización del tramo en análisis (Municipio de Condega).



Fuente: Google Maps.

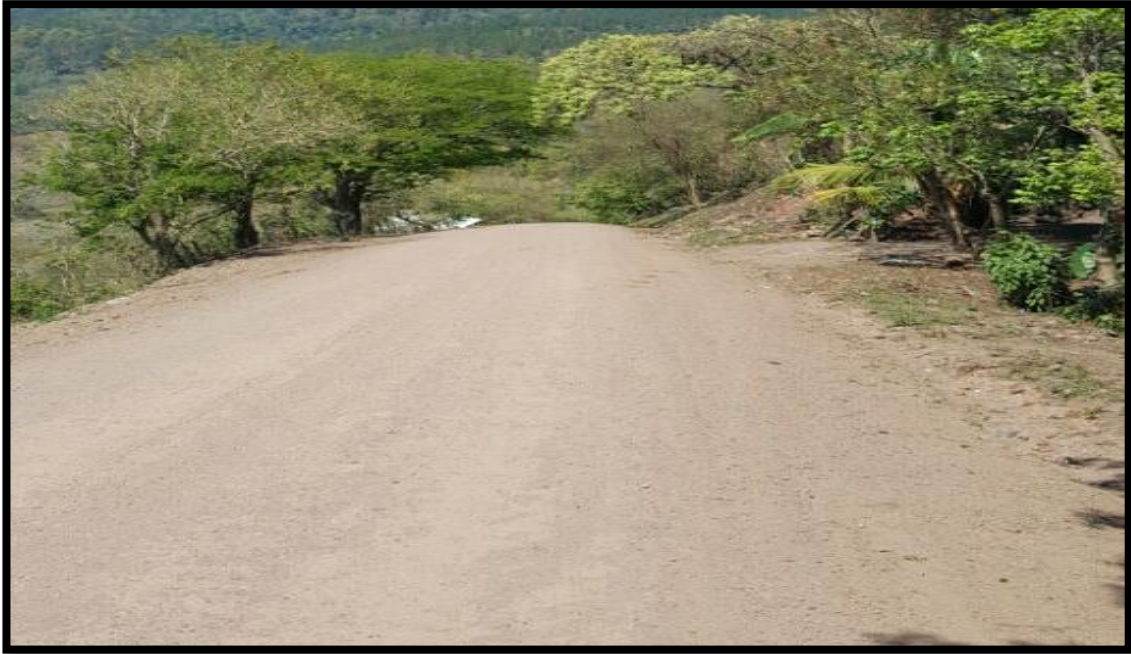
Imagen- 23: Micro-Localización del tramo en análisis Guanacaste - Ducuale Grande.



Fuente: Google Maps.

Fotos: Estado Actual del Tramo en Estudio.

Foto 1: Estación 0+000, Inicio del Tramo en Estudio.



Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Foto 2: Estación 0+230, Inexistencia de Obras de Drenaje.



Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Foto 3: Estación 0+400, Erosión del revestimiento en la vía.



Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Foto 4: Estación 0+640, Desgaste Moderado de la superficie de Rodamiento.



Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Foto 5: Estación 0+930, Erosión y Desgaste de la Carpeta de Rodamiento.




Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Foto 6: Estación 1+500, Fin del tramo (Comunidad Ducuale- Grande).



Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Tabla-67: Formato de Conteo Vehicular.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Sede Regional Del Norte - Recento Augusto C. Sandino

FORMATO DE CONTEOS DE TRÁFICO

TRAMO CARRETERO:

ESTACION:

SENTIDO:

FECHA CONTEO:

AFORADOR:

Hora	Bicic	Moto	Vehiculos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga								Veh. Pesados		Veh. Trac. Animal																					
			Autos	Jeep	Camionetas Pick UPs	Mbus	MB >15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C4	C2R2	C2R3	Tv5x5	T3S2	T3S3	Otros		Veh. Const	Veh. Agric																			
12:3	12:34	12:34	12:34	5678	12:34	5678	8910	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678	12:34	5678					
4:56	5:67	8:90	11:12	13:14	11:12	13:14	15:16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47		
7:89	9:10	11:12	13:14	15:16	17:18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
10:11	12:13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
12:13	15:16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
14:15	18:19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58

Fuente: Facilitador Ing. José Bustamante.

Conteo Vehicular de 7 días (lunes a Domingo).

Tabla-68: Conteo Vehicular día Lunes 08– Enero – 2018.

HORA		FECHA DE CONTEO: LUNES 8 DE ENERO 2018				SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS								UBICACIÓN: DUCUALI GRANDE EST. 0+000				Total	
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros
06:00	07:00	22	5	3	9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	41	
07:00	08:00	19	3	5	11	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	42	
08:00	09:00	15	8	2	7	2	0	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	39	
09:00	10:00	15	1	6	10	0	0	1	0	3	0	0	0	0	1	0	0	37	
10:00	11:00	17	12	1	12	0	0	0	2	1	3	0	0	0	0	0	0	48	
11:00	12:00	9	0	3	7	2	0	0	1	3	0	0	0	0	1	0	0	26	
12:00	13:00	13	2	0	2	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	20	
13:00	14:00	10	6	0	5	0	0	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	28	
14:00	15:00	8	4	3	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	24	
15:00	16:00	14	2	0	4	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	25	
16:00	17:00	30	0	4	3	0	1	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	41	
17:00	18:00	12	2	1	4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	21	
TOTAL		184	45	28	79	6	2	3	11	18	9	0	0	0	7	0	0	392	

Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Tabla-69: Conteo Vehicular día Martes 09– Enero – 2018.

HORA		FECHA DE CONTEO: MARTES 9 DE ENERO 2018				SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS								UBICACIÓN: DUCUALI GRANDE EST. 0+000				Total	
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros
06:00	07:00	21	6	1	7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	38	
07:00	08:00	24	7	4	6	3	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	46	
08:00	09:00	17	2	1	9	2	0	0	3	3	0	0	0	0	2	0	0	39	
09:00	10:00	13	12	3	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	39	
10:00	11:00	10	8	0	2	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	23	
11:00	12:00	15	3	1	10	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	33	
12:00	13:00	11	8	1	3	0	0	1	4	4	2	0	0	0	0	0	0	34	
13:00	14:00	10	3	4	2	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24	
14:00	15:00	7	10	2	7	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	29	
15:00	16:00	12	4	0	9	2	2	1	2	1	1	0	0	0	0	0	0	34	
16:00	17:00	18	2	1	6	0	1	0	2	3	1	0	0	0	0	0	0	34	
17:00	18:00	4	4	3	9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	21	
TOTAL		162	69	21	81	11	4	3	19	15	6	0	0	0	3	0	0	394	

Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Tabla-70: Cuento Vehicular día Miércoles 10- Enero – 2018.

HORA		FECHA DE CONTEO: MIERCOLES 10 DE ENERO 2018														SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS			UBICACIÓN: DUCUALI GRANDE EST. 0+000		
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total		
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros			
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.						
06:00	07:00	23	7	1	12	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0		47	
07:00	08:00	18	11	4	6	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	42		
08:00	09:00	11	19	3	8	1	0	0	3	1	0	0	0	0	1	0	0	47			
09:00	10:00	9	8	5	9	0	2	1	2	3	1	0	0	0	0	0	0	40			
10:00	11:00	7	5	0	11	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	28			
11:00	12:00	2	5	0	7	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	18			
12:00	13:00	17	1	1	5	0	0	2	2	4	0	0	0	0	0	0	0	32			
13:00	14:00	9	10	5	8	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	35			
14:00	15:00	5	7	2	6	0	2	1	1	1	1	0	0	0	2	0	0	28			
15:00	16:00	12	16	7	7	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	48			
16:00	17:00	18	8	1	11	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	39			
17:00	18:00	21	6	5	5	0	0	0	1	2	1	0	0	0	1	0	0	42			
TOTAL		152	103	34	95	6	7	4	14	18	7	0	0	0	6	0	0	446			

Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Tabla-71: Cuento Vehicular día Jueves 11- Enero – 2018.

HORA		FECHA DE CONTEO: JUEVES 11 DE ENERO 2018														SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS			UBICACIÓN: DUCUALI GRANDE EST. 0+000		
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total		
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros			
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.						
06:00	07:00	14	9	3	16	0	2	0	2	0	2	0	0	0	1	0	0	49			
07:00	08:00	22	11	2	7	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	45			
08:00	09:00	11	13	1	3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	31			
09:00	10:00	19	9	7	5	0	0	0	8	1	1	0	0	0	0	0	0	50			
10:00	11:00	9	12	6	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	31			
11:00	12:00	12	11	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	27			
12:00	13:00	7	19	1	11	1	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	43			
13:00	14:00	9	16	0	5	0	1	1	4	2	1	0	0	0	0	0	0	39			
14:00	15:00	14	13	0	1	0	1	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	37			
15:00	16:00	3	9	0	1	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	18			
16:00	17:00	9	17	0	9	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	39			
17:00	18:00	9	9	1	3	0	2	0	2	2	0	0	0	0	1	0	0	29			
TOTAL		138	148	23	63	2	11	3	31	11	5	0	0	0	3	0	0	438			

Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Tabla-72: Conteo Vehicular día Viernes 12 – Enero – 2018.

HORA	FECHA DE CONTEO: VIERNES 12 DE ENERO 2018				SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS										UBICACIÓN: DUCUALI GRANDE EST. 0+000			Total
	Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			
	Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
					<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00 07:00	18	4	11	23	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	62
07:00 08:00	10	3	8	4	0	0	0	6	1	1	0	0	0	0	1	0	0	34
08:00 09:00	11	3	2	7	1	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	29
09:00 10:00	4	8	7	5	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	29
10:00 11:00	11	5	14	14	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	47
11:00 12:00	3	0	9	17	1	0	0	3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	36
12:00 13:00	8	1	1	23	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	38
13:00 14:00	2	3	6	9	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	24
14:00 15:00	10	1	8	8	0	0	0	2	4	3	0	0	0	0	0	0	0	36
15:00 16:00	1	4	3	7	4	2	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	24
16:00 17:00	17	3	2	20	0	0	1	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	50
17:00 18:00	7	1	1	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
TOTAL	102	36	72	143	10	9	4	24	19	7	0	0	0	0	4	0	0	430

Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Tabla-73: Conteo Vehicular día Sábado 13 – Enero– 2018.

HORA	FECHA DE CONTEO: SABADO 13 DE ENERO 2018				SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS										UBICACIÓN: DUCUALI GRANDE EST. 0+000			Total
	Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			
	Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
					<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00 07:00	25	8	8	21	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67
07:00 08:00	12	4	5	16	4	1	0	5	1	1	0	0	0	0	1	0	0	50
08:00 09:00	8	4	6	8	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
09:00 10:00	4	2	1	9	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	18
10:00 11:00	3	5	7	3	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	20
11:00 12:00	1	1	3	10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	17
12:00 13:00	14	6	1	11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
13:00 14:00	7	1	4	4	1	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	21
14:00 15:00	9	2	2	8	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
15:00 16:00	7	0	2	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
16:00 17:00	19	10	1	12	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46
17:00 18:00	3	3	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
TOTAL	112	46	41	108	13	3	2	17	6	3	0	0	0	0	2	0	0	353

Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Tabla-74: Conteo Vehicular día Domingo 14 – Enero – 2018.

HORA		FECHA DE CONTEO: DOMINGO 14 DE ENERO 2018										SENTIDOS: AMBOS SENTIDOS				UBICACIÓN: DUCUALI GRANDE EST. 0+000			
		Vehículos de Livianos				Veh. Pasajeros		Vehículos de Carga								Equipo Pesado			Total
		Motos	Autos	Jeep	Cam.	McBus	MnBus	Bus	Liv.	C2	C3	Tx-Sx	Tx-Sx	Cx-Rx	Cx-Rx	V.A.	V.C.	Otros	
						<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 t.	5+ t.		<=4 e.	>=5 e.	<=4 e.	>=5 e.				
06:00	07:00	18	17	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	43	
07:00	08:00	14	2	13	9	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	40	
08:00	09:00	8	4	4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
09:00	10:00	4	1	0	12	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	21	
10:00	11:00	3	4	3	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	18	
11:00	12:00	8	3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	
12:00	13:00	5	13	4	2	0	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	29	
13:00	14:00	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	
14:00	15:00	15	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	19	
15:00	16:00	7	5	6	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	25	
16:00	17:00	11	2	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	20	
17:00	18:00	9	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	
TOTAL		104	57	41	47	4	2	2	6	4	1	0	0	0	1	0	0	269	

Fuente: Levantamiento realizado por Sustentantes.

Tabla-75: Registros Históricos de la Estación de corta duración Estelí-Condega.

2015	579	541	306	1315	62	11	235	326	438	51		414	1		1	14	4,294
2012	250	320	181	893	13	9	188	262	227	51		226			1	8	2,629
2010	261	329	172	948	72	12	197	172	188	20	17	186					2,574
2008	161	308	258	762	16	7	178	228	187	37	0	361				5	2,508
2007	144	288	239	731	21	1	198	208	157	35		310				2	2,334
2004	99	231	228	695	29	7	197	157	169	28		348		1		6	2,195
2001	133	225	263	1,095	24	7	176	144	220	26		96	0	5		4	2,419
1999	83	205	314	1,047	2	4	175	134	293	43		111				6	2,417
1998	123	168	267	983	8	6	133	95	261	49	1	93	3	4	3	21	2,218
1997	95	133	230	763	8	7	119	78	223	40		69		1	5	1	1,777
1996	101	186	186	914	10	26	106	89	201	24		38		1	4	1	1,893
2016	612	572	323	1389	66	12	248	344	463	54		437	1	1		15	4,537

Fuente: Anuario de Trafico MTI -2016.

Tabla-76: Factores de ajustes de la Estación ECD-110 Estelí-Condega (Enero-Abril).

<i>Factores del primer cuatrimestre del año Enero - Abril</i>																	
Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.26	1.30	1.26	1.30	1.22	1.22	1.20	1.32	1.46	1.50	1.00	1.58	1.00	1.00	1.00	1.00	1.18
Factor Semana	1.01	1.05	1.01	0.95	0.94	1.49	0.98	0.87	0.88	0.84	1.00	0.91	1.00	1.00	0.89	1.00	0.93
Factor Fin de Semana	0.99	0.90	0.98	1.14	1.18	0.55	1.05	1.61	1.52	1.85	1.00	1.33	1.00	1.00	1.48	1.00	1.22
Factor Expansión a TPDA	1.09	1.04	0.94	1.01	1.06	1.00	1.00	1.07	1.03	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.56	1.00	1.12
<i>Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto</i>																	
Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.23	1.33	1.21	1.25	1.21	1.50	1.18	1.30	1.45	1.37	1.00	1.66	1.00	1.00	1.08	1.00	1.14
Factor Semana	0.99	1.02	0.99	0.95	0.94	1.29	0.99	0.88	0.88	0.85	1.00	0.93	1.00	1.00	0.78	1.00	0.92
Factor Fin de Semana	1.03	0.95	1.03	1.14	1.19	0.64	1.04	1.52	1.53	1.78	1.00	1.23	1.00	1.00	3.50	1.00	1.30
Factor Expansión a TPDA	1.04	0.99	1.08	1.03	1.02	1.16	1.02	0.97	1.07	1.02	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	0.89
<i>Factores del tercer cuatrimestre del año septiembre - Diciembre</i>																	
Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>5	Cx-Rx<4	Cx-Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.24	1.32	1.25	1.27	1.30	1.22	1.21	1.33	1.48	1.31	1.00	1.69	1.00	1.00	1.06	1.00	1.29
Factor Semana	1.02	1.03	1.03	0.96	0.95	1.20	0.98	0.90	0.89	0.91	1.00	0.89	1.00	1.00	0.84	1.00	1.03
Factor Fin de Semana	0.96	0.94	0.93	1.11	1.14	0.71	1.07	1.38	1.42	1.32	1.00	1.48	1.00	1.00	1.86	1.00	0.94
Factor Expansión a TPDA	0.89	0.98	0.99	0.96	0.93	0.87	0.98	0.96	0.92	0.80	1.00	1.01	1.00	1.00	0.74	1.00	1.02

Fuente: Anuario de Trafico MTI-2016.











Tabla-77: Listado Histórico del PIB y POB (2001-2016).

Conceptos-Concept	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
PIB (a precios constantes) ^{1/} - Real GDP ^{1/}	27,877.4	28,087.5	28,795.5	30,325.2	31,623.9	118,838	124,870	129,161	124,908	130,416	138,654	147,661.4	154,936.8	162,351.3	170,093.2	178,017.4
PIB (córdobas corrientes) - Nominal GDP	55,155.3	57,376.3	61,958.5	71,155.6	81,524.4	118,838	136,950	164,602	168,791	187,053	219,182	247,993.9	271,529.8	308,403.1	343,737.9	377,349.1
PIB (en millones US\$) - GDP (million of US\$)	4,102.4	4,026.0	4,101.5	4,464.7	4,872.0	6,763.7	7,423.4	8,497.0	8,298.7	8,758.6	9,774.3	10,532.5	10,983.0	11,880.4	12,611.1	13,184.3
Población (miles de habitantes) ^{8/} - Population (thousands) ^{8/}	5,173.9	5,244.7	5,312.7	5,380.5	5,450.4	5,638.0	5,707.9	5,778.8	5,850.5	5,923.1	5,996.6	6,071.0	6,134.3	6,198.2	6,262.7	6,327.9
Base monetaria - Monetary base	3,366.3	3,623.2	4,498.4	5,345.5	6,338.1	8,121.8	9,847.8	10,369.5	12,425.7	14,549.8	18,278.0	19,174.4	20,466.9	23,502.5	29,661.4	29,138.0
Depósitos totales ^{9/} - Total deposits ^{9/}	20,694.2	23,471.3	26,708.3	31,155.9	35,238.4	38,792.8	45,454.7	48,776.4	56,489.1	70,400.3	82,043.5	86,550.1	98,591.8	117,345.7	133,636.1	145,144.1
Cartera de crédito bruta ^{10/} - Gross credit portfolio ^{10/}	9,935.1	11,327.1	14,724.6	18,776.3	24,415.5	31,941.8	42,026.3	47,198.6	44,241.7	45,289.1	53,852.4	69,457.2	84,281.8	100,712.1	123,839.2	146,721.6
Balance del SPNF a/d - Balance of NFPS (before grants)	(5,281.6)	(2,903.1)	(3,754.8)	(3,565.5)	(3,616.2)	(3,464.2)	(2,905.7)	(4,875.2)	(6,576.7)	(4,121.9)	(3,457.3)	(4,144.5)	(5,803.4)	(7,957.3)	(9,906.2)	(11,823.3)
Balance del SPNF d/d - Balance of NFPS (after grants)	(3,645.2)	(1,117.5)	(1,404.8)	(965.9)	(790.0)	578.6	1,311.1	(1,027.8)	(2,195.7)	(1,101.6)	354.2	(626.5)	(3,024.2)	(4,541.5)	(5,593.4)	(7,580.1)

Conceptos-Concept	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
PIB (a precios constantes) ^{1/} - Real GDP ^{1/}	130,416	138,654	147,661.4	154,936.8	162,351.3	170,093.2	178,017.4
PIB (córdobas corrientes) - Nominal GDP	187,053	219,182	247,993.9	271,529.8	308,403.1	343,737.9	377,349.1
PIB (en millones US\$) - GDP (million of US\$)	8,758.6	9,774.3	10,532.5	10,983.0	11,880.4	12,611.1	13,184.3
Población (miles de habitantes) ^{8/} - Population (thousands) ^{8/}	5,923.1	5,996.6	6,071.0	6,134.3	6,198.2	6,262.7	6,327.9
Base monetaria - Monetary base	14,549.8	18,278.0	19,174.4	20,466.9	23,502.5	29,661.4	29,138.0
Depósitos totales ^{9/} - Total deposits ^{9/}	70,400.3	82,043.5	86,550.1	98,591.8	117,345.7	133,636.1	145,144.1
Cartera de crédito bruta ^{10/} - Gross credit portfolio ^{10/}	45,289.1	53,852.4	69,457.2	84,281.8	100,712.1	123,839.2	146,721.6
Balance del SPNF a/d - Balance of NFPS (before grants)	(4,121.9)	(3,457.3)	(4,144.5)	(5,803.4)	(7,957.3)	(9,906.2)	(11,823.3)
Balance del SPNF d/d - Balance of NFPS (after grants)	(1,101.6)	354.2	(626.5)	(3,024.2)	(4,541.5)	(5,593.4)	(7,580.1)

Fuente: Anuario de Trafico MTI-2016.

Tabla-78: Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Trafico de la oficina de Diagnostico, Evaluación de pavimentos y puentes.

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimotos, Cuadracillos, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx>=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx>=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).










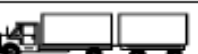
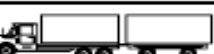

Fuente: Anuario de aforos de tráfico. MTI, Año 2016.

Tabla-79: Diagrama de cargas permisibles para Vehículos Liviano y Pasajeros.

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

Fuente: Departamento de Vialidad MTI /Doc. Clasificación Vehicular.

Tabla-80: Diagrama de cargas permisibles para Vehículos Pesados.

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

Fuente: Departamento de Vialidad MTI /Doc. Clasificación Vehicular.

Tabla-81: Factores de Carga para Pavimentos, ejes simples.

Tabla 3.1. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, $p_t = 2.0$

Carga por eje (kips) (KN)		SN		pulg (mm)			
		1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002	.0002
4	17.8	.002	.003	.002	0.002	.002	.002
6	26.7	.009	.012	.011	0.10	.009	.009
8	35.6	.030	.035	.036	.033	.031	.029
10	44.5	.075	.085	.090	.085	0.079	.076
12	53.4	.165	.177	.189	.183	.174	.168
14	62.3	.325	.338	.354	.350	.338	.331
16	71.2	.589	.598	.613	.612	.603	.596
18	80.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	89.0	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	97.9	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	106.8	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	115.7	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	124.6	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	133.5	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	142.4	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	151.3	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	160.0	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	169.1	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	178.0	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	186.9	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	195.8	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	204.7	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	213.6	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	222.5	113	108	97	86	81	82

Fuente: Manual AASHTO– 93 Design Requirements.

Tabla-82: Factores de Carga para Pavimentos, ejes tándem.

Tabla 3.2. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, $p_t = 2.0$

Carga por eje (kips)	(KN)	SN					
		1.0 (25.4)	2.0 (50.8)	3.0 (76.2)	4.0 (101.6)	5.0 (127.0)	6.0 (152.4)
2	8.9	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4	17.8	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002	.0002
6	26.7	.001	.001	.001	.001	.001	.001
8	35.6	.003	.003	.003	.003	.003	.002
10	44.5	.007	.008	.008	.007	.006	.006
12	53.4	.013	.016	.016	.014	.013	.012
14	62.3	.024	.029	.029	.026	.024	.023
16	71.2	.041	.048	.050	.046	.042	.040
18	80.0	.066	.077	.081	.075	.069	.066
20	89.0	.103	.117	.124	.117	.109	.105
22	97.9	.156	.171	.183	.174	.164	.158
24	106.8	.227	.244	.260	.252	.239	.231
26	115.7	.322	.340	.360	.353	.338	.329
28	124.6	.447	.465	.487	.481	.466	.455
30	133.5	.607	.623	.646	.643	.627	.617
32	142.4	.810	.823	.843	.842	.829	.819
34	151.3	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	160.0	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	169.1	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	178.0	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	186.9	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	195.8	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	204.7	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	213.6	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	222.5	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	231.4	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	240.3	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	249.2	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4
58	258.1	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	267.0	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	275.9	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	284.7	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	293.6	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	302.5	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	311.4	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	320.3	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	329.2	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	338.1	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	347.0	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	355.9	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	364.8	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	373.7	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0

Fuente: Manual AASHTO– 93 Design Requirements.

Tabla -83: Clasificación de suelos, según AASHTO.

CLASIFICACION GENERAL	Materiales Granulares (igual o menor del 35% pasa el tamiz N° 200)							Materiales Limo - Arcillosos (más del 35% que pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
SUB - GRUPOS	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
% que pasa el Tamiz:											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del Material que pasa el tamiz N° 40											
Límite Líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plasticidad	6máx	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de Material	fragmentos 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 ente lo LL e IP de los materiales finos. Dicho de otro modo, el grupo A-7 es subdividido en A-7-5 ó A-7-6 dependiendo del Límite Plástico (L.P.)
 Si el LP \geq 30, la clasificación es A-7-6
 Si el LP < 30, la clasificación es A-7-5

Fuente: Libro de diseño de pavimentos, AASHTO 93.

Tabla-84: Clasificación Unificada de suelos, según (S.U.C.S.)

DIVISIÓN MAYOR		SIMBOLO		NOMBRES TÍPICOS		CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4	GRAVAS LIMPIA Poco o nada de partículas finas	GW		Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$	
			GP		Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos			
		ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4	GRAVA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* GM		Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4. LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.
				GC		Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		
			ARENA LIMPIA Poco o nada de partículas finas	SW		Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
				SP		Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.		
	ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* SM		Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		Cu = D_{60} / D_{10} mayor de 6 ; Cc = $(D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.		
		SC		Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.				
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML		Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.		G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad	
			CL		Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.			
			OL		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.			
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH		Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, más elásticos.			
CH			Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.					
OH			Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.					
P		Turbas y otros suelos altamente orgánicos.		CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.) 				
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS								

Fuente: Ing. de Pavimentos para Carreteras, 2 da Edición, Alfonso Montejo, pág 53.

Tabla-85: Estudios de Laboratorio al Banco de préstamo Jaime Chavarría.

Ensayo carga Penetración						
Anillo	M o l d e 1		M o l d e 2		M o l d e 3	
	D i a l	C a r g a	D i a l	C a r g a	D i a l	C a r g a
0.025"	10	412	26	529	32	840
0.05"	16	652	47	1245	50	1560
0.075"	24	1100	61	1784	70	2200
0.1"	34	1349	71	2458	92	2890
0.15"	43	1657	91	3100	116	3624
0.2"	54	2610	118	3805	140	4110
0.3"	70	2878	140	4200	160	4956
0.4"	90	3210	175	4890	195	5902
C.B.R		58.0		84.6		91.3
DESGASTE DE LOS ANGELES BANCO N#1 JAIME CHAVARIA						
DETERMINACION No.					1	
PESO DE LA MUESTRA ORIGINAL, LAVADA Y SECADA AL HORNO					5,000	
PESO DEL MATERIAL SECO RETENIDO EN MALLA No.2					1650	
DIFERENCIA					3,320	
% APROXIMADO DE DESGASTE					33.6	
PESO DE MATERIAL, LAVADO Y SECADO AL HORNO, RETENIDO MALLA No.2					3250	
% DEFINITIVO DE DESGASTE					48	
RESULTADO DE INTEMPERISMO					11	

Fuente: Alcaldía Municipal de Condega - Alfonso Jerez F. (INGENICA-2016).

Tabla-86: Estudios de Laboratorio al Banco de préstamo David Dávila.

Ensayo carga Penetración						
Anillo	M o l d e 1		M o l d e 2		M o l d e 3	
	D i a l	C a r g a	D i a l	C a r g a	D i a l	C a r g a
0.025"	10	204	26	529	32	651
0.05"	16	326	47	957	50	1560
0.075"	24	620	61	1242	70	1860
0.1"	34	870	71	1710	92	2560
0.15"	43	1489	91	1998	116	2985
0.2"	54	1728	118	1870	140	2878
0.3"	70	2209	140	2429	160	3245
0.4"	90	2510	175	2945	195	3622
C . B . R		38		42		64
DESGASTE DE LOS ANGELES BANCO N#2 DAVID DAVILA						
DETERMICACION No.					1	
PESO DE LA MUESTRA ORIGINAL, LAVADA Y SECADA AL HORNO					5,000	
PESO DEL MATERIAL SECO RETENIDO EN MALLA No.2					1650	
D I F E R E N C I A					3,320	
% A P R O C I M A D O D E D E S G A S T E					33.6	
PESO DE MATERIAL, LAVADO Y SECADO AL HORNO , RETENIDO MALLA No.2					3400	
% D E F I N I T I V O D E D E S G A S T E					39	
RESULTADO DE INTEMPERISMO					8	

Fuente: Alcaldía Municipal de Condega - Alfonso Jerez F. (INGENICA-2016).

Requerimiento mínimo NIC– 2000 (Banco Jaime Chavarría).

Tabla-87: Requisitos que debe Cumplir el Material, para Base.

Prueba	Requerimiento mínimo NIC– 2000	Banco de préstamo N°1	Valoración
Graduación	Cuadro 1003.10	Cumple	Cumple
Desgaste, Los Ángeles	Máx. 50%	48	Cumple
Índice de plasticidad	Máx. 10%	N.P	Cumple
Intemperismo	Máx. 12%	11	Cumple
CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T– 180) y 4 días de saturación	Min. 80%	84.6%	Cumple

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

Tabla-88: Requisitos Graduación de Agregados.

Designación de tamiz (mm)	% que pasa por los tamices		Valoración
	NIC– 2000	Banco Jaime Chavarría	
75	100	100	Cumple
4.75	30– 70	33	Cumple
0.075	0– 15	4	Cumple

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

Requerimiento mínimo NIC– 2000 (David Dávila).

Tabla-89: Requisitos que debe cumplir el material, para Sub- Base.

Prueba	Requerimiento mínimo NIC– 2000	Banco David Dávila	Valoración
Graduación	Cuadro 1003.10	Cumple	Cumple
Desgaste, Los Ángeles	Máx. 50%	39	Cumple
Índice de plasticidad	Máx. 10%	9	Cumple
Intemperismo	Máx. 12%	8	Cumple
CBR al 95% de AASHTO modificado (AASHTO T– 180) y 4 días de saturación	Min. 40%	42%	Cumple

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

Tabla -90: Requisitos graduación de agregados.

Designación de tamiz (mm)	% que pasa por los tamices		Valoración
	NIC– 2000	Banco David Dávila	
75	100	100	Cumple
4.75	30– 70	57	Cumple
0.075	0– 15	15	Cumple

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

GLOSARIO.

- ✓ **Bombeo:** Es la inclinación que se da a ambos lados del camino, para drenar la superficie del mismo, evitando que el agua se encharque provocando reblandecimientos o que corra por el centro del camino causando daños debido a la erosión.

- ✓ **Calicatas:** Son excavaciones de profundidad pequeña a media, permiten la inspección directa del suelo que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa para conocer la estratigrafía del subsuelo y caracterizar geotécnicamente cada uno de sus estratos. La calicata permite la toma de muestras in situ.

- ✓ **CBR. (Relación de Carga California):** Relación entre la presión necesaria para penetrar los primeros 0.25 cm en un material de prueba y la presión necesaria para penetrar la misma profundidad en un material de características conocidas o patrón. Mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para sub- rasante, sub base y base de pavimentos.

- ✓ **Humedad Óptima:** La humedad óptima es parte del ensayo de compactación, es la cantidad de agua a la cual se obtiene el mayor grado de compactación y se evalúa según la curva de compactación.

- ✓ **Índice de Plasticidad:** Es el rango de humedades en el que el suelo tiene un comportamiento plástico. Por definición es la diferencia entre límite líquido y el límite plástico.

- ✓ **Límites de Atterberg:** Es el procedimiento analítico que permite determinar el contenido de humedad en el cual se producen los cambios de estado de un suelo. Los límites definidos son sólido, semi- sólido, plástico o semilíquido.

- ✓ **Limite líquido:** Es el contenido de humedad correspondiente al límite entre el estado semi- líquido y plástico. Se les practican estos ensayos a los materiales que pasen la malla No.40.

- ✓ **Limite plástico:** Es el contenido de humedad correspondiente al límite entre el estado plástico y semi- sólido.

- ✓ **Módulo Resiliente:** Es una medida de la propiedad elástica de los suelos, fundamentalmente para caracterizar los materiales que constituyen la sección de un pavimento de una carretera.

- ✓ **PIB: El producto interno bruto (PIB),** es una medida macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de demanda final de un país durante un período determinado de tiempo.

- ✓ **Posteadora:** Es una herramienta, manual muy simple que se usa para perforaciones o sondajes en suelos blandos hasta profundidades de 5m a 6m.