

Área de Conocimiento de Ingeniería y Afines

“DISEÑO GEOMETRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 1000 ML COMPENDIDO DEL BARRIO SAN ANTONIO HASTA LA COMARCA LA CRUZ DE MAYO, MUNICIPIO DE LA CONCEPCION, DEPARTAMENTO DE MASAYA”

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Ovidio Alexander
Hernández Ojeda
Carnet: 2016-1162U

Br. Orlando José
Montiel Espinoza
Carnet: 2017-0351U

Tutor:

MSc.Ing. José Hernández
Hernández

03 de mayo de 2024
Managua, Nicaragua

RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento monográfico titulado: “DISEÑO GEOMETRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO DE 1000 ML COMPRENDIDO DEL BARRIO SAN ANTONIO HASTA LA COMARCA LA CRUZ DE MAYO, MUNICIPIO DE LA CONCEPCION, DEPARTAMENTO DE MASAYA”, contiene el desarrollo de criterios y estudios específicos para su realización, el cual consta de seis capítulos presentados a continuación.

CAPITULO I. GENERALIDADES

Este capítulo abordara aspectos tales como: introducción, antecedentes, justificación, objetivos, macro y micro localización del sitio de estudio.

CAPITULO II. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

En este capítulo se abordó el estudio topográfico planialtimétrico del camino San Antonio - La Cruz De Mayo, a lo largo de 1000 metros lineales, obteniéndose los puntos necesarios para conocer las características del relieve.

Se realizo una poligonal abierta a partir del eje central de la vía con seccionamientos a cada 20 metros y a distancias más cortas donde el camino lo requiriese, tal estudio se desarrolló mediante la ayuda de una estación total SOKKIA IM-50 series, prismas, bastones, cinta métrica, chapas y pintura en aerosol.

CAPITULO III. ESTUDIO DE TRANSITO

Este capítulo contempla el estudio de tránsito, mediante el aforo vehicular desarrollado manualmente durante tres días consecutivos, abarcando doce horas del día (6:00 am – 6:00 pm). Este estudio permitió conocer la composición y volumen de tránsito, Transito Promedio Diario Anual (TPDA) por medio de los factores de expansión establecidos por el MTI y la Estación de Mayor Cobertura No. 1802 San Marcos – Masatepe y la estación de Corta Duración Empalme Popoyuapa- Santuario de Popoyuapa. Posteriormente se analizaron las correlaciones de los datos históricos del PIB Y POB del país para la determinación de la tasa de crecimiento y cálculo del ESAL y tránsito de diseño.

CAPITULO IV. ESTUDIO DE SUELO

Se llevo a cabo un análisis exhaustivo de las muestras obtenidas mediante sondeos manuales insitu a lo largo de la línea del tramo. Este análisis permitió determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo con el propósito de seleccionar el material más apropiado para construir la estructura de terracería del pavimento articulado. Posteriormente, se realizó una evaluación de los potenciales bancos de materiales situados en las proximidades del área del proyecto. El objetivo fue identificar suelos que cumplieran con las exigencias de resistencia CBR establecidas por las normas AASHTO y NIC 2019, esta selección de materiales se llevó a cabo de manera que permitiera la configuración adecuada de la base, subbase y subrasante del pavimento, garantizando así el cumplimiento de los estándares normativos requeridos.

CAPITULO V. DISEÑO GEOMETRICO

En el diseño geométrico se tomaron los criterios necesarios su creación haciendo uso del software CivilCad 3D, el cual inicio desde la importación de puntos topográficos para generar la superficie, seguido por la creación del alineamiento horizontal, la obtención de sobreanchos, el cálculo de peraltes en las curvas, creación de perfil longitudinal, alineamiento vertical o rasante y por último la sección transversal presente en el diseño, procedimiento guiado por los criterios de diseño establecidos por el Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011 y el Manual para el Diseño Geométrico de Carreteras AASHTO sexta edición, año 2011.

CAPITULO VI. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Este capítulo abarca la elaboración del diseño de la estructura de pavimento articulado de manera manual, incluyendo el cálculo de los espesores para cada capa que la conformara. La configuración de la estructura del pavimento se determinó mediante la aplicación del método propuesto por la AASHTO 1993 donde se hizo uso de los diferentes criterios y parámetros de diseño, tales como ejes equivalentes, confiabilidad, serviciabilidad, desviación estándar y el CBR de diseño. Este último parámetro sirvió como referencia para determinar el módulo de resiliencia y los valores de los coeficientes estructurales necesarios en el proceso de diseño.

INDICE GENERAL

CAPITULO I. GENERALIDADES	1
1.1 Introducción	1
1.2 Localización del proyecto	3
1.3 Antecedentes	5
1.4 Justificación	6
1.5 Objetivos.....	7
1.5.1 Objetivo general	7
1.5.2 Objetivos específicos.....	7
CAPITULO II. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	8
2.1 Generalidades	8
2.1.1 Planimetría	8
2.1.2 Altimetría	8
2.1.3 Altiplanimetria	9
2.1.4 Alineamiento horizontal	9
2.1.5 Secciones transversales.....	9
2.1.6 Curvas horizontales.....	9
2.1.7 Curvas verticales.....	9
2.1.8 Curvas de nivel.....	9
2.2 Procedimiento y desarrollo del levantamiento topográfico	10
2.3 Perfil longitudinal	11
2.4 Resultados del levantamiento topográfico.....	15
CAPITULO III. ESTUDIO DE TRANSITO	16
3.1 Generalidades	16
3.2 Recopilación de datos.....	16
3.3 Determinación del Transito Promedio Diario Anual (TPDA).....	19
3.4 Proyección del Transito Promedio Diario Anual.....	22
3.4.1 Tasa de crecimiento vehicular	23
3.4.2 Tasa de crecimiento por consumo de combustible	24
3.4.3 Tasa de crecimiento del producto interno bruto (PIB)	25
3.4.4 Tasa de crecimiento Poblacional	25
3.4.5 Análisis de las tasas de crecimiento a utilizar	26

3.5 Periodo de diseño	26
3.5.1 Factor de crecimiento	27
3.5.2 Factor de Distribución Direccional (FD)	27
3.5.3 Factor distribución carril (FC)	28
3.5.4 Transito proyectado para el año 2038	28
3.6 Tránsito de diseño.....	29
3.7 Consideraciones para determinar el ESAL de diseño	31
3.7.1 Serviciabilidad Δ PSI	31
3.7.2 Serviciabilidad Inicial	31
3.7.3 Serviciabilidad Final	31
3.7.4 Perdida de serviciabilidad prevista en el diseño (Δ PSI)	32
3.7.5 Numero estructural SN	32
3.8 ESAL de diseño	32
3.8.1 Factor ESAL	33
3.8.2 Cálculo del factor ESAL (factores de equivalencia de carga, eje simple).	34
CAPITULO IV. ESTUDIO DE SUELO	36
4.1 Generalidades	36
4.2 Metodología	36
4.3 Fase de campo	37
4.4 Fase de laboratorio	37
4.4.1 Actividades de campo y laboratorio	37
4.5 Clasificación de los suelos	38
4.5.1 División en grupos	38
4.5.2 Características de los grupos	38
4.5.3 Definiciones según la AASHTO	38
4.6 Limites de Atterberg o estados de consistencia	39
4.6.1 Límite Líquido (LL)	39
4.6.2 Límite Plástico (LP)	39
4.6.3 Índice de Plasticidad (IP)	39
4.7 Clasificación de los suelos de línea	40
4.8 Estratigrafía del terreno	41

4.9 Compactación de suelos.....	42
4.9.1 Proctor estándar (ASTM D698) Y Proctor modificado (ASTM D1557)	42
4.9.1.1 Desarrollo del ensaye Proctor estándar.....	43
4.10 Ensayo CBR	45
4.10.1 Metodología para la determinación del CBR de diseño.	46
4.11 Resultados del estudio de suelo a los bancos de materiales.....	49
4.12 Consideraciones para la subbase	57
4.13 Consideraciones para la base.....	57
4.14 Estabilización con cemento.....	59
CAPITULO V. DISEÑO GEOMETRICO	62
5.1 Generalidades	62
5.2 Parámetros geométricos para el diseño.....	62
5.2.1 Clasificación funcional	62
5.2.2 Vehículo de diseño	64
5.2.3 Velocidad de diseño	66
5.2.4 Distancia de visibilidad de parada	67
5.2.5 Distancia de visibilidad de rebase.....	68
5.2.6 Tasas de peralte	69
5.2.6.1 Factor de fricción lateral (f)	70
5.2.7 Radio mínimo	71
5.2.7.1 Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral	73
5.2.8 Longitudes de transición.....	73
5.2.9. Sobreancho en curvas.....	76
5.2.10 Curvas circulares simples.....	79
5.3 Alineamiento vertical	81
5.3.1 Curvas verticales.....	81
5.3.2 Curvas verticales en cresta	82
5.3.3 Curvas verticales cóncavas o en columpio	84
5.3.4 Pendientes de control para el diseño.....	85
5.4 Sección transversal.....	86
5.4.1 Plataforma o corona	87
5.4.2 Rasante.....	88

5.4.3 Pendiente transversal.....	88
5.4.4 Hombros o espaldones.....	88
5.4.5 Número de carriles	89
5.4.6 Ancho de carril.....	90
5.4.7 Derecho de vía	90
5.5 Aplicación del software AutoCAD Civil 3D 2019	91
5.5.1 Creación del alineamiento horizontal.....	91
5.5.2 Calculo de peralte	95
5.5.3 Creación del alineamiento vertical	97
5.5.4 Cálculo de elementos de curva circular simple (C-1, Alineamiento horizontal).	103
5.5.5 Cálculo de sobreancho para curva circular simple (C-1).....	104
5.5.6 Cálculo de longitud de transición en una curva circular simple (C-1)	106
5.5.7 Calculo para curvas verticales (C-7).....	108
CAPITULO VI. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.....	110
6.1 Generalidades	110
6.2 Clasificación de los pavimentos	110
6.2.1 Pavimentos flexibles.....	110
6.2.2 Pavimentos semirrígidos	110
6.2.3 Pavimentos rígidos.....	111
6.2.4 Pavimento articulado o de adoquines	111
6.3 Consideraciones del diseño AASHTO 93.....	111
6.3.1 Confiabilidad R	111
6.3.2 Desviación estándar S_o	112
6.3.3 Módulo de resiliencia MR (Sub-Rasante).	113
6.3.4 Drenaje.....	113
6.3.5 Coeficientes estructurales a_i	114
6.3.5.1 Coeficiente estructural para carpeta de rodamiento de adoquín (a1).....	115
6.3.5.2 Coeficiente estructural para base estabilizada (a2).....	115
6.3.5.3 Coeficiente estructural para subbase granular CBR (a3)	116
6.3.6 Numero estructural SN	116
6.3.7 Cálculo de espesores de la estructura de pavimento.	117

RECOMENDACIONES	123
BIBLIOGRAFÍAS	124
ANEXOS.....	I

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Equipo utilizado para el levantamiento.	11
Tabla 2.	Pendientes del terreno.	14
Tabla 3.	Clasificación de terrenos en función de las pendientes naturales..	15
Tabla 4.	Descripción para la identificación de puntos.....	15
Tabla 5.	Resultados de aforo vehicular.	17
Tabla 6.	Vector geográfico.	17
Tabla 7.	Trafico promedio diario anual histórico por tipo de vehículo año 2020, (ECD, La Concepción-San Marcos).	18
Tabla 8.	Trafico promedio diario anual histórico por tipo de vehículo año 2020, (ECD, Empalme Popoyuapa- Santuario de Popoyuapa-Buenos aires).	18
Tabla 9.	Dependencia de estaciones, San Marcos-Masatepe.....	19
Tabla 10.	Factores del primer cuatrimestre del año 2020 (Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos-Masatepe).....	20
Tabla 11.	Transito Promedio Diario Anual, aplicando factores para cada tipología.	21
Tabla 12.	Datos históricos del TPDA, (ECD).	23
Tabla 13.	Datos históricos del consumo nacional de combustible.	24
Tabla 14.	Datos históricos del producto interno bruto de Nicaragua.	25
Tabla 15.	Población Municipio de La Concepción, periodo 2006-2022 (INIDE).	25
Tabla 16.	Tasas de crecimiento.	26
Tabla 17.	Periodo de diseño, según la tipología de la carretera.....	27
Tabla 18.	Factor de distribución por carril (FC).	28
Tabla 19.	Transito proyectado para el año 2038.	29
Tabla 20.	Tránsito de diseño para el año 2038 (Tramo San Antonio-Comarca La Cruz De Mayo).	30
Tabla 21.	Valores de serviciabilidad inicial, según la AASHTO 1993.	31
Tabla 22.	Valores de serviciabilidad final, según la AASHTO 1993.	31
Tabla 23.	Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos.	34
Tabla 24.	Cálculo de ESAL de diseño.....	35
Tabla 25.	Datos recopilados del Proctor estándar en muestra A-2-4 (0). ...	44
Tabla 26.	Valores de CBR para suelos en línea.....	47
Tabla 27.	Valores porcentuales para CBR al 95%.	47

Tabla 28.	Límites para la selección de resistencia.....	48
Tabla 29.	Resultados del ensaye estados de consistencia.	49
Tabla 30.	Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz N° 10.	49
Tabla 31.	Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz N° 10 (Lavado).	50
Tabla 32.	Datos recopilados del Proctor modificado.	51
Tabla 33.	Resultados del ensaye CBR a diferentes grados de compactación. 52	
Tabla 34.	Resultados del ensaye estados de consistencia.	53
Tabla 35.	Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz N° 10.	53
Tabla 36.	Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz N° 10 (Lavado).	54
Tabla 37.	Datos recopilados del Proctor modificado.	55
Tabla 38.	Resultados del ensaye CBR a diferentes grados de compactación. 56	
Tabla 39.	Requisitos para la capa subbase según Normas NIC-2019.	57
Tabla 40.	Requisitos para la capa base según Normas NIC-2019.	58
Tabla 41.	Resultados de los bancos de materiales según las especificaciones de la NIC-2019.	58
Tabla 42.	Requisitos para la capa base estabilizada según Normas NIC-2019. 59	
Tabla 43.	Resultados después de la estabilización con cemento	60
Tabla 44.	Clasificación funcional de las carreteras.	63
Tabla 45.	Dimensiones de los vehículos de diseño.	64
Tabla 46.	Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño.	65
Tabla 47.	Distancia de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical. 68	
Tabla 48.	Distancia de visibilidad de adelantamiento.	69
Tabla 49.	Factores de fricción lateral.	70
Tabla 50.	Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.	72
Tabla 51.	Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral.	73
Tabla 52.	Máximas pendientes relativas de la orilla del pavimento.	75
Tabla 53.	Factores de ajuste por el número de carriles rotados.	75

Tabla 54.	Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.....	83
Tabla 55.	Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de adelantamiento.	84
Tabla 56.	Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio. ...	85
Tabla 57.	Pendiente máxima para carretera colectoras rurales.	86
Tabla 58.	Anchos mínimos de hombros y aceras.	89
Tabla 59.	Parámetros para el diseño	91
Tabla 60.	Elementos de curvas.	107
Tabla 61.	Replanteo de curva.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 62.	Niveles de confiabilidad, según clasificación funcional.....	111
Tabla 63.	Valores de Zr en función de la confiabilidad R.	112
Tabla 64.	Valores para la desviación estándar.....	112
Tabla 65.	Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.	114
Tabla 66.	Resumen de valores usados para el cálculo de los números estructurales.....	118
Tabla 67.	Espesores mínimos sugeridos.	119
Tabla 68.	Resultados del levantamiento topográfico.....	I
Tabla 69.	Formato de clasificación de suelos y mezclas de agregados de suelos para propósitos de construcción de carreteras (AASHTO M-145/ ASTM D-3282). XVIII	
Tabla 70.	Resumen granulométrico (Muestras de línea y Bancos de materiales). XIX	
Tabla 71.	Análisis granulométrico, Sondeo 1, Suelo A-2-4 (0).	XX
Tabla 72.	Análisis granulométrico, Sondeo 1, Suelo A-7-6 (4).	XXI
Tabla 73.	Resultados del ensaye estados de consistencia, Sondeo 1, Suelo A-7-6 (4). XXI	
Tabla 74.	Análisis granulométrico, Sondeo 1, Suelo A-4 (3).	XXII
Tabla 75.	Resultados del ensaye estados de consistencia, Sondeo 1, Suelo A-4 (3). XXII	
Tabla 76.	Análisis granulométrico, Sondeo 1, Suelo A-1-b (0).	XXIII
Tabla 77.	Análisis granulométrico, Sondeo 2, Suelo A-2-4 (0).	XXIII
Tabla 78.	Análisis granulométrico, Sondeo 2, Suelo A-5 (1).	XXIV

Tabla 79.	Resultados del ensaye estados de consistencia, Sondeo 2, Suelo A-5 (1).	XXIV
Tabla 80.	Análisis granulométrico, Sondeo 3, Suelo A-1-b (0).	XXV
Tabla 81.	Análisis granulométrico, Sondeo 3, Suelo A-4 (1).	XXVI
Tabla 82.	Resultados del ensaye estados de consistencia, Sondeo 3, Suelo A-4 (1).	XXVI
Tabla 83.	Análisis granulométrico, Sondeo 4, Suelo A-1-a (0).	XXVII
Tabla 84.	Análisis granulométrico, Sondeo 4, Suelo A-1-b (0).	XXVII
Tabla 85.	Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-7-6 (4).	XXVIII
Tabla 86.	Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-4 (3).	XXIX
Tabla 87.	Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-1-b (0).	XXX
Tabla 88.	Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-5 (1).	XXXI
Tabla 89.	Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-4 (1).	XXXII
Tabla 90.	Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-1-a (0).	XXXIII
Tabla 91.	Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (martes 11/04/23, sentido 1).	XXXIV
Tabla 92.	Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (martes 11/04/23, sentido 2).	XXXV
Tabla 93.	Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (miércoles 12/04/23, sentido 1).	XXXVI
Tabla 94.	Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (miércoles 12/04/23, sentido 2).	XXXVII
Tabla 95.	Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (jueves 13/04/23, sentido 1).	XXXVIII
Tabla 96.	Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (jueves 13/04/23, sentido 2).	XXXIX
Tabla 97.	Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, pt=2.0.	XL
Tabla 98.	Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, pt=2.0.	XLI
Tabla 99.	Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, pt=2.0.	XLII

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de macro localización Masaya – La Concepción.....	3
Figura 2.	Mapa de micro localización Barrio San Antonio – La Cruz De Mayo.	4
Figura 3.	Perfil longitudinal del terreno (Estación 0+000-0+500).....	12
Figura 4.	Perfil longitudinal del terreno (Estación 0+500-1+000).....	13
Figura 5.	Estación de aforo vehicular 0+000.	16
Figura 6.	Porcentaje de vehículos que circulan por el tramo en estudio....	21
Figura 7.	Columna estratigráfica del terreno.	41
Figura 8.	Curva de compactación.	45
Figura 9.	Trazo de la subrasante en columna estratigráfica.	46
Figura 10.	Determinación del CBR de diseño.	48
Figura 11.	Curva granulométrica.	50
Figura 12.	Curva de compactación.	51
Figura 13.	Curva CBR para diferentes grados de compactación.	52
Figura 14.	Curva granulométrica.	54
Figura 15.	Curva de compactación	55
Figura 16.	Curva CBR para diferentes grados de compactación.	56
Figura 17.	Mínima trayectoria de giro para vehículo de diseño SU.	66
Figura 18.	Tasas de peralte de diseño para una tasa de peralte máxima del 8%.	76
Figura 19.	Componente del sobreancho en curvas de carretera.....	77
Figura 20.	Elementos geométricos que caracterizan una curva circular simple.	79
Figura 21.	Tipos de curvas verticales	82
Figura 22.	Sección transversal	87
Figura 23.	Alineamiento horizontal (Configuración preliminar).	92
Figura 24.	Alineamiento (creación de curvas horizontales).	93
Figura 25.	Alineamiento (Creación de desfase).	94
Figura 26.	Alineamiento (Ensanchamiento).	94
Figura 27.	Cálculo de Peralte	95
Figura 28.	Cálculo de Peralte (Parámetros).	95
Figura 29.	Cálculo de Peralte (Comparación).	96
Figura 30.	Elementos de curvas horizontales.	96

Figura 31.	Creación del perfil de superficie.....	97
Figura 32.	Crear perfil a partir de superficie.....	98
Figura 33.	Configuración de vistas del perfil.	99
Figura 34.	Configuración preliminar para el alineamiento.	100
Figura 35.	Creación del alineamiento vertical.	101
Figura 36.	Datos de curvas verticales.....	102
Figura 37.	Transición del sobreancho en curva circular simple.	105
Figura 38.	Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con cemento.	115
Figura 39.	Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular.	116
Figura 40.	Abaco de diseño para pavimento AASHTO 1993.	117
Figura 41.	Diseño estructural (espesores).	120
Figura 42.	Realización de sondeos manuales (Bo. San Antonio- CMCA. La Cruz De Mayo).	XII
Figura 43.	Recolección de muestra (Banco de material, Rancho Don Dennis, La Concepción-Masaya).....	XII
Figura 44.	Recolección de muestra (Banco de material, Rufo Arévalo, El Pochote-Masatepe).	XIII
Figura 45.	Ensayo de granulometría.....	XIII
Figura 46.	Ensayo de granulometría (Saturación, Lavado).	XIV
Figura 47.	Ensayo de estados de consistencia (Limite líquido, Limite plástico).	XIV
Figura 48.	Ensayo Proctor estándar y modificado (secado y tamizado)...XV	
Figura 49.	Ensayo Proctor estándar y modificado (compactación).	XV
Figura 50.	Ensayo de CBR (Elaboración de especímenes, Tamizado y Compactación).	XVI
Figura 51.	Ensayo de CBR (Inmersión, Toma de lectura de expansión).	XVI
Figura 52.	Ensayo de CBR (Penetración, Extracción de núcleo).	XVII
Figura 53.	Curva de compactación, suelo A-7-6 (4).	XXVIII
Figura 54.	Curva de compactación, suelo A-4 (3).	XXIX
Figura 55.	Curva de compactación, suelo A-1-b (0).	XXX
Figura 56.	Curva de compactación, suelo A-5 (1).	XXXI
Figura 57.	Curva de compactación, suelo A-4 (1).	XXXII
Figura 58.	Curva de compactación, suelo A-1-a (0).	XXXIII

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1 Introducción

En Nicaragua el desarrollo vial de los últimos años ha crecido significativamente debido a las mejoras de los accesos a zonas altamente productivas que contribuyen al desarrollo socioeconómico de Nicaragua. El ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) denomina la red vial aproximadamente en 24,763.0 Km lineales de carreteras en diferentes estados estructurales.

El modo de transporte terrestre es esencial para el desarrollo económico y social de un país, ya que a través de este se mueven los principales elementos que lo componen, debido a su importancia es necesario el constante mantenimiento para el buen funcionamiento, preservación y desarrollo del sistema de infraestructura vial, para proporcionar soluciones óptimas de movilidad, accesibilidad, conectividad y contribuir al comercio y al turismo.

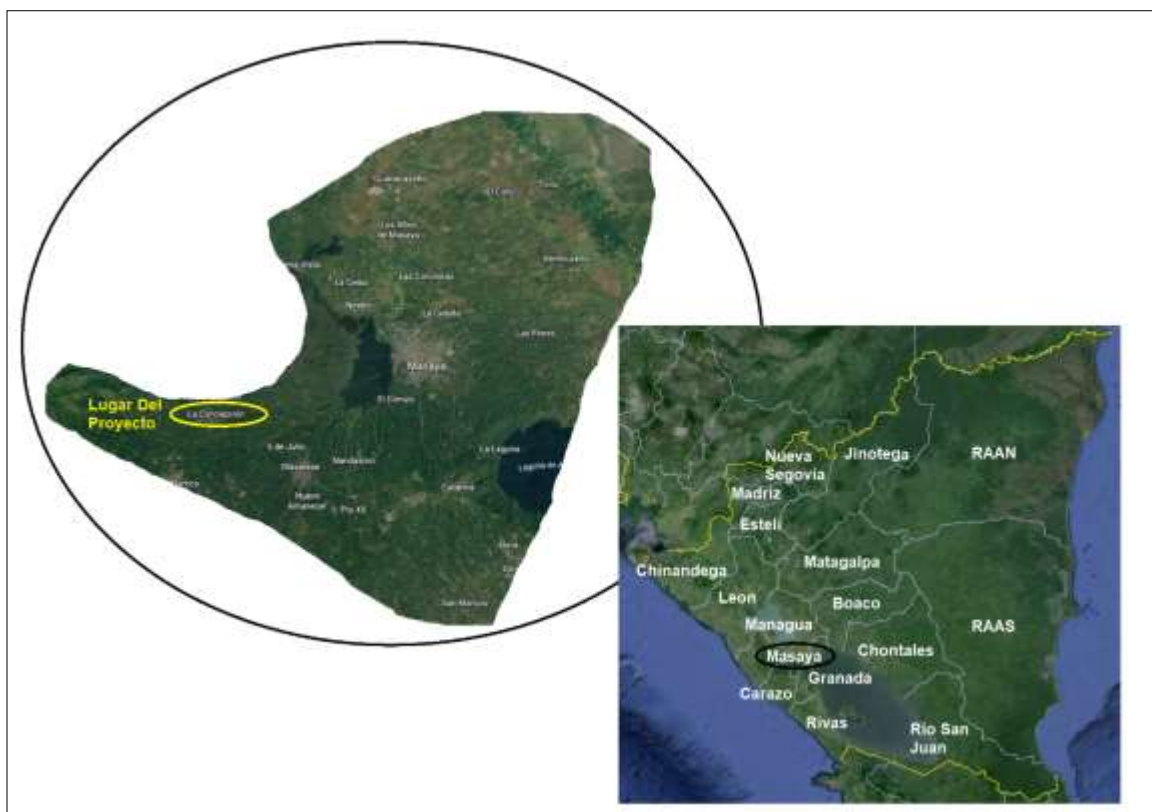
En los presentes años en el municipio de La Concepción se ha presenciado el desarrollo de zonas urbanas, aumentando el crecimiento poblacional y un aumento vehicular, en consecuencia, surge la necesidad de mejorar las vías de acceso, permitiendo la movilidad óptima de los habitantes y el desarrollo del municipio.

La comarca Cruz de Mayo se encuentra ubicada en el municipio de la concepción departamento de Masaya, esta se localiza a 25 km de la capital Managua y a 29 km de Masaya; **(Ver macro y micro localización, figura 1 y 2)**. Una zona caracterizada por un gran número de emprendedores que producen granos básicos, hortalizas verduras y frutas, entre ellas frijoles, piña, plátano, naranja, aguacate, mandarina, por lo que es necesario una vía de transporte en buen estado para el transporte de esta importantísima producción.

El presente documento consistirá en la realización del diseño geométrico y estructura de pavimento articulado el cual garantice la funcionalidad y buenas condiciones de esta vía en estudio. Para el desarrollo del diseño se realizarán estudios topográficos del sitio, estudio de suelo y un análisis vehicular para determinar el tránsito actual (TPDA), además se hará uso del método AASHTO 93 para el diseño de pavimento articulado.

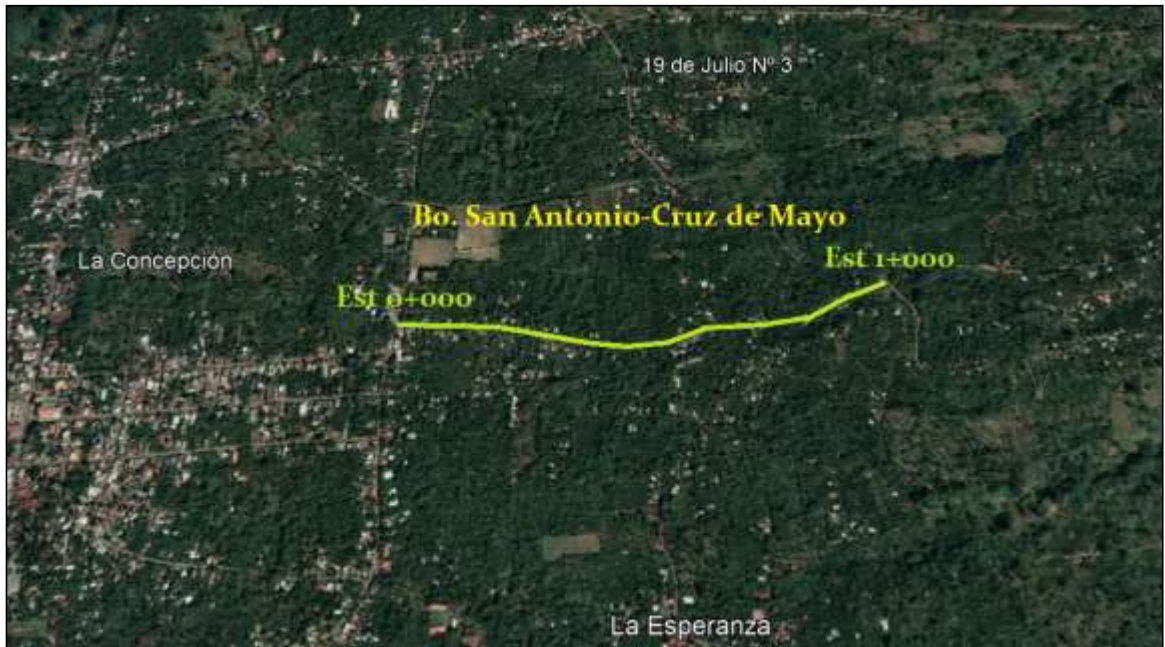
1.2 Localización del proyecto

Figura 1. Mapa de macro localización Masaya – La Concepción.



Fuente: <https://www.google.com/maps/@11.9588627,-86.1745645,24399m/data=!3m1!1e3?hl=es&entry=ttu>.

Figura 2. Mapa de micro localización Barrio San Antonio – La Cruz De Mayo.



Fuente: <https://www.google.com/maps/@11.9385139,-86.1789686,519m/data=!3m1!1e3?hl=es&entry=ttu/>.

1.3 Antecedentes

Gran parte de las vías de acceso interno al municipio de La Concepción se componen por calles de asfalto y pavimento articulado. En la actualidad se han logrado mejorar las condiciones de algunas vías dentro del municipio, donde distintas comunidades han sido beneficiadas para su desarrollo, tal como: San Caralampio, Santiago Pai, El Rodeo, Blanca Arauz, Santa Isabel entre otros.

Referente a las vías rurales, algunas se encuentran construidas solamente trochas o con ausencia de mantenimiento y una de las de mayor importancia es la vía de conexión entre la comarca La Cruz De Mayo y parte central del municipio, donde no cuenta con una superficie de rodamiento optima, el cual genera vulnerabilidad ante los agentes climatológicos que se presentan en todo el año, mayormente en épocas de invierno.

La vía no cuenta con un diseño geométrico ni una estructura de pavimento que permita una óptima circulación de los transportistas y de todos los habitantes afectados, los mantenimientos en la vía son imperceptibles, a lo largo de los años no ha existido una intervención continua por parte de ninguna institución encargada de obras viales, por lo que se necesita un mejoramiento, para el desarrollo socioeconómico de los habitantes que estén directamente beneficiados y a toda la población en general.

1.4 Justificación

El mejoramiento de este medio de conexión del barrio San Antonio-comarca La Cruz de Mayo es muy significativo, contribuirá a un mayor grado de dinamismo a la actividad productiva, adicionando un valor agregado a los distintos productos agrícolas, además que este será un elemento básico de la calidad de vida para sus habitantes, proporcionando seguridad ante las condiciones climatológicas y en la erradicación de fuentes de enfermedades.

Esta vía se encuentra en mal estado permitiendo la proliferación de las malas circunstancias que generan disgustos y la ausencia de los principales medios de transportes de la población, perjudicando directamente a los estudiantes de toda la región y a los agricultores con el traslado de su mercancía.

Dada la necesidad del proyecto para los habitantes de esta zona se propone el diseño geométrico de la vía y el diseño de la estructura de pavimento articulado, con el mejoramiento de esta vía se lograrán beneficios como: menor tiempo de viaje, mayor cantidad de movilización, mayor movimiento en la economía de la zona, seguridad para el transporte en general, especialmente para el transporte de carga y un menor costo de operación para los transportistas.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- ✓ Realizar el diseño geométrico y estructura de pavimento articulado de 1000 ml, comprendido del Barrio San Antonio hasta la comarca La Cruz De Mayo, Municipio de La Concepción, Departamento de Masaya.

1.5.2 Objetivos específicos

- ✓ Efectuar el levantamiento topográfico planialtimétrico, de manera que se conozcan las características del relieve para la realización del diseño geométrico.
- ✓ Elaborar un estudio de tránsito mediante aforos vehiculares durante tres días, que permitan la determinación del TPDA, periodo de proyección del diseño y el cálculo de ejes equivalentes (ESAL).
- ✓ Realizar un estudio de suelo en la línea base y bancos de materiales mediante sondeos manuales, determinando las características físico-mecánicas óptimas del material a ser utilizado.
- ✓ Diseñar geométricamente la vía en estudio, utilizando el Manual Centroamericano de Normas para el diseño Geométrico de Carreteras Regionales (secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA 2011), aplicando el software AutoCAD Civil 3D 2019.
- ✓ Diseñar espesores de pavimento utilizando el método AASHTO 1993 con los datos obtenidos del estudio de suelo y cálculo de ejes equivalentes (ESAL).

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



CAPITULO II. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO

2.1 Generalidades

La topografía estudia el conjunto de procedimientos para determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre, por medio de medidas según los tres elementos del espacio: dos distancias y una elevación o una distancia, una elevación y una dirección. Para distancias y elevaciones se emplean unidades de longitud (en sistema métrico decimal) y para direcciones se emplean unidades de arco (grados sexagesimales).

La topografía es una de las artes más importantes y antiguas se practique el hombre y que los tiempos más antiguos ha sido necesario marcar límite y dividir terrenos, además juega un papel muy importante en muchas ramas de la ingeniería, se requiere levantamientos topográficos antes durante y después de la planeación y construcción de carreteras, vías férreas, aeropuertos, edificios, puentes, túneles, canales y cualquier obra civil, (Manual de topografía y planimetría UNI 2008).

2.1.1 Planimetría

Representación horizontal de los datos de un terreno que tiene por objeto determinar las dimensiones de este. Se estudian los procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin importar sus elevaciones. Dicho de otra manera, estamos representando el terreno visto desde arriba o de planta.

2.1.2 Altimetría

Tiene como objeto principal determinar la diferencia de alturas entre puntos situados en el terreno.

2.1.3 Altiplanimetría

Combinación de las anteriores por lo que se puede realizar un trabajo mediante planimetría y otro por altimetría y después fusionamos ambas.

2.1.4 Alineamiento horizontal

Es la proyección del eje de la vía sobre un plano horizontal y está compuesto por rectas y curvas horizontales. Los cambios de dirección de las rectas se suavizan con las curvas horizontales, en el diseño del alineamiento horizontal se utilizan curvas circulares y curvas espiral de transición.

2.1.5 Secciones transversales

Es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de sus elementos.

2.1.6 Curvas horizontales

Se definen como arcos de circunferencia de un solo radio que son utilizados para unir dos alineamientos rectos de una vía.

2.1.7 Curvas verticales

Es un arco de parábola de eje vertical que une dos tangentes del alineamiento vertical.

2.1.8 Curvas de nivel

Es aquella línea que en un mapa une todos los puntos que tienen igual altitud sobre el nivel del mar o profundidad.

2.2 Procedimiento y desarrollo del levantamiento topográfico

La metodología utilizada para el levantamiento topográfico fue el método tradicional que enumera el perfil longitudinal, secciones transversales y detalles, considerando el mejor para carreteras.

Este levantamiento fue realizado en un día de campo iniciando en el barrio San Antonio y finalizando en la comarca la Cruz de mayo, conociendo así las condiciones actuales del terreno. Se empleó un dispositivo GPS Garmin durante el levantamiento para georreferenciar el punto de inicio, conocido como BM. Para determinar las coordenadas de este punto, seguimos las pautas establecidas en el Manual para la revisión de Estudios Topográficos (MTI). Este manual prescribe el uso de un GPS Manual Navegador, con un período mínimo de estacionamiento de 30 minutos (MPET, pág. 25 cap. III – 3.2). Las coordenadas geodésicas aproximadas resultantes fueron (588971.49, 1319910.7, 523.90). Estas coordenadas servirán como punto de partida tanto para el levantamiento planimétrico como altimétrico.

El alineamiento da comienzo en la estación 0+000 exactamente en la entrada del camino hacia la cruz de mayo, se levantaron detalladamente los puntos correspondientes a la línea central, hombros de la vía, derechos de vía con distancias variables de 6m a 9m, así como detalles de casas, muros, cercos, postes eléctricos, secciones transversales a cada 20 metros y a distancias más cortas donde el camino lo requiriese, finalizando en la estación 1+000 en la comarca Cruz de mayo.

Tabla 1. Equipo utilizado para el levantamiento.

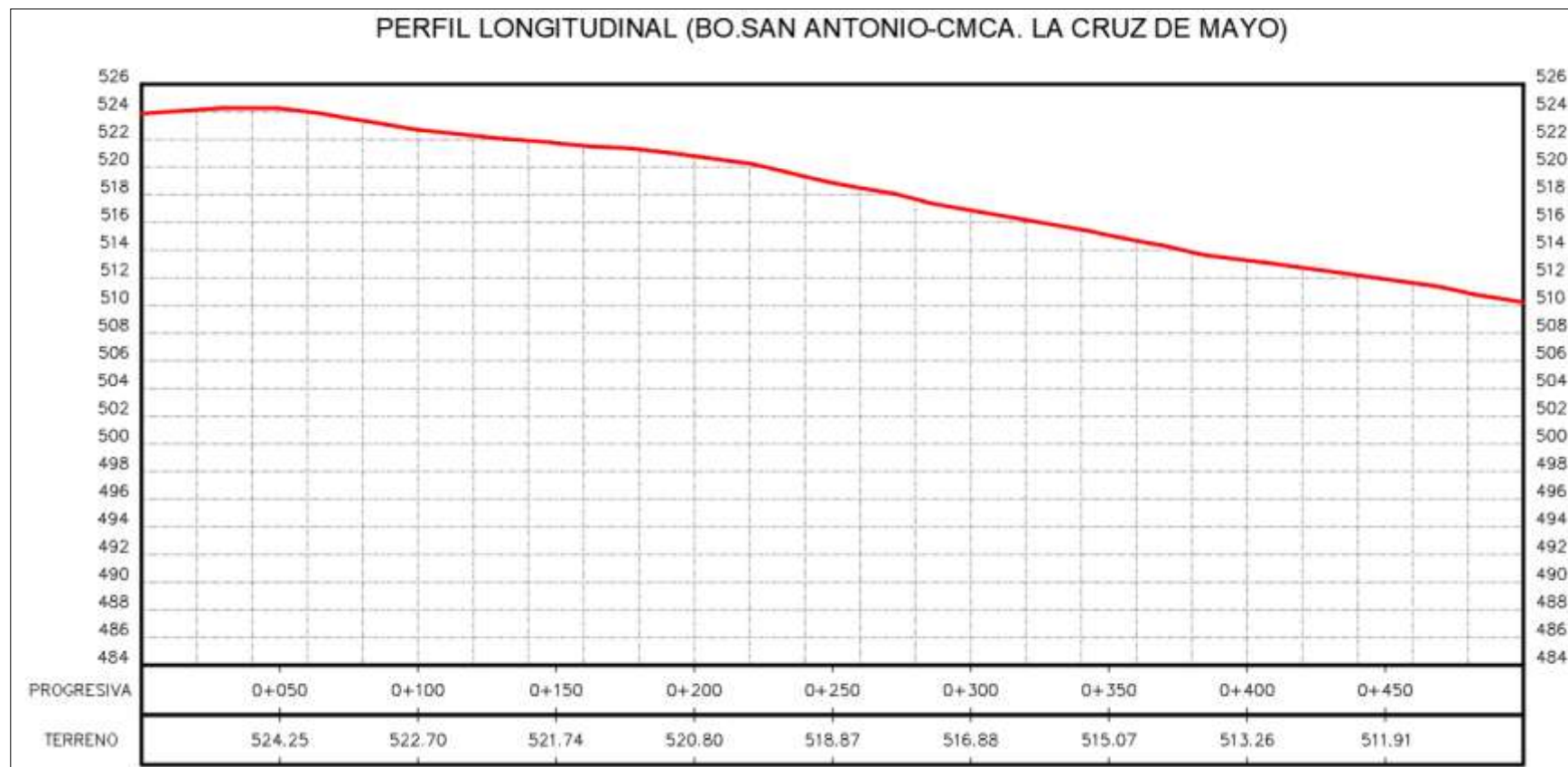
Estación total SOKKIA(iM- 50series)		Clavos	
Trípode		Pintura en aerosol	
Prisma		Machete	
Bastón		GPS Garmin	
Martillo		Cinta métrica	

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Perfil longitudinal

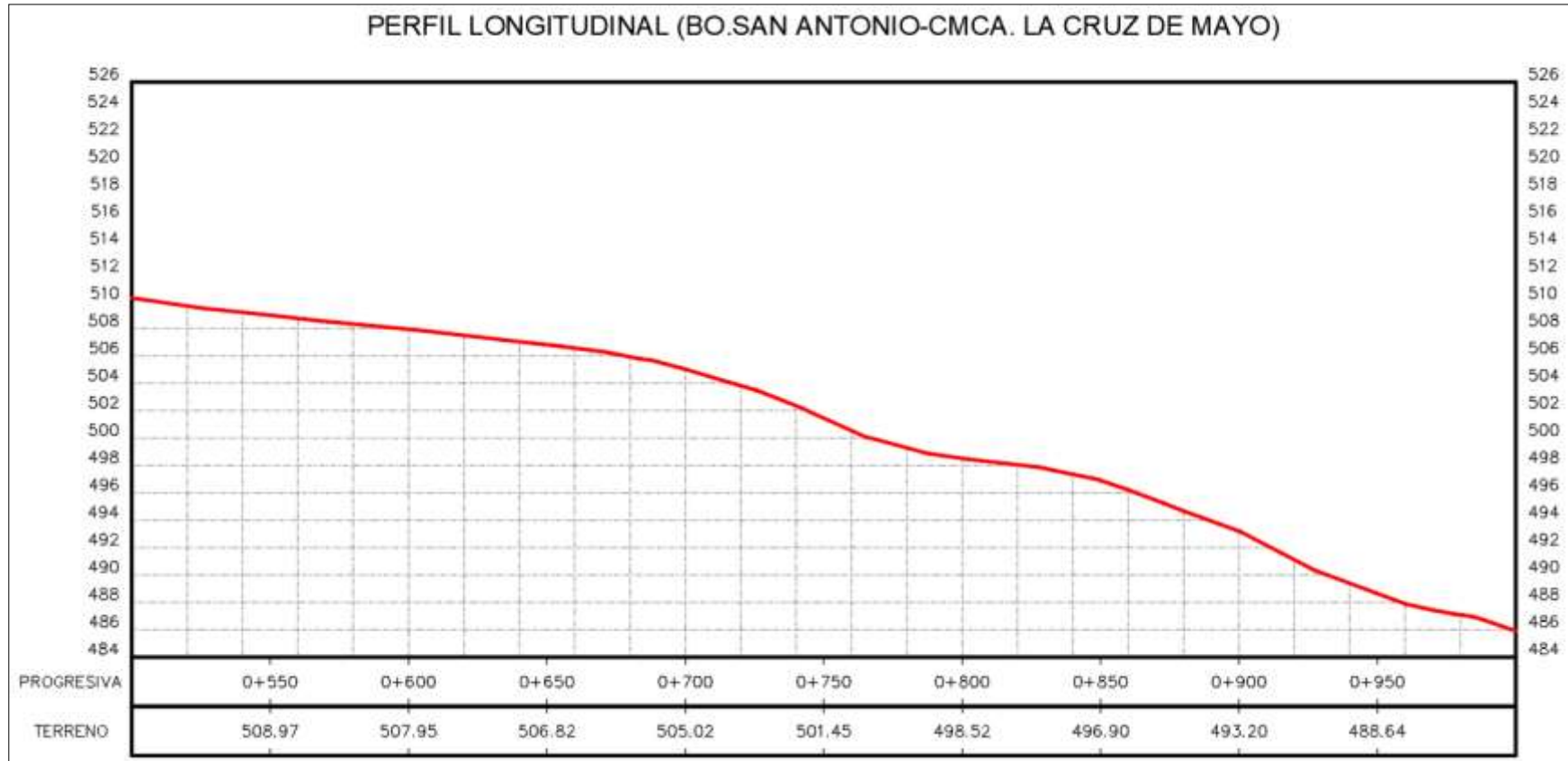
Los datos obtenidos en el levantamiento topográfico, fueron procesados en el software AutoCad civil 3D, para la creación del perfil del terreno, obteniendo así sus características; elevaciones máximas y mínimas para el cálculo de pendientes, **(Ver Figuras 3,4).**

Figura 3. Perfil longitudinal del terreno (Estación 0+000-0+500).



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

Figura 4. Perfil longitudinal del terreno (Estación 0+500-1+000).



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

Estas pendientes se determinaron a partir de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\Delta H}{DH} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

P: Pendiente.

ΔH : Diferencia de altura.

DH : Distancia horizontal.

$$P1 (0 + 000 - 0 + 050) = \frac{524.25 - 523.87}{50} * 100 = 0.76\%$$

Tabla 2. Pendientes del terreno.

Estación Inicial	Elevación (m)	Estación Final	Elevación (m)	DH (m)	Pendiente (%)
0+000	523.87	0+050	524.25	50	0.76
0+050	524.25	0+100	522.70	50	-3.10
0+100	522.70	0+150	521.74	50	-1.92
0+150	521.74	0+200	520.80	50	-1.88
0+200	520.80	0+250	518.87	50	-3.86
0+250	518.87	0+300	516.88	50	-3.98
0+300	516.88	0+350	515.07	50	-3.62
0+350	515.07	0+400	513.26	50	-3.62
0+400	513.26	0+450	511.91	50	-2.70
0+450	511.91	0+500	510.24	50	-3.34
0+500	510.24	0+550	508.97	50	-2.54
0+550	508.97	0+600	507.95	50	-2.04
0+600	507.95	0+650	506.82	50	-2.26
0+650	506.82	0+700	505.02	50	-3.60
0+700	505.02	0+750	501.45	50	-7.14
0+750	501.45	0+800	498.52	50	-5.86
0+800	498.52	0+850	496.90	50	-3.24
0+850	496.90	0+900	493.20	50	-7.40
0+900	493.20	0+950	488.64	50	-9.12
0+950	488.64	0+1000	485.90	50	-5.48
Promedio					-3.80

Fuente: Elaboración propia.

El análisis da como resultado un promedio de 3.80%, con pendientes predominantes menores al 5%, sin embargo, en los últimos 300 metros del terreno se presentan pendientes entre 5% y 15% siendo estas de mayor consideración, por lo que se cataloga como un terreno ondulado según la SIECA 2011, (**Ver tabla 3**).

Tabla 3. Clasificación de terrenos en función de las pendientes naturales.

Tipología del terreno según la SIECA 2011 (Pagina 116)		
P: Plano ($P \leq 5\%$)	O: Ondulado ($5\% > P \leq 15\%$)	M:Montañoso ($15\% > P \leq 30\%$)

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 116.

2.4 Resultados del levantamiento topográfico

Se obtuvieron 330 puntos a lo largo de la vía en estudio, estos fueron procesados en el software Civil 3D para conocer el tipo de relieve del camino que nos servirá para el trazado del alineamiento horizontal y vertical, la creación del perfil longitudinal y las secciones transversales. Las coordenadas del levantamiento topográfico están reflejadas en (**Anexos, Ver tabla 68, página I-XI**).

A continuación, se muestra una tabla de detalles donde se describe las abreviaturas utilizadas en el levantamiento.

Tabla 4. Descripción para la identificación de puntos.

Descripción de las abreviaturas	
PI	Punto de intersección
AD	Adoquinado
PE	Poste eléctrico
LC	Línea central
H	Hombro
C	Cerco
AR	Árbol
MP	Muro perimetral

Fuente: Elaboración propia.

ESTUDIO DE TRÁNSITO



CAPITULO III. ESTUDIO DE TRANSITO

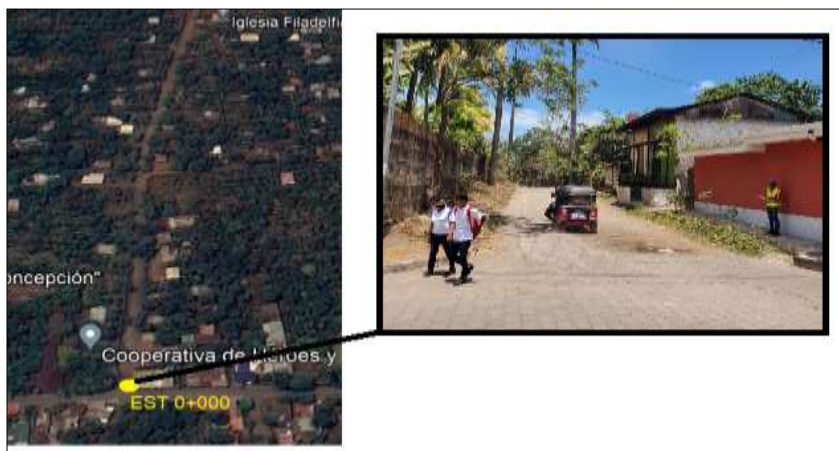
3.1 Generalidades

En el siguiente capítulo se presentan los resultados adquiridos mediante el estudio de tránsito, una de las variables principales para el diseño y las proyecciones a futuro, el cual nos permitió obtener el Trafico Promedio Diario Anual (TPDA), mediante conteos en el sitio de elección para la ejecución del proyecto. Se realizó la proyección del tráfico para un periodo de 15 años, determinando la tasa de crecimiento vehicular, producto interno bruto (PIB) y el crecimiento poblacional.

3.2 Recopilación de datos

El propósito de esta evaluación fue analizar las condiciones del tráfico el cual consistió en la medición del flujo vehicular en ambas direcciones de la vía, con la estación 0+000 como punto de referencia primordial debido a su función como el único acceso a destinos locales **(Ver Figura 5)**. Este estudio fue desarrollado mediante las especificaciones del MTI donde se realizó un análisis previo al aforo identificando el tipo de zona donde generalmente para caminos rurales el flujo vehicular es mayor de 300 TPDA, optando por la realización de conteos de corta duración, durante 12 horas continuas (6:00 am-6:00pm) por tres días consecutivos a partir del 11 al 13 de abril del 2023, (Anuario de aforo de tráfico año 2020, MTI, pág. 9), **(Ver en anexos tablas de aforo 91-96, paginas XXXIV-XXXIX)**.

Figura 5. Estación de aforo vehicular 0+000.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante el aforo vehicular durante los tres días establecidos por 12 horas diarias en el sitio de estudio.

Tabla 5. Resultados de aforo vehicular.

Días	Motocicletas	Automóvil	Camionetas	Microbús<15p asajeros	Liv 2-5 Ton	C2	Otros	Total
Martes	921	14	61	1	22	6	2	1027
Miércoles	864	20	47	0	31	9	4	975
Jueves	823	13	60	2	28	5	3	934
Total de vehículos	2608	47	168	3	81	20	9	2936
Total	2826				101		9	2936
TPD	869	16	56	1	27	7	3	979
% Tipología del vehículo/12 hrs	88.83%	1.60%	5.72%	0.10%	2.76%	0.68%	0.31%	100%
Composición	Vehículos livianos %			Vehículo de pasajeros %	Vehículos pesados %			100%
	96.15%			0.10%	3.75%			

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de la tabla anterior se utilizan para determinar los factores de ajuste, seleccionando primero el vector geográfico correspondiente a la región Pacífico Sur y al departamento de Masaya (**Ver tabla 6**). Se elige la estación de corta duración más cercana al tramo de estudio, NIC-20B, numero 2002, La Concepción-San Marcos (**Ver tabla 7**), aunque con composiciones vehiculares diferentes a los resultados del aforo. Se opta entonces por la estación de Corta Duración Empalme Popoyuapa-Santuario de Popoyuapa, NN-222, que coincide con los datos del aforo y pertenece a la Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos-Masatepe, (**Ver tabla 8 y 9**).

Tabla 6. Vector geográfico.

Numero	Vector	Código	Nombre de región	Departamentos
1	R1	PS	Pacífico Sur	Masaya,Granada,Carazo,Rivas
2	R2	PN	Pacífico Norte	Leon,Chinandega,Managua
3	R3	CN	Central Norte	Nueva Segovia,Madriz,Esteli,Jinotega,Matagalpa, Boaco,Chontales
4	R4	AS	Atlántico Sur	Regio Autónoma del Caribe Sur(RACS), Río San Juan
5	R5	AN	Atlántico Norte	Regio Autónoma del Caribe Norte(RACN)

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2020.MTI, Pag 15.

**Tabla 7. Trafico promedio diario anual histórico por tipo de vehículo
año 2020, (ECD, La Concepción-San Marcos).**

Nº	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	Mc Bus <15 Pas	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx >=4e	Tx-Sx >=5e	V.A	V.C	Otros	TPDA
142	NIC-20B	2002	ECD	La Concepción- San Marcos	2020	2333	721	154	880	336	23	80	143	142	79		14				4,905
					2017	2299	1050	476	1022	637	31	112	302	108	18					24	6,079
					2013	1108	561	221	739	628	6	51	243	58	8		1			9	3,633
					2010	692	666	243	705	524	6	61	207	122	5		2			12	3,245
					2008	571	690	266	711	302	189	74	170	119	6	1	1			6	3,106
					2006	273	410	181	585	423	4	78	110	113	8		4			1	2,190
					2005	202	545	194	678	486	4	78	144	117	4		0			1	2,453
					2002	144	667	283	777	510	2	84	164	147	6		1		2	20	2,807
					1999	112	478	305	694	219	3	89	115	95	10		4	1		13	2,138
					1997	95	486	274	566	130	2	94	73	129	4		5			20	1,878
				EMC:1802																	
				Tasa Crecimiento: 6.74 %	2020	2333	721	154	880	336	23	80	143	142	79		14				4,905
						Liv			4088	Pasaj			439	Pesado			378				
						83 %				9%				8%							

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2020.MTI, Pag 161.

**Tabla 8. Trafico promedio diario anual histórico por tipo de vehículo
año 2020, (ECD, Empalme Popoyuapa- Santuario de Popoyuapa-
Buenos aires).**

Nº	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	Mc Bus <15 Pas	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx ≥5e	V.A	V.C	Otros	TPDA		
516	NN-222	2220	ECO	Emp. Popoyuapa - Santuario de Popoyuapa - Buenos Aires	2020	1978	645	70	166	18	3	11	44	8	16	3	1	7	15	2,985		
					2014	912	291	34	93	9	1	1	34	5	5	1						1,386
					2008	1257	819	53	280	36	12	9	66	31	8	4	1			130		2706
					2005	381	781	77	292	18	1	6	45	25	5	2	1					1633
					EMC:1802																	
				Tasa Crecimiento: 6.74 %	2020	1978	645	70	166	18	3	11	44	8	16	3	1	7	15	2,985		
						Liv2859			Pasaj32			Pesado94										
						96%			1%			3%										

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2020.MTI, Pag 81.

Tabla 9. Dependencia de estaciones, San Marcos-Masatepe.

Estación de Mayor Cobertura	NIC	Numero Estación	Tipo	Nombre del Tramo
1802 San Marcos - Masatepe	NN-211	6203	ECS	Ochomogo-Escalante
	NN-211	6204 A	ECD	Escalante-Las Salinas
	NN-212	220	ECS	El Amparo-San Marcos
	NN-212	221	ECS	San Marcos-El Pilon
	NN-213	222	ECD	Em. Belen-Belen
	NN-214	223	ECS	Belen-Mata Caña
	NN-218	224	ECD	San Pablo-Potosi
	NN-219	219	ECD	El Rosario(Inter Nic-2)- Cuatro Esquinas
	NN-219	225	ECD	Cuatro Esquina-Apompua
	NN-222	2220	ECD	Emp. Popoyuapa- Popoyuapa-Buenos Aires
	NN-223	1602	ECS	El Genizaro-Sotocaballos- Sapoa
	NN-224	229	ECS	Emp. Ostional-El Ostional

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2020.MTI, Pag 81

3.3 Determinación del Transito Promedio Diario Anual (TPDA)

Con los volúmenes de tránsito diurno obtenidos mediante el aforo vehicular se determina el TPDA, multiplicando dichos valores por factores de ajuste que se encuentran establecidos en la estación de mayor cobertura seleccionada; 1802 San Marcos – Masatepe. En la **tabla 10** se muestran los respectivos factores de ajustes del primer cuatrimestre del año 2020 enero – abril, que corresponden al periodo que se realizó el aforo vehicular.

Tabla 10. Factores del primer cuatrimestre del año 2020 (Estación de Mayor Cobertura 1802 San Marcos-Masatepe).

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx-Sx<=4	Tx-Sx=>S	Cx-Rx<=4	Cx-Rx=>S	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1.34	1.29	1.18	1.25	1.23	1.14	1.38	1.15	1.20	1.21	1.00	1.32	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor Semana	0.95	0.96	1.00	0.97	0.92	0.93	0.89	0.91	0.83	0.86	1.00	0.86	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89
Factor Fin de Semana	1.15	1.11	0.99	1.08	1.30	1.22	1.44	1.33	2.07	1.68	1.00	1.69	1.00	1.00	1.00	1.00	1.48
Factor Expansión a TPDA	1.15	1.15	1.35	1.13	1.20	1.23	1.16	1.15	1.04	1.27	1.00	1.54	1.00	1.00	1.00	1.00	1.88

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2020.MTI, Pag 385.

Para determinar TPDA se debe aplicar la siguiente ecuación.

$$TPDA = TP(D)_{12hrs} * F_d * F_s * F_e \quad \text{Ecuación 2}$$

$TP(D)_{(12hrs)}$ = Tránsito promedio diario (12 horas)

F_d = Factor día.

F_s = Factor semana.

F_e = Factor expansión.

De los factores establecidos en el Anuario de Aforo de Trafico 2020, se utilizó el factor día para la expansión del conteo de 12 horas a 24 horas, el factor semana para los tres días a siete días y el factor expansión del TPDA. Los resultados del Tránsito Promedio Diario Anual se muestran en la **tabla 11**.

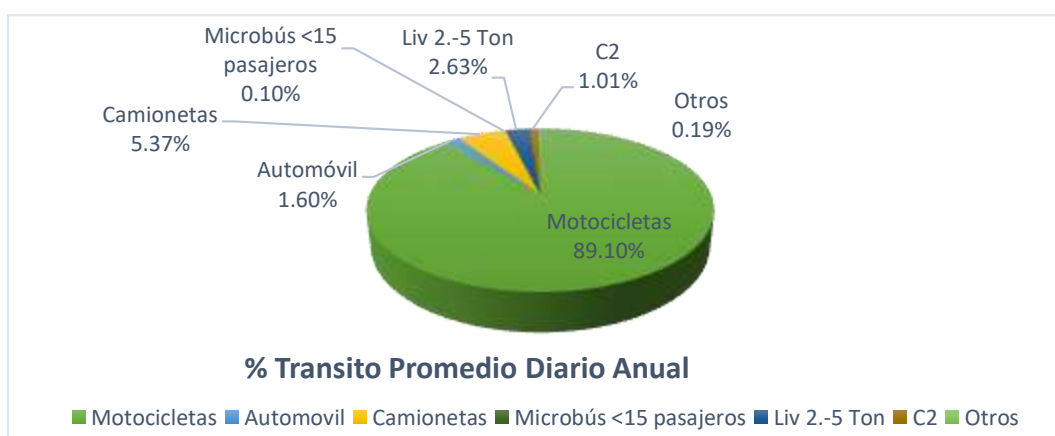
Tabla 11. Transito Promedio Diario Anual, aplicando factores para cada tipología.

Descripción	Vehículos de Pasajeros				Vehículos de Carga		Otro Vehículo de Carga	Total Vehículos/ 12 horas
	Motocicletas	Automóvil	Camionetas	Microbús <15 pasajeros	Liv 2-5 Ton	C2	Otros	
TPD	869	16	56	1	27	7	3	979
Factor día	1.34	1.29	1.25	1.23	1.15	1.20	1.00	
Factor Semana	0.95	0.96	0.97	0.92	0.91	0.83	0.89	
Factor expansión a TPDA	1.15	1.15	1.13	1.20	1.33	2.07	1.00	
TPDA	1272	23	77	1	38	14	3	1428
%TPDA	89.10	1.60	5.37	0.10	2.63	1.01	0.19	100
% Vehículos Livianos		96.17			% Vehículos Pesados		3.83	100

Fuente: Elaboración propia.

El Transito Promedio Diario Anual correspondiente al tramo San Antonio hacia La Comarca La Cruz de Mayo es de 1428 vehículos por día, donde se puede apreciar en el siguiente grafico la distribución en porcentajes de cada tipología vehicular, donde los vehículos livianos representan el mayor porcentaje equivalente a un 96.17 % y los vehículos pesados un 3.83% del TPDA.

Figura 6. Porcentaje de vehículos que circulan por el tramo en estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.4 Proyección del Transito Promedio Diario Anual

El diseño del pavimento también requiere de un análisis que permita la estimación del tránsito a desarrollarse durante un lapso de tiempo, al cual se le denomina periodo de diseño. Para estimar las tasas de crecimiento se toma en consideración variables socioeconómicas y su composición, el crecimiento poblacional, producto interno bruto y el historial del tránsito en la zona según datos del MTI.

Para la determinación de las variables socioeconómicas fue necesario la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$T_c = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100 \quad (\text{Para años discontinuos}) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

TC: Tasa de crecimiento vehicular.

TPDA_i: Trafico promedio diario actual.

TPDA₀: Trafico promedio diario del año base.

n: Diferencia de años.

$$T_{Cn} = \left(\frac{TPDAn}{TPDAn - 1} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (\text{Para años continuos}) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

TC_n: Tasa de crecimiento que se tenga en el periodo de análisis.

TPDAn: Trafico promedio diario del año en análisis.

TPDAn-1: Trafico promedio diario del año anterior.

n: Diferencia de años.

Una vez obtenidas las tasas de crecimiento de un año con otro se procede a aplicar la media geométrica aplicando la siguiente ecuación:

$$Tf = [(TC1 * Tc2 \dots Tcn)^{1/n} - 1] \quad (\text{Para años continuos}) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Tf: Tasa de crecimiento final

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

n: Cantidad de tasas de crecimiento.

3.4.1 Tasa de crecimiento vehicular

La estación de corta duración seleccionada, Empalme Popoyuapa-Santuario de Popoyuapa, con código NN-222, proporciona información detallada sobre el comportamiento del tráfico a lo largo de los años. Estos datos son esenciales para calcular las tasas de crecimiento históricas y entender mejor la evolución del flujo vehicular en la zona, (**Ver tabla 12**).

Tabla 12. Datos históricos del TPDA, (ECD).

Datos históricos del TPDA, Empalme Popoyuapa- Santuario de Popoyuapa		
Año	TPDA	T.C Vehicular %
2005	1633	
2008	2706	18.33
2014	1386	-10.55
2020	2985	13.63
T.Crecimiento(Promedio)		15.98

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2020.MTI, Pag 284.

Ejemplo: Tasa de crecimiento año 2005-2008.

$$Tc = \left[\left(\frac{2706}{1633} \right)^{1/(2008-2005)} - 1 \right] * 100 = 18.33\%$$

$$TC(\text{Promedio}) = \frac{18.33\% + 13.63\%}{2} = 15.98\%$$

Aplicando el promedio de las tasas de crecimiento sin tomar valores negativos se obtiene un resultado de 15.98% el cual se destaca notablemente en comparación con otras variables, lo que la convierte en un factor discriminante. Por consiguiente, se lleva a cabo un análisis para determinar la tasa de crecimiento basada en el consumo de combustible.

3.4.2 Tasa de crecimiento por consumo de combustible

Para calcular la tasa de crecimiento del consumo de combustible, se requirió recopilar datos del Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2020, centrándonos exclusivamente en el consumo de gasolina y diésel.

Tabla 13. Datos históricos del consumo nacional de combustible.

Consumo Nacional de Combustible 2006-2022		
Año	Consumo de Combustible (Miles de barriles)	TCn(Consumo de combustible) %
2006	4702.6	
2007	5221.6	1.110
2008	4,858.8	0.931
2009	4,918.0	1.012
2010	5,143.1	1.046
2011	5,388.0	1.048
2012	5,615.8	1.042
2013	5,788.2	1.031
2014	6,127.1	1.059
2015	6,813.7	1.112
2016	7,287.5	1.070
2017	7,596.4	1.042
2018	7,060.3	0.929
2019	7,267.1	1.029
2020	7,210.1	0.992
2021	8,072.6	1.120
2022	8,077.5	1.001
Tf		0.0344

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2020, Pag 34.

Ejemplo: Tasa de crecimiento año 2006-2007.

$$TCn = \left(\frac{5221.6}{4702.6} \right)^{\frac{1}{1}} = 1.110\%$$

Una vez obtenidas las diversas tasas de crecimiento se aplica la siguiente media geométrica:

$$Tf = \left[(1.110 * 0.931 * 1.012 * 1.046 * 1.048 * 1.042 * 1.031 * 1.059 * 1.112 * 1.070 * 1.042 * 0.929 * 1.029 * 0.992 * 1.120 * 1.001)^{1/(2022-2006)} - 1 \right] = 0.0344 \approx 3.44\%$$

4.4.3 Tasa de crecimiento del producto interno bruto (PIB)

Los datos históricos del Producto Interno Bruto de Nicaragua, proporcionados por el Banco Central de Nicaragua, muestran su comportamiento desde el año 2006 hasta el 2021, detallados en la siguiente tabla.

Tabla 14. Datos históricos del producto interno bruto de Nicaragua.

Datos históricos del producto interno bruto		
Año	PIB (Millones de córdobas)	TCn(PIB) %
2006	118,837.7	
2007	124,870.3	1.051
2008	129,160.5	1.034
2009	124,907.7	0.967
2010	130,416.3	1.044
2011	138,654.2	1.063
2012	147,661.4	1.065
2013	154,936.8	1.049
2014	162,351.3	1.048
2015	170,131.6	1.048
2016	177,894.9	1.046
2017	186,133.6	1.046
2018	179,873.3	0.966
2019	173,074.5	0.962
2020	169,977.3	0.982
2021	187,560.9	1.103
Tf		0.0309

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2021, Pag 10.

3.4.4 Tasa de crecimiento Poblacional

La tasa de crecimiento poblacional se analiza en base a los resultados de la población estimada, publicadas por el Instituto Nacional de información de Desarrollo (INIDE) del departamento de Masaya-municipio de La Concepción comprendido del año 2006 al año 2022, **(Ver tabla 15)**.

Tabla 15. Población Municipio de La Concepción, periodo 2006-2022 (INIDE).

Población total por año del Municipio de La Concepción 2006-2022		
Año	Población	TCn(POB) %
2006	35,908	
2007	36,464	1.015
2008	37,022	1.015
2009	37,597	1.016
2010	38,155	1.015
2011	38,690	1.014
2012	39,226	1.014
2013	39,788	1.014
2014	40,355	1.014
2015	40,927	1.014
2016	41,503	1.014
2017	42,085	1.014
2018	42,669	1.014
2019	43,260	1.014
2020	43,854	1.014
2021	44,453	1.014
2022	45,055	1.014
Tf		0.0143

Fuente: Instituto Nacional de información de Desarrollo (INIDE), Pag 72.

3.4.5 Análisis de las tasas de crecimiento a utilizar

Para la proyección del tránsito vehicular, se determinó un promedio de las siguientes variables; Tasa por consumo de combustible, Tasa de crecimiento poblacional y del producto interno bruto, obteniendo un resultado de 2.65% (**Ver tabla 16**).

Tabla 16. Tasas de crecimiento.

Tasas de crecimiento		
T.C. Combustible	T.C Poblacional	T.C P.I.B
3.44%	1.43%	3.09%
2.65%		

Fuente: Elaboración propia.

$$TC(\text{Promedio}) = \frac{3.44\% + 1.43\% + 3.09\%}{3} = 2.65\%$$

3.5 Periodo de diseño

Para la propuesta del periodo de diseño, se seleccionó la tipología de la carretera de acuerdo al comportamiento vehicular actual, obteniendo mediante el análisis de tránsito un TPDA de 1428 vehículos, clasificando el tramo en estudio como una colectoras rural, ya que el tramo en estudio se encuentra fuera de zonas altamente urbanizadas y donde el TPDA se encuentra entre los rangos de 500 a 3000 vpd, de igual manera proponiendo un periodo de diseño de 15 años, basándonos en las especificaciones del Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, capítulo 1, pagina 33.

En la siguiente tabla se especifica el periodo de diseño en base a la tipología de la carretera.

Tabla 17. Periodo de diseño, según la tipología de la carretera.

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Autopista Regional	20-40 años
Troncales Suburbanas	15-30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10-20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011.

3.5.1 Factor de crecimiento

Este factor esta se obtiene a partir del periodo de diseño y que a su vez involucra la tasa de crecimiento vehicular. Para determinar este factor se implementa la siguiente ecuación.

$$F_c = 365 * \left(\frac{(1 + i)^n - 1}{i} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

FC: Factor de crecimiento.

i: Tasa de crecimiento vehicular (2.65%).

n: Periodo de diseño (15 años).

$$F_c = 365 * \left(\frac{(1 + 0.0265)^{15} - 1}{0.0265} \right) = 6617.076$$

3.5.2 Factor de Distribución Direccional (FD)

Se expresa como la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación, su valor es generalmente 0.5 para el flujo vehicular en ambas direcciones y 1 si poseen un solo sentido. La característica más general es que el tránsito se divida en partes iguales en relación a la cantidad total de vehículos que circulan por la vía, por lo que se consideró un valor a 0.5.

3.5.3 Factor distribución carril (FC)

La guía de diseño para pavimento AASHTO 93 especifica que este factor está basado en el carril de diseño, el cual recibe el mayor número ESAL'S. Para el diseño se consideró que cada dirección cuenta con un solo carril, por lo que se establece un factor de distribución por carril igual a 1.

En la siguiente tabla, se detallan los factores de distribución por carril, considerando la cantidad de carril en una dirección.

Tabla 18. Factor de distribución por carril (FC).

Numero de carriles en cada dirección	% ESAL en el carril de diseño
1	1
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO 93, Pag 129.

3.5.4 Transito proyectado para el año 2038

Para el transito proyectado al año 2038, se determinó con la ecuación 12 y se tomó en cuenta el volumen de tránsito vehicular actual del 2023, con una tasa de crecimiento de 2.65 % y un periodo de diseño de 15 años.

$$T_n = T_o * (1 + i)^n \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

T_n: Transito proyectado al año n.

T_o: Transito inicial en el año n.

i: Tasa de crecimiento.

n: Periodo de diseño (15 años).

Sustituyendo valores en la ecuación 12 se obtuvo los siguientes resultados para cada tipología.

Tipología vehicular:

Motocicletas

$$T_n = 1272 * (1 + 0.0265)^{15} = 1883 \text{ Veh/día}$$

Automóviles

$$T_n = 23 * (1 + 0.0265)^{15} = 34 \text{ Veh/día}$$

Camionetas

$$T_n = 77 * (1 + 0.0265)^{15} = 114 \text{ Veh/día}$$

Tabla 19. Transito proyectado para el año 2038.

Tipología vehicular	TPDA actual 2023	Tc	n	TPDA proyectado al 2038
Motocicletas	1272	0.0265	15	1883
Automóvil	23	0.0265	15	34
Camionetas	77	0.0265	15	114
Microbús <15 pasajeros	1	0.0265	15	1
Liv 2-5 Ton	38	0.0265	15	56
C2	14	0.0265	15	21
Otros	3	0.0265	15	4
Total	1428			2114

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Tránsito de diseño

En primer lugar, resulta necesario determinar el periodo de proyección del tráfico, el cual está en función de la vida útil del pavimento, así como las tasas de crecimiento, factor distribución y el factor de distribución direccional que se han determinado con anterioridad.

El tránsito proyectado de diseño se calculó mediante la siguiente expresión.

$$TD = TPDA0 * FC * FD * FC' \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

TD: Tránsito de diseño.

TPDA0: Tránsito promedio diario anual del año cero.

FC: Factor de crecimiento.

FD: Factor de distribución direccional.

FC': Factor de distribución carril.

$$TD_{\text{motos}} = 1272 * 6617.076 * 0.5 * 1 = 4,208,460$$

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados obtenidos para cada tipología vehicular, mediante la ecuación 8, obteniendo un total para el tránsito por carril de diseño de 4,714,667 vehículos.

Tabla 20. Tránsito de diseño para el año 2038 (Tramo San Antonio-Comarca La Cruz De Mayo).

Tipología vehicular	Tránsito actual 2023	Factor crecimiento	Factor direccional	Factor carril	Tránsito de diseño (TD)
Motos	1272	6617.076	0.5	1	4,208,460
Automóvil	23	6617.076	0.5	1	76,096
Camionetas	77	6617.076	0.5	1	254,757
Microbús <15 pasajeros	1	6617.076	0.5	1	3,309
Liv 2-5 Ton	38	6617.076	0.5	1	125,724
C2	14	6617.076	0.5	1	46,320
Total					4,714,667

Fuente: Elaboración propia.

3.7 Consideraciones para determinar el ESAL de diseño

3.7.1 Serviciabilidad ΔPSI

Es la manera en que un pavimento cumple su función de ser cómoda, fácil, rápida y segura para la circulación de los vehículos. El índice de serviciabilidad varía de 5 (Excelente) a 0 (Pésimo). El método AASHTO 93 predice el porcentaje de pérdidas de serviciabilidad (ΔPSI), para varios niveles de tránsito y cargas de ejes, entre mayor sea la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI), mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar.

3.7.2 Serviciabilidad Inicial

Para este diseño se ha optado por utilizar el valor de serviciabilidad inicial de 4.2 para pavimentos flexibles, dicho valor es aplicable para pavimentos de tipo articulado, teniendo este un comportamiento similar a los de pavimentos flexibles.

Tabla 21. Valores de serviciabilidad inicial, según la AASHTO 1993.

Valores de serviciabilidad inicial	
Para pavimentos rígidos	Po = 4.5
Para pavimentos flexibles	Po = 4.2

Fuente: Guía de diseño para estructuras de pavimentos AASHTO 1993, Pág. 181.

3.7.3 Serviciabilidad Final

Es común que en zonas con bajos volúmenes de tráfico, se tolere una menor serviciabilidad final en comparación con áreas o vías de mayor importancia, para este caso según el estudio de tránsito se considera como una zona con un comportamiento de flujo vehicular menor, tomando un valor de serviciabilidad final igual a 2.0.

Tabla 22. Valores de serviciabilidad final, según la AASHTO 1993.

Valores de serviciabilidad final	
Caminos muy importantes	Pt = 2.5
Caminos de tránsito menor	Pt = 2.0

Fuente: Guía de diseño para estructuras de pavimentos AASHTO 1993, Pág. 181.

3.7.4 Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño (Δ PSI)

La AASHTO plantea que la pérdida de serviciabilidad es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final, en la que para este diseño su valor es equivalente a 2.2.

La pérdida de serviciabilidad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$$

Ecuación 9

Donde:

ΔPSI : Pérdida de serviciabilidad.

P_o : Serviciabilidad inicial.

P_t : Serviciabilidad final o terminal

$$\Delta\text{PSI} = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

3.7.5 Número estructural SN

Es un número abstracto que expresa la resistencia estructural del pavimento requerido. Para calcular el ESAL o W18, se debe asumir un valor inicial SN, como lo sugiere el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos, en la que para este trabajo monográfico se asume un valor SN=5.

3.8 ESAL de diseño

Los pavimentos se diseñan en función del efecto del daño que produce el paso de un eje con una carga y para que resistan determinado número de cargas aplicadas durante su vida útil. Un tránsito mixto está compuesto de vehículos de diferente peso y número de ejes equivalentes de 80 KN o 18 Kips, por lo que se les denominara "Equivalent Simple Axial Load" o ESAL.

El ESAL de diseño se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{ESAL o W18} = \text{TD} * \text{Factor ESAL} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

ESAL: Cantidad de ejes equivalentes 18 Kips.

TD: Transito de diseño.

FESAL: Factor ESAL.

3.8.1 Factor ESAL

Para el cálculo del ESAL de diseño se requiere de la utilización de los factores establecidos por la Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, (apéndice D, Pagina 22), en las que se reflejan los factores equivalentes de carga por eje (Sencillo), tipo de pavimento (Flexible o Articulado), serviciabilidad final del diseño (2.20) y el coeficiente estructural de carga SN (5, asumido), **(Ver anexos, tablas 97-99 página XL-XLII).**

Para determinar los factores de equivalencia, se requiere conocer las cargas por cada tipo de eje y vehículo, dichos datos son suministrados por el Ministerio de Transporte e Infraestructura **(Ver tabla 23)**, cabe mencionar que estos valores de cargas no se encuentran en las tablas especificadas por la Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, por lo que se hará el cálculo mediante la siguiente ecuación de interpolación para ser encontrados.

$$Y = \frac{(X - X_1)Y_2 + (X_2 - X)Y_1}{(X_2 - X_1)} \quad \text{Ecuación 11}$$

Tabla 23. Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos.

Tipo de vehiculo	Peso por eje en TON	Peso por eje en Lbs
Automóvil	1/1	2200/2200
Jeep	1/1	2200/2200
Camioneta	1/2	2200/4400
MC-15	2/4	4400/8800
MC-12-30	4/8	8800/17600
C2-Liv	4/8	8800/17600
Bus-C2	5/10	11000/22000

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), Dirección general de vialidad, departamento de pesos y dimensiones.

3.8.2 Cálculo del factor ESAL (factores de equivalencia de carga, eje simple).

1. Para una carga de 2.20 Kips/2.20 Kips (Automóvil).

$$X = 2.20 \quad X1 = 2 \quad X2 = 4$$

$$Y1 = 0.0002 \quad Y2 = 0.002$$

$$Y = \frac{(2.20 - 2)(0.002) + (4 - 2.20)(0.0002)}{(4 - 2)} = 0.00038$$

2. Para una carga de 2.20 Kips/4.40 Kips (Camioneta).

$$X = 4.40 \quad X1 = 4 \quad X2 = 6$$

$$Y1 = 0.002 \quad Y2 = 0.009$$

$$Y = \frac{(4.40 - 4)(0.009) + (6 - 4.40)(0.002)}{(6 - 4)} = 0.0034$$

Mediante el método anterior de interpolación se obtuvo el resto de los factores, respecto a cada tipo de vehículo presente en el diseño. Sustituyendo en la ecuación 10 se obtiene el ESAL de diseño para cada tipología vehicular.

$$\text{ESAL o W18 (Automovil)} = 76,096 * 0.00038 = 29 \text{ veh}$$

Tabla 24. Cálculo de ESAL de diseño.

Vehículo	Peso por eje (Kips)	Tipo de eje	TD	Factor ESAL	ESAL de diseño
Automoviles	2.20	Simple	76,096	0.00038	29
	2.20	Simple		0.00038	29
Camionetas	2.20	Simple	254,757	0.00038	97
	4.40	Simple		0.0034	866
Micro<15 pasajeros	4.40	Simple	3,309	0.0034	11
	8.80	Simple		0.0502	166
Liv 2-5 Ton	8.80	Simple	125,724	0.0502	6,311
	17.6	Simple		0.9206	115,742
C2	11.0	Simple	46,320	0.1265	5,859
	22.0	Simple		2.35	108,852
ESAL de diseño					237,963

Fuente: Elaboración propia.

Para este diseño se obtiene un valor total de ESAL o W18 de 237,963 ejes equivalentes de 8.2 toneladas en el carril de diseño.



ESTUDIO DE SUELO

CAPITULO IV. ESTUDIO DE SUELO

4.1 Generalidades

En la actualidad, la responsabilidad técnica y moral profesional de cada ingeniero reside en la elaboración de un buen trabajo como en el estudio de las condiciones de ciertas estructuras o del suelo para la elaboración de un gran proyecto. En este caso, el estudio geotécnico de suelos es fundamental para la seguridad ciudadana, pues un error puede generar hasta el colapso de estructuras.

En carreteras, el estudio de los suelos ha sido fundamental para la construcción de las mismas, puesto que existen diferentes tipos de piso en un determinado territorio. Investigar el tipo de suelo permite conocer las características físicas y mecánicas con las que cuenta el terreno vial. Así mismo, se puede identificar la composición estratigráfica, que son las capas o estratos y el material que lo conforman en su profundidad. Incluso, conocer a qué profundidad se encuentra la capacidad portante o nivel de fundación. Para finalmente identificar cuál debe ser el diseño y la dosificación de la cimentación de la carretera.

La exploración del suelo en el sitio se hace con el propósito de obtener información y muestras que permitan determinar en el laboratorio las propiedades y características del suelo explorado, de tal manera que le faciliten al ingeniero obtener los datos necesarios del lugar que se investiga para dar las recomendaciones pertinentes para la construcción de la obra.

4.2 Metodología

El estudio de suelo se realizó en dos fases, una de campo donde se recolectaron las muestras desde el barrio san Antonio hasta la comarca la Cruz de mayo, y una segunda fase de laboratorio que consistió en analizar todas las muestras recolectadas del sitio, (**Ver figuras 42-52, paginas XII-XVII**).

4.3 Fase de campo

Esta primera fase consistió en hacer la visita de campo al sitio correspondiente, para la extracción de las muestras se utilizaron sondeos manuales como uno de los métodos de exploración aprobados para la construcción de carreteras, se realizaron 4 sondeos manuales alternando a cada lado de la vía a cada 250 metros y 1.5 metros de profundidad a lo largo de 1 kilómetro, tal y como lo indica el MTI (Manual para la revisión de estudios geotécnico, capítulo 2, pág. 6. (MTI).

Obteniendo un total de 14 muestras para su respectivo análisis, para la realización de estos sondeos manuales se utilizó barra, palín doble, posteadora, pala y cinta, clasificando las muestras visualmente y al tacto posteriormente llevándolas al laboratorio para una clasificación más exacta.

4.4 Fase de laboratorio

Esta consiste en analizar cada una de las muestras recolectadas para conocer sus propiedades físicas y mecánicas, así como la capacidad portante del suelo para soportar cargas.

4.4.1 Actividades de campo y laboratorio

- Exploración muestreo y contenido de humedad (ASTM D 420, ASTM D 2216).
- Determinación del análisis granulométrico de los suelos por el método mecánico (ASTM D 422, AASHTO T-88).
- Determinación del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos (ASTM D 4318, ASSHTO 89-90).
- Clasificación de suelos y mezclas de agregados de suelos para propósitos de construcción de carreteras (AASHTO M-145, ASTM D-3282).
- Ensayo compactación de suelos, método Proctor estándar (ASTM D-698 AASHTO T99).
- Ensayo compactación de suelos, método Proctor modificado (ASTM D 1557, ASHTO T 180).

- Ensaye de relación de soporte de california (C.B.R) (ASSTO T 193, ASTM D 1883).

4.5 Clasificación de los suelos

El sistema de clasificación de suelos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) se utiliza para evaluar la idoneidad de un suelo como capa de soporte en la construcción de carreteras. Su objetivo es determinar la aceptabilidad de un suelo para ser utilizado como material de subbase y base en un pavimento, así como medir su calidad mediante el índice de grupo. Se emplearon ensayos granulométricos y de consistencia, siguiendo los métodos ASTM y AASHTO, respectivamente. Los resultados se registraron utilizando el formato de clasificación proporcionado por la AASHTO en 1993, detallado en la **tabla 69 en los anexos, página XVIII**.

4.5.1 División en grupos

- El suelo se divide en siete grupos principales de A-1 a A-7.
- A-1, A-2 y A-3: Materiales granulares con un 35% o menos de partículas que pasan a través del tamiz No 200.
- A-4, A-5, A-6 y A-7: Suelos con más del 35% que pasa a través del tamiz No 200, principalmente limo y arcilla.

4.5.2 Características de los grupos

- Grupos A-1, A-2 y A-3: Materiales granulares con buen comportamiento como capa de soporte.
- Grupos A-4, A-5, A-6 y A-7: Suelos con mayor contenido de finos (limo y arcilla).

4.5.3 Definiciones según la AASHTO

- Grava: Pasa por el tamiz de 3" (75 mm) y se retiene en el tamiz numero 10 (2mm).

- Arena gruesa: Pasa por el tamiz numero 10 (2mm) y se retiene en el tamiz numero 200 (0.075 mm).
- Limo y arcilla: Pasa por el tamiz número 200.

4.6 Límites de Atterberg o estados de consistencia

Los Límites de Consistencia, también conocidos como Límites de Atterberg, son propiedades importantes de los suelos finos que influyen en su comportamiento y manipulación.

4.6.1 Límite Líquido (LL)

Es el mayor contenido de humedad que puede tener un suelo sin pasar del estado plástico al estado líquido. Indica el contenido de agua para el cual el suelo tiene una cierta consistencia, con una resistencia al corte de 2.5 g/cm² y se determina utilizando la prueba del cono de Casagrande.

4.6.2 Límite Plástico (LP)

Es el límite entre el estado semisólido y el estado plástico de un suelo, el cual representa la menor cantidad de humedad que un suelo necesita para exhibir propiedades plásticas y se determina mediante la prueba del rodillo de Atterberg.

4.6.3 Índice de Plasticidad (IP)

Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico este indica el rango de contenido de humedad en el cual el suelo permanece en estado plástico antes de cambiar al estado líquido.

Estos límites son particularmente importantes en ingeniería geotécnica y mecánica de suelos, ya que proporcionan información sobre la plasticidad y la capacidad de deformación del suelo. Los suelos con valores más altos de límite líquido y límite plástico tienden a ser más plásticos y pueden experimentar mayores deformaciones bajo carga.

4.7 Clasificación de los suelos de línea

- **Primer sondeo (Estación 0+000)**

El primer estrato se encuentra desde la superficie hasta 0.26 m de profundidad clasificándose como un A-2-4 con índice de grupo 0 y sin plasticidad, el segundo estrato se encuentra entre 0.26-0.77 m siendo este un A-7-6 con índice de grupo 4 con un LL de 44% y IP de 23% , el tercer estrato está entre 0.77-1.22 m siendo este un A-4 con índice de grupo 3 con un LL de 37% y IP de 9%, el cuarto y último de este sondeo se encuentra a una profundidad comprendida entre 1.22 a 1.50 m clasificándose como A-1-b con índice de grupo 0 y no posee plasticidad.

- **Segundo sondeo (Estación 0+350).**

En segundo sondeo encontramos 2 estratos el primero se encuentra entre 0-0.81 m de profundidad, se clasifica como A-2-4 con índice de grupo 0 y no presenta plasticidad, el segundo estrato se encuentra entre 0.81 – 1.50 m perteneciente al grupo A-5 con índice de grupo 1 con un LL de 51% y IP de 8%.

- **Tercer sondeo (Estación 0+650)**

El primer estrato se encuentra entre 0 – 0.39 m de profundidad clasificándose como A-1-b con índice de grupo 0, no presenta plasticidad, el segundo estrato está comprendido entre 0.39 – 1.50 m clasificándose como un A-4 con índice de grupo 1 presenta un LL de 35% y un índice de plasticidad de 6%.

- **Cuarto sondeo (Estación 1+000)**

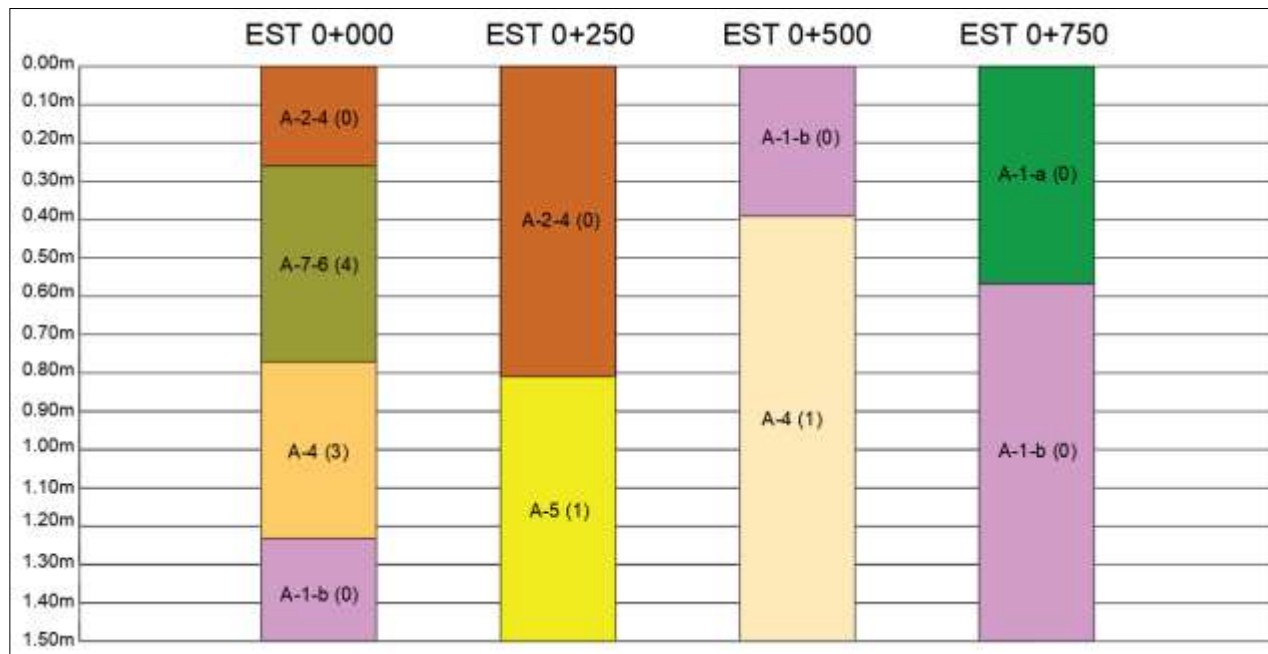
En este sondeo nos encontramos en presencia de 2 estratos, estando el primero a una profundidad entre 0 – 0.56 m, se clasifica como A-1-a con índice de grupo 0 y no presenta plasticidad, el segundo estrato se encuentra entre 0.56 – 1.50 m de profundidad clasificándose como A-1-b con índice de grupo 0 y no presenta plasticidad.

Los resultados obtenidos a través de los ensayos de granulometría y estados de consistencia de cada sondeo se encuentran reflejados en **anexos, tablas 70-84, página XIX-XXVII.**

4.8 Estratigrafía del terreno

El perfil estratigráfico del tramo en estudio se describe considerando desde la superficie hasta los 1.50 metros de profundidad que exigen los sondeos manuales. Como se puede observar en el perfil predominan los grupos de suelos A-2-4, A-1-b, A-1-a, Siendo estos 2 últimos grupos una mezcla bien graduada de fragmentos de rocas o grava arena gruesa y fina, un material poco plástico o incluso sin plasticidad alguna, siendo estos excelentes.

Figura 7. Columna estratigráfica del terreno.



Fuente: Elaboración propia

4.9 Compactación de suelos

La compactación del suelo es un proceso mecánico destinado a mejorar su resistencia, compresibilidad y capacidad de soportar deformaciones. Este proceso implica la reducción rápida de los vacíos en el suelo, lo que resulta en cambios significativos en el volumen, principalmente debido a la expulsión de aire. La densidad máxima del suelo está relacionada con la humedad óptima necesaria para lograrla.

4.9.1 Proctor estándar (ASTM D698) Y Proctor modificado (ASTM D1557)

Estos se refieren a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado para diferentes contenidos de humedad. Un suelo con un contenido de humedad es colocado en diferentes capas dentro de un molde cilíndrico, cada capa compactada en diferentes porcentajes de compactación, determinando así su peso unitario seco, procedimiento repetido para un número suficiente de contenidos de humedad para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de humedad de agua del suelo. Graficados estos valores representando una relación curvilínea conocida como curva de compactación, donde los valores de contenido de humedad óptima y densidad máxima seca son encontrados en dicha curva.

4.9.1.1 Desarrollo del ensaye Proctor estándar

A manera de ejemplo se desarrollaron los cálculos correspondientes para el estrato 1 de la estación 0+000 de la línea del terreno. Los resultados del ensaye Proctor estándar para el resto de sondeos se detallan en **anexos página XXVIII-XXXIII, tablas 85-90, figuras 53-58.**

1. Determinación del contenido de humedad

$$\%w = \frac{(wh + T) - (ws + T)}{(ws + T) - T} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$\%w$ = Contenido de humedad

Wh = Peso de la muestra humeda

Ws = Peso de la muestra seca

T = Tara

$$\%w = \frac{(108.8 + 40.9) - (95.1 + 40.9)}{(95.1 + 40.9) - 40.9} * 100 = 14\%$$

2. Determinación del peso volumétrico húmedo

$$\gamma_h = \frac{(Wh + m) - Wm}{Vm} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

γ_h = Peso volumetrico humedo en Kg/m³

$Wh + m$ = Peso de la muestra humeda mas molde

Wm = Peso del molde

Vm = Volumen de la muestra.

$$\gamma_h = \frac{(4.288 \text{ kg} + 1.739 \text{ kg}) - 4.288 \text{ kg}}{0.000929 \text{ m}^3} = 1872 \text{ kg}$$

3. Determinación del peso volumétrico seco

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \left(\frac{\%w}{100}\right)} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

γ_d = Peso volumetrico seco en Kg/m³

γ_h = Peso volumetrico humedo en Kg/m³

$\%w$ = Contenido de humedad

$$\gamma_d = \frac{1872}{1 + \frac{14}{100}} = 1642 \text{ kg}$$

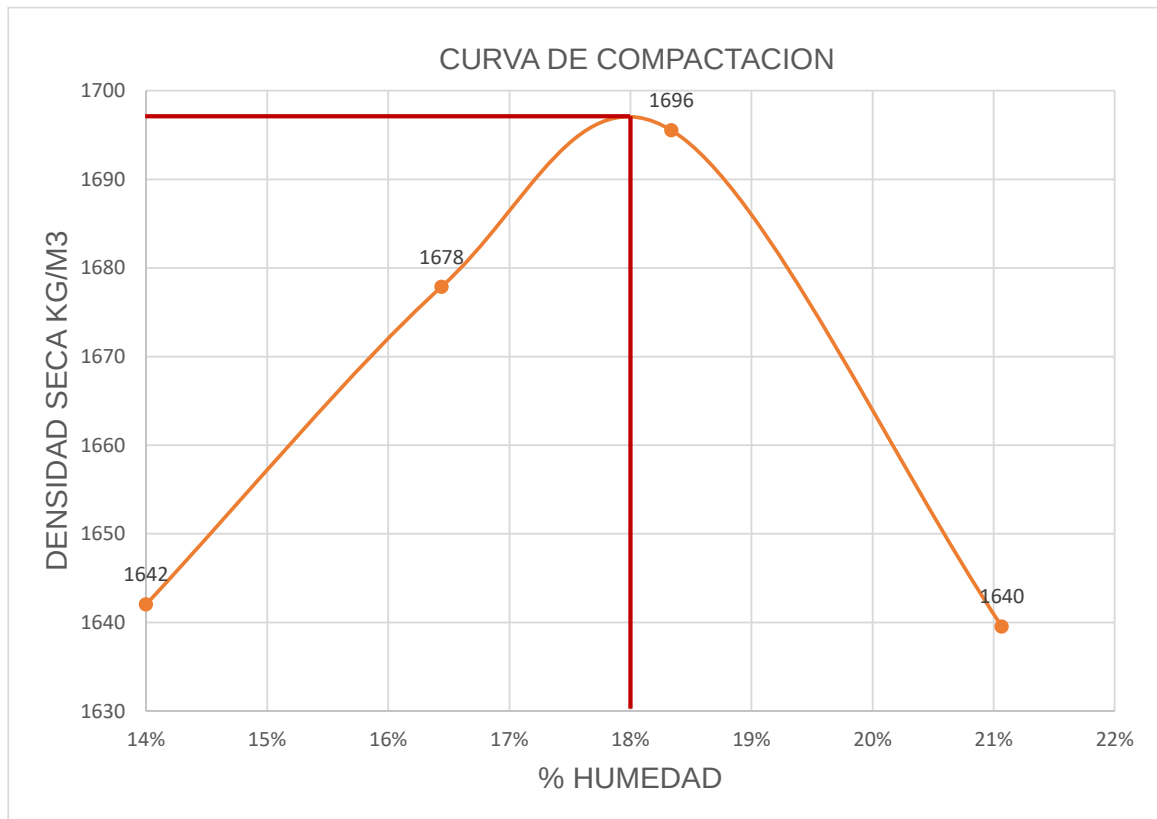
Tabla 25. Datos recopilados del Proctor estándar en muestra A-2-4 (0).

PROCTOR ESTANDAR			SUELO	A-2-4(0)
Ensayes	1	2	3	4
Vmolde(m ³)	0.000929			
Wmolde(kg)	4.288			
Wmolde+Suelo humedo(kg)	6.027	6.103	6.152	6.132
Suelo humedo(kg)	1.739	1.815	1.864	1.844
Codigo de Tara	A-11	0-73	A-30	D-12
Peso Tara(gr)	40.9	31.8	32.5	47.8
Wh+Tara(gr)	149.7	134.5	163.5	181.7
Ws+Tara(gr)	136	120	143.2	158.4
%Humedad	14%	16%	18%	21%
γ_m (kg)	1872	1954	2006	1985
γ_d (kg)	1642	1678	1696	1640

Fuente: Elaboración propia.

De los datos reflejados en la tabla anterior, se graficaron los pesos volumétricos secos versus los contenidos de humedad, obteniendo la curva de compactación de donde se adquiere la densidad seca máxima (1697 kg/m³) y la humedad óptima (18%) para lograr la compactación correcta del suelo.

Figura 8. Curva de compactación.



Fuente: Elaboración propia.

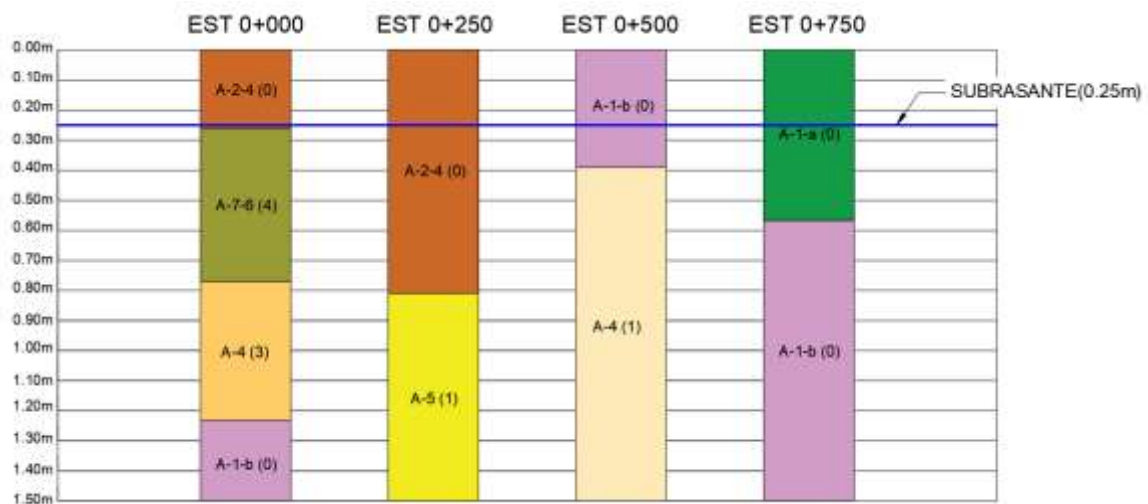
4.10 Ensayo CBR

El ensayo CBR (California Bearing Ratio) es crucial para evaluar las propiedades de los suelos, siendo su comportamiento bajo tensiones más complejo que otros materiales. Las deformaciones dependen del tipo de suelo, su contenido de humedad, compactación y estructura interna, así como de posibles heterogeneidades que afectan su resistencia (anisotropía). Este ensayo, estandarizado por ASTM-D1883 y ASSHTO T-193, se utiliza para evaluar la idoneidad del suelo para diversas aplicaciones en pavimentación.

4.10.1 Metodología para la determinación del CBR de diseño.

La determinación de la profundidad de la línea subrasante se fundamentará en el espesor total de la estructura de pavimento. Se llevará a cabo un análisis detallado teniendo en cuenta el perfil longitudinal del terreno actual y el trazado de la rasante. Para todo proceso constructivo se sugiere la colocación de la estructura de pavimento sobre suelos que cumplan con los requisitos para una subrasante de calidad. En caso contrario, se recomendará sustituir el material por otro proveniente del sitio, tras haber sido sometido a los procesos de movimiento de tierra o directamente de bancos de materiales que cumplan con las especificaciones necesarias para su uso.

Figura 9. Trazo de la subrasante en columna estratigráfica.



Fuente: Elaboración propia.

Este proceso implica los siguientes pasos:

1. Reunir todos los resultados de ensayos de CBR realizados en muestras representativas de la subrasante.
2. Se utiliza el plano estratigráfico para entender la composición del suelo a diferentes profundidades.

Tabla 26. Valores de CBR para suelos en línea.

Valores de CBR			
Suelo	CBR	Clasificación cualitativa	Uso
	95%		
A-2-4 (0)	25	Excelente	Subrasante
A-7-6 (4)	12	Regular a bueno	Subrasante
A-4 (3)	18	Excelente	Subrasante
A-1-b (0)	19	Excelente	Subrasante
A-5 (1)	17	Regular a bueno	Subrasante
A-4 (1)	9	Regular a bueno	Subrasante
A-1-a (0)	26	Excelente	Subrasante

Fuente: Elaboración propia.

- Se ordenan los valores de CBR de menor a mayor y se tabulan las frecuencias de cada valor, permitiendo después calcular los percentiles y las frecuencias acumuladas para entender la distribución de los datos.

Tabla 27. Valores porcentuales para CBR al 95%.

Suelo	CBR	Frecuencia	Iguales o mayores	Porcentaje
A-4 (1)	9	1	9	100.0
A-7-6 (4)	12	1	8	88.9
A-5 (1)	17	1	7	77.8
A-4 (3)	18	1	6	66.7
A-1-b (0)	19	3	5	55.6
A-2-4 (0)	25	1	2	22.2
A-1-a (0)	26	1	1	11.1

Fuente: Elaboración propia.

- Aplicando las recomendaciones del Instituto del Asfalto se utilizan valores de percentil de 60, 75 y 85% del CBR respecto al ESAL de diseño en la que para nuestro caso es de 237,963 (**Según capítulo III, página 35**) y se encuentra entre los rangos de 10,000 y 1,000,000 cargas equivalentes, adaptando así un percentil de diseño de 75%.

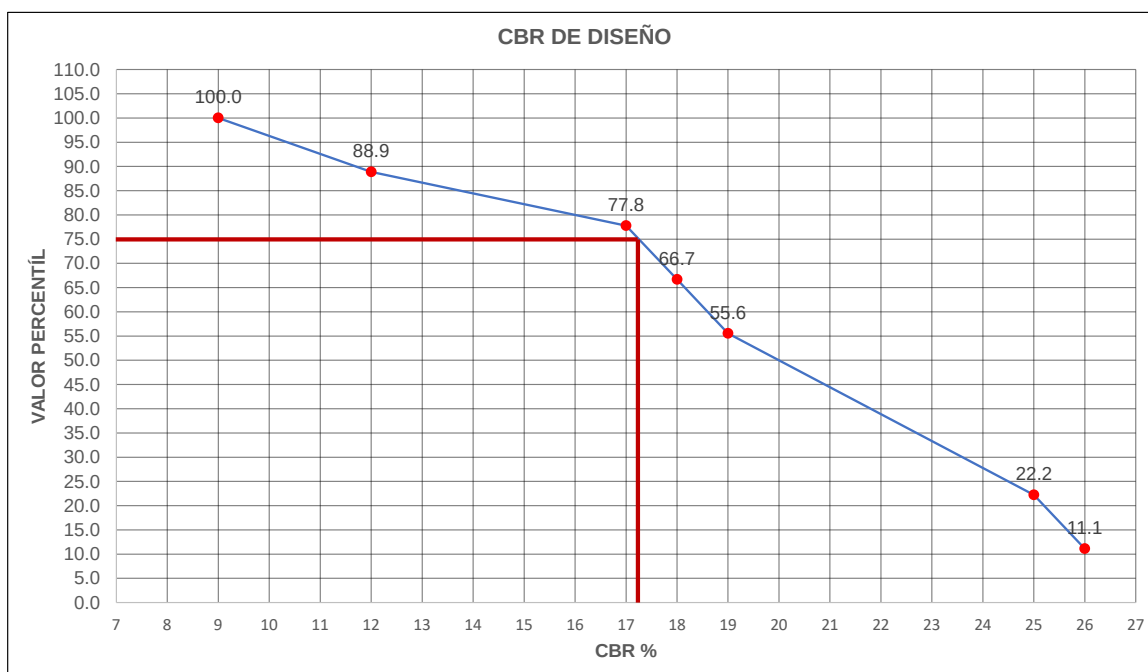
Tabla 28. Límites para la selección de resistencia.

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

Fuente: Elaboración propia.

- Utilizando papel milimetrado o con la ayuda de Excel se grafica los valores de CBR en el eje horizontal y el porcentaje acumulado en el eje vertical. Se identifica el valor de CBR correspondiente al percentil del 75%, donde la línea vertical desde el percentil se cruza con la curva acumulada obteniendo un CBR de diseño de 17.2% para la subrasante.

Figura 10. Determinación del CBR de diseño.



Fuente: Elaboración propia.

4.11 Resultados del estudio de suelo a los bancos de materiales

- **Banco de material Don Dennis, Municipio de La Concepción-Masaya.**

Este banco de material está ubicado a aproximadamente 3 km del inicio de tramo en estudio. Con los resultados de la granulometría y los límites de Atterberg, el material se clasifica en el grupo A -1-a con un índice de grupo 0 según la AASHTO y como SW-SM, arena bien graduada con limos y gravas en la clasificación ASTM, donde en este grupo generalmente predomina trozos de roca o grava con un ligante de buena calidad o sin él.

Tabla 29. Resultados del ensaye estados de consistencia.

	Limite liquido AASHTO T 89, Metodo A				Limite plastico, AASHTO T 90		Clasificación del Material
Rango:	30 - 35	25 - 30	20 - 25	15 - 20	-		A-1-a (0)
No. Golpes	34	28	23	17	-	-	
No. Cápsula:	R-1	S-2	B-1	S-3	A-2	S-1	
WT (gr):	11.30	6.88	11.30	6.28	19.54	6.28	
WT+Mh (gr)	27.10	25.71	29.14	24.97	25.70	12.13	L.L
WT+Ms (gr)	23.22	20.84	24.46	19.89	24.38	10.91	35.1%
Wh (gr)	15.8	18.83	17.84	18.69	6.16	5.85	L.P
Ws (gr):	11.92	13.96	13.16	13.61	4.84	4.63	29.4%
W Agua (gr):	3.88	4.87	4.68	5.1	1.32	1.22	I.P
% Humedad:	32.6	34.9	35.6	37.3	27.27	26.35	5.7%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz N° 10.

Análisis granulométrico				
Tamiz N°	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	100	8	8	92
3/4"	57	4	12	88
1/2"	32	2	15	85
3/8"	42	3	18	82
No 4	149	11	29	71
Pasa No 4	918	71	100	-
Suma	1298	100	-	-

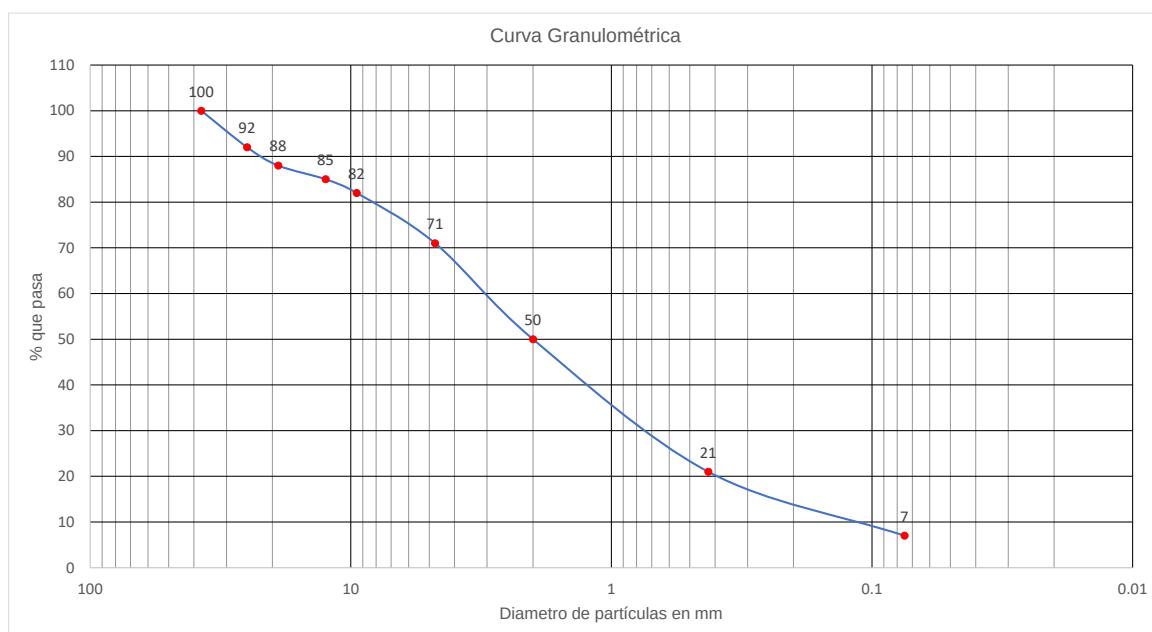
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31. Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz N° 10 (Lavado).

Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 4 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	42	21	21	50
40	59	29	50	21
200	27	13	63	7
Pasa No 200	15	7	71	
Suma	143	71		

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Curva granulométrica.



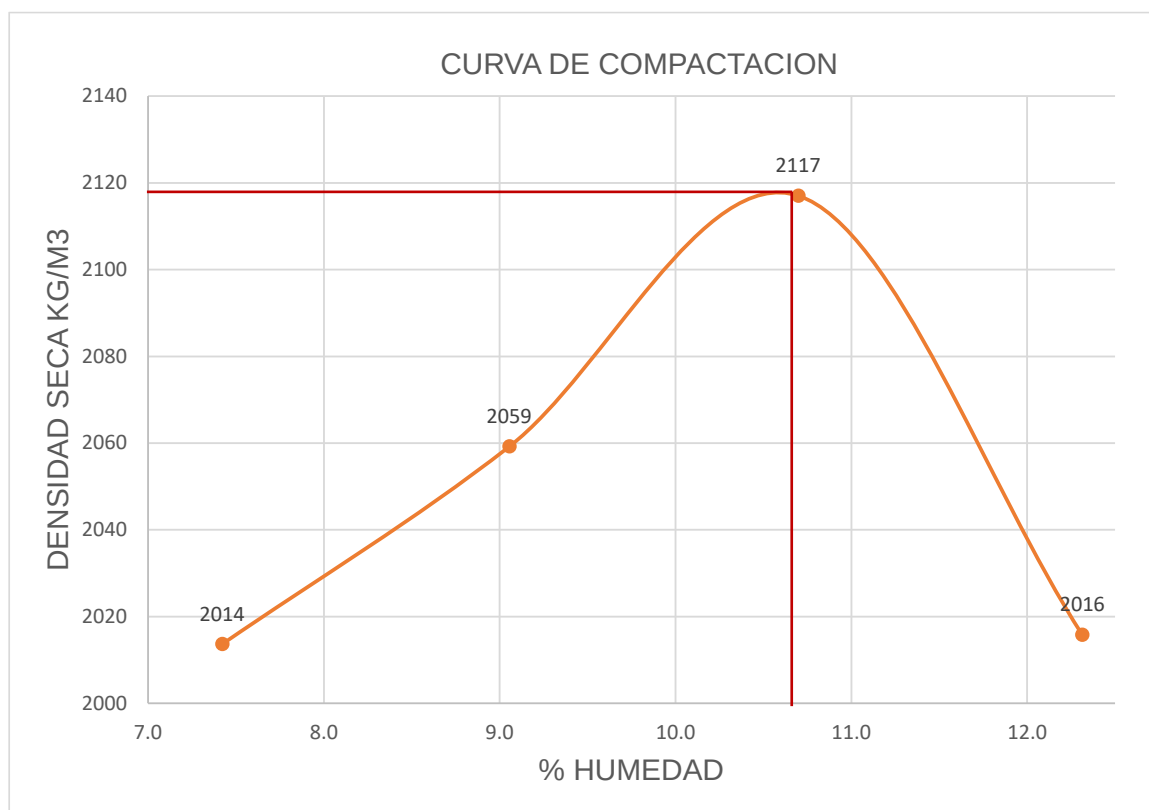
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Datos recopilados del Proctor modificado.

PROCTOR MODIFICADO			SUELO	A-1-a(0)
Ensayes	1	2	3	4
Vmolde(m3)	0.000981			
Wmolde(kg)	3.578			
Wmolde+Suelo humedo(kg)	5.7	5.781	5.877	5.799
Suelo humedo(kg)	2.122	2.203	2.299	2.221
Wh+Tara(gr)	327.1	331.2	337.3	347.5
Ws+Tara(gr)	304.5	303.7	304.7	309.4
%Humedad	7.4	9.1	10.7	12.3
γ_m (kg)	2163	2246	2344	2264
γ_d (kg)	2014	2059	2117	2016

Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Curva de compactación.



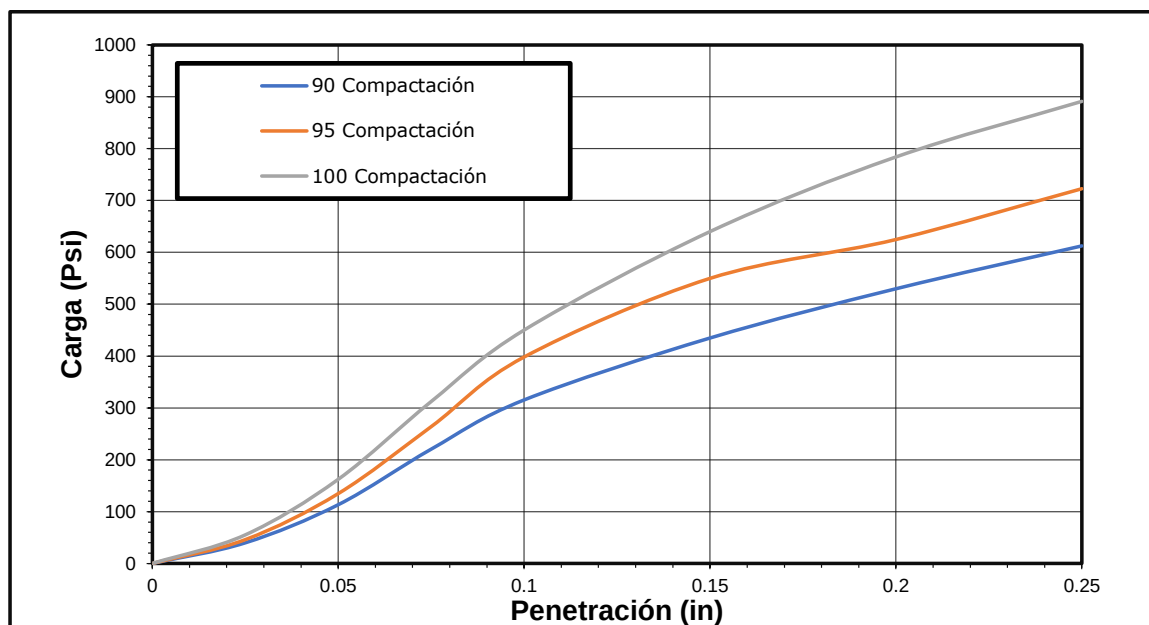
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Resultados del ensaye CBR a diferentes grados de compactación.

Profundidad de Penetración	Esfuerzos a dif. Grados de compactación			Condición de muestra		Valor de CBR
	90%	95%	100%	Compactación	γSeca	
0.000	0	0	0	90%	1905	32%
0.025	40	46	55			
0.050	113	135	162			
0.075	221	264	312	95%	2001	40%
0.100	316	398	450			
0.150	435	550	640			
0.200	530	625	784	100%	2117	45%
0.250	613	723	891			
0.300	692	818	989			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Curva CBR para diferentes grados de compactación.



Fuente: Elaboración propia.

Según el ensayo de Proctor modificado, se alcanzó una densidad seca máxima de 2117 kg/m³ con una humedad óptima del 10.7%. Además, el ensayo de valor relativo de soporte California mostró un valor de CBR del material del 40% corregido, considerando una compactación del 95%.

- **Banco de material Rufo Arévalo, Municipio de Masatepe-Masaya.**

Ubicado en Masatepe aproximadamente 9 km del tramo en estudio. Con los resultados obtenidos de laboratorio en material se clasifica como GW-GM una grava bien graduada con limo y arena (ASTM) y A-1-a (0) según la clasificación de la AASTHO.

Tabla 34. Resultados del ensaye estados de consistencia.

Limite liquido AASHTO T 89, Metodo A					Limite plastico, AASHTO T 90		Clasificación del Material
Rango:	30 - 35	25 - 30	20 - 25	15 - 20	-		A-1-a (0)
No. Golpes	35	28	22	18	-	-	
No. Cápsula:	SN	S-3	M-1	S-2	A-3	R-2	
WT (gr):	37.45	6.24	20.32	6.85	14.74	20.68	
WT+Mh (gr)	47.80	21.22	39.30	27.92	20.74	26.46	L.L
WT+Ms (gr)	45.34	17.56	34.52	22.56	19.38	25.24	32.8%
Wh (gr)	10.35	14.98	18.98	21.07	6.00	5.78	L.P
Ws (gr):	7.89	11.32	14.2	15.71	4.64	4.56	28.0%
W Agua (gr):	2.46	3.66	4.78	5.4	1.36	1.22	I.P
% Humedad:	31.2	32.3	33.7	34.1	29.31	26.75	4.8%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz N° 10.

Análisis granulométrico				
Tamiz N°	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	100	5	5	95
3/4"	96	5	10	90
1/2"	160	8	18	82
3/8"	194	10	28	72
No 4	398	20	48	52
Pasa No 4	1026	52	100	
Suma	1974			

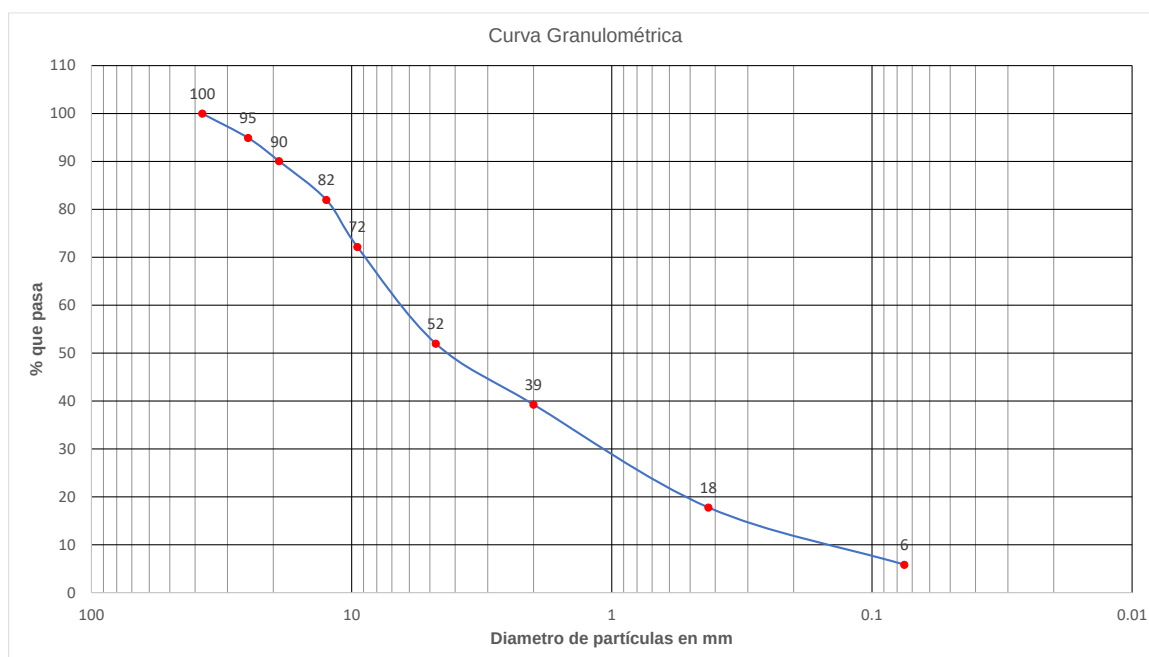
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz N° 10 (Lavado).

Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 4 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	29	13	13	39
40	50	21	34	18
200	28	12	46	6
Pasa No 200	14	6	52	
Suma	120			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Curva granulométrica.



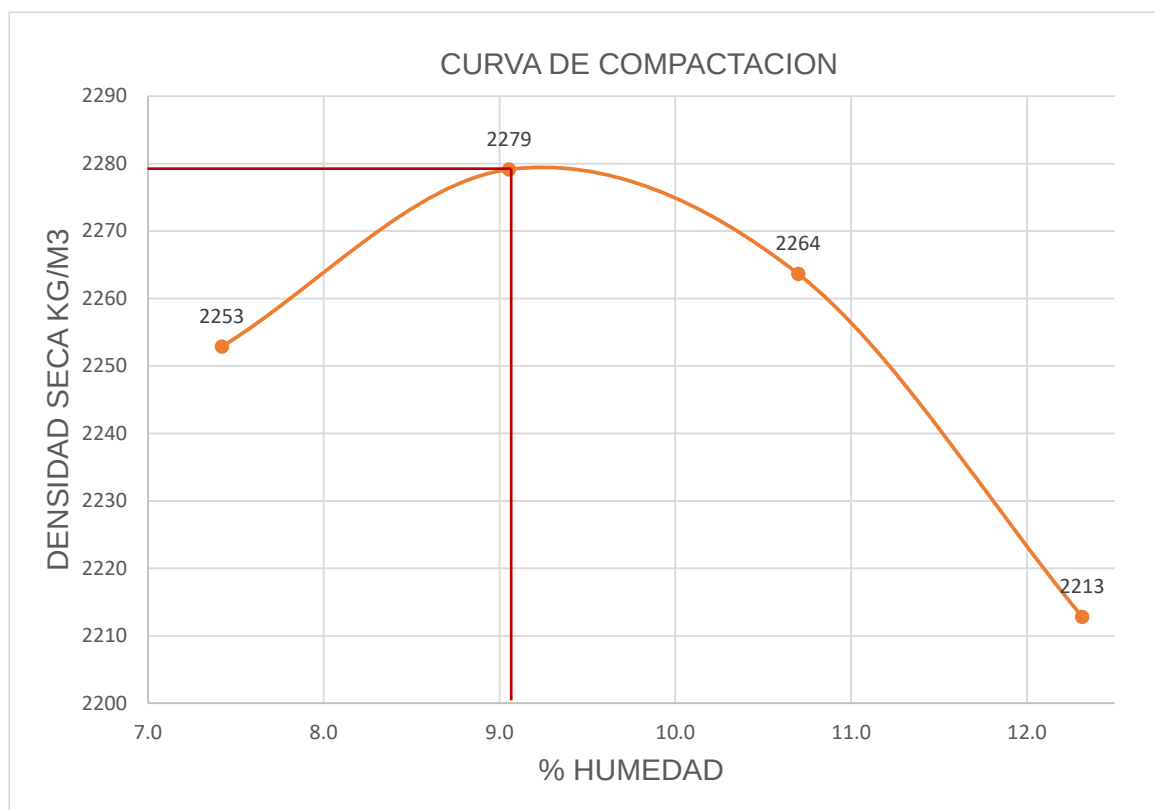
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Datos recopilados del Proctor modificado.

PROCTOR MODIFICADO			SUELO	A-1-a(0)
Ensayes	1	2	3	4
Vmolde(m3)	0.000932			
Wmolde(kg)	3.578			
Wmolde+Suelo humedo(kg)	5.809	5.904	5.928	5.921
Suelo humedo(kg)	2.231	2.326	2.350	2.343
Wh+Tara(gr)	331.3	314.6	387.3	344.8
Ws+Tara(gr)	311.8	287.3	347.7	303.5
%Humedad	6.3	9.5	11.4	13.6
γ_m (kg)	2394	2496	2521	2514
γ_d (kg)	2253	2279	2264	2213

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Curva de compactación



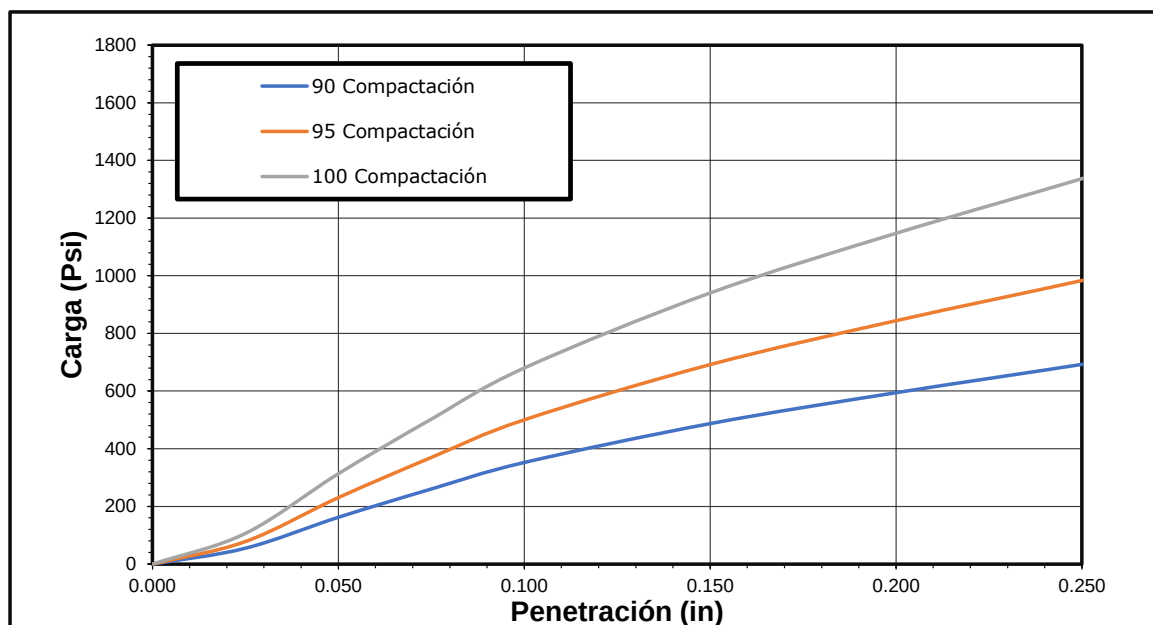
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Resultados del ensaye CBR a diferentes grados de compactación.

Profundidad de Penetración	Esfuerzos a dif. Grados de compactación			Condición de muestra		Valor de CBR
	90%	95%	100%	Compactación	γ Seca	
0.000	0	0	0	90%	2051	35%
0.025	55	78	106			
0.050	162	231	314			
0.075	260	370	503	95%	2165	50%
0.100	352	500	680			
0.150	487	692	941			
0.200	594	844	1148	100%	2279	68%
0.250	692	983	1337			
0.300	793	1127	1532			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Curva CBR para diferentes grados de compactación.



Fuente: Elaboración propia.

Según el ensayo de Proctor modificado, se alcanzó una densidad seca máxima de 2279 kg/m³ con una humedad óptima del 9.5%. Además, el ensayo de valor relativo de soporte California mostró un valor de CBR del material del 50% corregido, considerando una compactación del 95%.

4.12 Consideraciones para la subbase

Es la capa de material que se construye directamente sobre la subrasante, sus funciones es aislar la base del terreno natural, protegerla impidiendo que el agua suba por capilaridad, transmitir y distribuir las cargas, proteger a la base aislándola de la terracería.

Las especificaciones generales para la construcción de caminos calles y puentes (NIC – 2019), nos indica los requisitos mínimos que debe cumplir el material a ser usado como una subbase, **Ver tabla 39.**

Tabla 39. Requisitos para la capa subbase según Normas NIC-2019.

Requisitos para la capa subbase según NORMAS NIC 2019			
1	Gradación	-	Tabla 9
2	Límite líquido, ASSTHO T89	-	25 máx
3	Índice de plasticidad, ASSTHO T 90	-	6 máx
4	Desgaste de los angeles,ASSTHO T 96	-	40% máx
5	CBR al 95% de ASSTHO Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación	-	30% mín

Fuente: NIC – 2019 Tomo II, sección 1003.8 a y b.

4.13 Consideraciones para la base

Es la capa de material que se construye sobre la subbase, el material con el que se construye debe ser de mejor calidad que el de la subbase y su función principal es tener una alta resistencia estructural para soportar las presiones transmitidas por los vehículos y tener el espesor suficiente para que pueda resistir las presiones transmitidas a la subbase.

Los requisitos mínimos que debe cumplir el material a ser utilizado como base se presentan en la **tabla 40**.

Tabla 40. Requisitos para la capa base según Normas NIC-2019.

Requisitos para la capa base según NORMAS NIC 2019			
1	Gradación	-	Tabla 9
2	Límite líquido, ASSTHO T89	-	25 máx
3	Índice de plasticidad, ASSTHO T 90	-	0 (NP)
4	Desgaste de los angeles,ASSTHO T 96	-	35% máx
5	CBR al 95% de ASSTHO Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación	-	80% mín

Fuente: NIC – 2019 Tomo II, sección 1003.8 a y b.

Tabla 41. Resultados de los bancos de materiales según las especificaciones de la NIC-2019.

Para Subbase			
Propiedades	Especificación	Banco Don Dennis	Banco Rufo Arévalo
Gradación	Cuadro 1003-6	Cumple	Cumple
Límite líquido, AASHTO T89	25 máx.	Cumple	Cumple
Índice de plasticidad, AASHTO T 90	6 máx.	Cumple	Cumple
Desgaste de los angeles,ASSTHO T 96	40% máx	Cumple	Cumple
CBR al 95% de ASSTHO Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación	30% mín	Cumple	Cumple
Para Base			
Gradación	Cuadro 1003-6	Cumple	Cumple
Límite líquido, AASHTO T89	25 máx	Cumple	Cumple
Índice de plasticidad, AASHTO T 90	0 (NP)	Cumple	Cumple
Desgaste de los angeles,AASHTO T 96	35% máx	Cumple	Cumple
CBR al 95% de AASHTO Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación	80% mín	No Cumple	No Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Se sugiere emplear el banco de material Rufo Arévalo para la capa base y subbase debido a un mejor comportamiento ante los ensayos en laboratorio. Sin embargo, este material no cumple con el requisito para la capa base, mostrando un valor de 50% de CBR. Por consiguiente, se optó por llevar a cabo el proceso de estabilización con cemento. Cabe destacar que el banco de material Don Dennis actualmente no está autorizado para la extracción de material para ningún tipo de proyecto.

4.14 Estabilización con cemento

Los resultados de los ensayos realizados al material de banco no cumplen con las especificaciones técnicas requeridas por la NIC-2019 para ser utilizado como material de base en la estructura de pavimento. En consecuencia, se decidió por utilizar la estabilización con cemento como mecanismo para aumentar su resistencia.

La NIC – 2019 establece los requisitos que debe cumplir una base estabilizada con cemento, **ver tabla 42**.

Tabla 42. Requisitos para la capa base estabilizada según Normas NIC-2019.

1	Tamaño máximo, AASHTO T-28	40 mm
2	% Que pasa el tamiz de 0.075 mm, AASHTO T-27 y T 11	
	a-Contenido mínimo	2 min
	b-Contenido máximo	35 máx.
3	Contenido de material orgánica, AASHTO T 267	2% máx.
4	Limite liquido, AASHTO T 89	30 máx.
5	Índice de plasticidad, AASHTO T 90	15% máx.
6	Desgaste Los Ángeles, AASHTO T 96	50% máx.
7	CBR a 95% de AASHTO modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación	min 30%

Fuente: NIC-2019, Tomo II, sección 1003.21.4.

Para este proceso se procedió a aplicar los requerimientos establecidos por la NIC-2019 y el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento que describen lo siguiente:

1. El cemento portland a utilizar deberá ajustarse a la norma AASHTO M 85-63, la cantidad aproximada de cemento debe estar comprendida dentro de un 3% mínimo y un 8% como máximo de cemento en peso, respecto al peso del material a estabilizar.
2. Después del tratamiento, el material deberá tener una resistencia ultima a la compresión de, por lo menos 2100 kn/m² o 21.41 kg/cm², medida después de 7 días de curado y 7 días de saturación en el sitio, con mezcla compactada al 95% de AASHTO Modificada (AASHTO T 180).

Tabla 43. Resultados después de la estabilización con cemento

Banco de Material	yd máxima (Kg/m ³)	Proporción (%)	Proporción (Bolsas/m ³)	Resultados del Del Ensayo a la Compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)
Rufo Arevalo	1739	3%	1.23	20.68	21.21
	1738	3%	1.23	21.74	
	1750	5%	2.05	29.23	30.31
	1742	5%	2.05	31.38	
	1717	7%	2.87	35.12	34.28
	1917	7%	2.87	33.43	

Fuente: Elaboración propia.

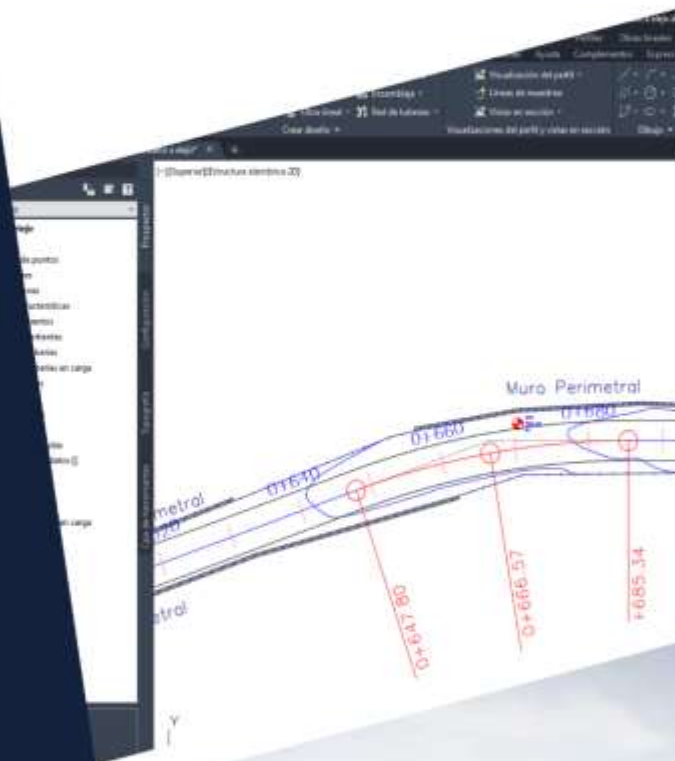
Las muestras estabilizadas ensayadas al 5% y 7% de cemento cumplen con la resistencia mínima establecida en la NIC 2019 que es de 21.5 kg/cm² compactado al 95% del Proctor modificado y 7 días de saturación, se propone utilizar la proporción del 5% de cemento con una resistencia a la compresión de 30.31 kg/cm².

Usando la proporción de 5% de cemento podemos calcular la cantidad de bolsas de cemento de 42.5 kg para 1 m³ de material.

$$\frac{\text{BolsasC}}{\text{M}^3} = \frac{\text{Densidad seca máxima} * \text{proporción}}{42.5} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\frac{\text{BolsasC}}{\text{M}^3} = \frac{1743 * 0.05}{42.5} = 2.05 \text{ bolsas/m}^3$$

DISEÑO GEOMÉTRICO



CAPITULO V. DISEÑO GEOMETRICO

5.1 Generalidades

Se llevó a cabo un análisis detallado de la geometría existente, tanto en términos de planimetría como altimetría, así como del comportamiento vehicular, con el fin de establecer los parámetros necesarios para el diseño geométrico del camino. Se buscó alcanzar una geometría uniforme que cumpliera con las Especificaciones Generales del Manual Centroamericano de Normas de Diseño, el cual proporciona directrices para el diseño geométrico en la región.

El diseño abordó diversos aspectos, tales como la alineación horizontal y vertical, secciones transversales, definición de curvas, ubicación y dimensionamiento de carriles, radios de giro, pendientes y peraltes, entre otros, con el objetivo de asegurar la seguridad vial, la comodidad de los usuarios y la eficiencia del tráfico. Al adherirse a las especificaciones del manual, se garantizó que el diseño cumpliera con estándares aceptados, teniendo en cuenta velocidades de diseño, distancia de visibilidad, radios mínimos de curvatura, pendientes máximas y anchos de carril apropiados.

5.2 Parámetros geométricos para el diseño

5.2.1 Clasificación funcional

La clasificación funcional de las carreteras es un proceso mediante el cual se agrupan las carreteras y calles en diferentes categorías o sistemas según las características de servicio de tráfico que se pretende proporcionar. Este proceso se rige por normas y manuales específicos, como el Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras. La clasificación funcional incluye categorías con diferentes criterios de diseño, como el volumen de tráfico esperado, la velocidad de diseño, el tipo de vehículo y la función principal que desempeñara en el sistema de transporte, anchos de carril, radios de curvatura, entre otros aspectos.

Este procedimiento se ha determinado en base a las especificaciones según el Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de Carreteras 2011, para su clasificación de acuerdo a los volúmenes de tránsito diario se determinó un TPDA proyectado de 2114 Vpd, dicho valor se encuentra entre los rangos establecidos en la **tabla 44** del manual, clasificándola como una colectoras menor rural.

Tabla 44. Clasificación funcional de las carreteras.

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

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 33.

5.2.2 Vehículo de diseño

Debido a las variaciones en las dimensiones de los vehículos que circulan por las carreteras, es necesario examinar y agruparlos en clases similares para el diseño geométrico de las vías. Esto se hace seleccionando un vehículo representativo para cada clase y uso, que tenga dimensiones físicas y radios de giros mínimos, pero mayores que la mayoría de los vehículos de su clase. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.37).

Basándonos en la información proporcionada por el estudio de tránsito, se plantea utilizar un camión de carga C-2 (SU), este es una opción adecuada para determinar los elementos geométricos de la vía, a pesar de representar solo el 0.68% de los vehículos transitables. Es importante tener en cuenta que puede no ser representativo con respecto a la totalidad de los vehículos que transitan, pero si en cuestión de carga y sus características geométricas.

Las dimensiones para cada tipo de vehículo se presentan a continuación.

Tabla 45. Dimensiones de los vehículos de diseño.

Vehículo de Diseño	Símbolo	Altura	Ancho	Longitud	Voladizo Delantero	Voladizo Trasero	WB1	WB2
Vehículo Liviano	P	1.30	2.10	5.80	0.90	1.50	3.40	
Camión	SU	4.10	2.40	9.20	1.20	1.80	6.10	
Bus	BUS-14	3.70	2.60	12.20	1.80	2.60	7.30	
Bus Articulado	A-BUS	3.40	2.60	18.30	3.10	6.70	5.90	
Cabezal con Semirremolque	WB-15	4.10	2.60	16.80	0.60	4.50	10.80	
Cabezal con Semirremolque	WB-19	4.10	2.60	20.90	0.90	0.60	4.50	1.80
Cabezal con Semirremolque	WB-20	4.10	2.60	22.40	1.20	1.40-0.80	6.60	13.20-13.80

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 38.

Los límites de las trayectorias de giro de los distintos vehículos de diseño, al hacer los giros más cerrados, están establecidos por la trayectoria del saliente frontal y la trayectoria de la rueda interior trasera. Este giro supone que la rueda frontal exterior sigue el arco circular, definiendo el radio de giro mínimo según como se determine por el mecanismo de manejo del vehículo.

Donde:

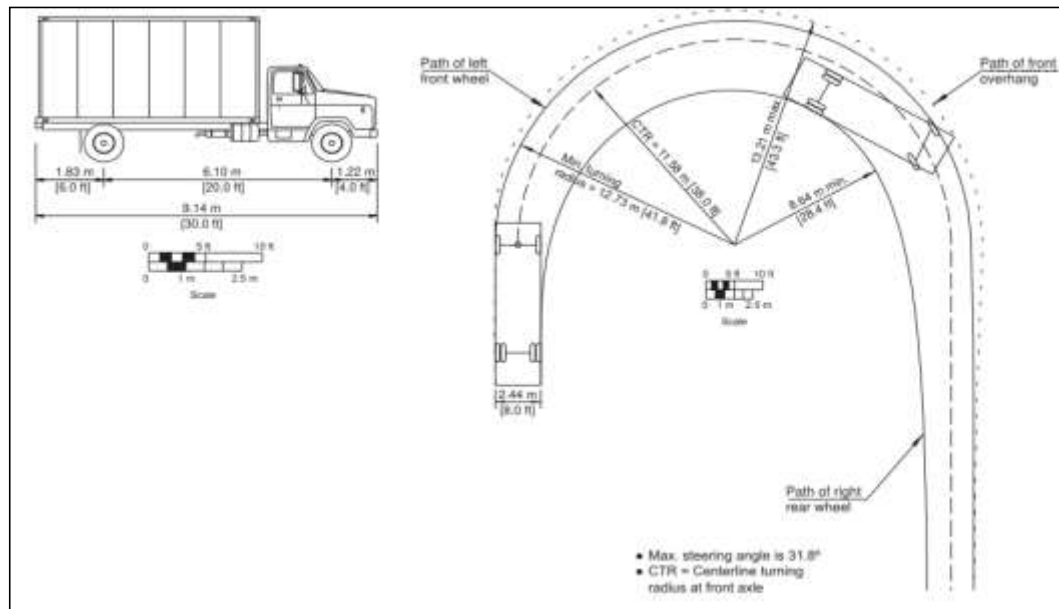
- WB1, WB2: Distancias efectivas entre ejes de los vehículos, o las distancias entre grupos de ejes, comienzan desde el frente y avanzan hacia la parte trasera de cada unidad.
- Voladizo delantero/trasero: es la distancia entre el eje extremo del vehículo y el borde posteriormente mencionados.
- Los radios mínimos de las trayectorias de las ruedas exteriores e interiores y el radio mínimo de giro (RMG) en la línea central, se muestra en la **tabla 46**.

Tabla 46. Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño.

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

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 39.

Figura 17. Mínima trayectoria de giro para vehículo de diseño SU.



Fuente: Manual A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition". 2011, pag 183.

5.2.3 Velocidad de diseño

Debido a que la vía se clasifica como una colectora menor rural con un TPDA proyectado de 2114 Vpd y con las características de un relieve ondulado se adopta basado en el (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, página 56), donde me especifica que, para carreteras colectoras, el rango de velocidad debe ser de 30 a 80 KPH, optando por una velocidad de 50 KPH, esto con el fin de brindar una mayor seguridad para el conductor y el peatón.

5.2.4 Distancia de visibilidad de parada

Es la distancia que un conductor necesita para detener su vehículo por completo cuando se enfrenta a una situación de peligro o detecta un objeto inesperado en su trayectoria. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.75).

Estas distancias se conocen como distancia de percepción-reacción y la distancia de frenado respectivamente y se calculan con la siguiente expresión:

$$d = 0.278Vt + 0.039 \frac{v^2}{a} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, Km/h.

t: Tiempo de percepción-reacción, 2.5 segundos.

a: Tasa de desaceleración, 3.4 m/s^2 .

Cuando la carretera está en pendiente longitudinal, la ecuación de distancia de visibilidad de parada debe modificarse y calcularse con la siguiente ecuación:

$$d = 0.278Vt + \frac{V^2}{254 \left(\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm G \right)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

G: Es la pendiente en valor absoluto (Grado en porcentaje/100).

El Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, brinda diferentes valores de distancia de velocidad de parada en función de la velocidad de diseño, en la que para este caso es igual a 65 m respecto a la velocidad seleccionada anteriormente de 50 Km/h, **Ver tabla 47.**

Tabla 47. Distancia de visibilidad de parada horizontal y con pendiente vertical.

VELOCIDAD (KPH)		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
PENDIENTE EN ASCENSO + i %	12	17	29	41	56	72	90	110	131	154	179	205
	11	17	29	42	57	73	91	111	133	156	181	208
	10	17	29	42	57	74	92	112	134	158	184	211
	9	18	29	43	58	75	93	114	136	160	186	214
	8	18	30	43	58	75	94	115	138	162	189	217
	7	18	30	43	58	76	95	117	139	164	191	220
	6	18	30	44	59	77	97	118	141	167	194	223
	5	18	30	44	60	78	98	119	143	169	197	227
	4	18	30	44	60	79	99	121	145	172	198	231
	3	19	31	45	61	80	100	123	148	174	203	234
	2	19	31	45	62	81	102	125	150	177	207	239
	1	19	31	46	63	82	103	127	152	180	210	243
CALCULADO HORIZONTAL	0	18.5	31.2	46.2	63.4	83.0	104.9	129.0	155.5	184.2	215.2	248.6
REDONDEADO HORIZONTAL	0	20	35	50	65	85	105	130	160	185	220	250
PENDIENTE EN DESCENSO - i %	1	20	32	47	64	85	106	131	158	187	218	252
	2	20	32	48	65	85	108	133	161	191	223	257
	3	20	32	50	66	87	110	136	164	194	227	263
	4	20	33	50	67	88	112	138	167	198	232	269
	5	20	33	50	68	90	114	141	171	203	238	275
	6	20	35	50	70	92	116	144	174	207	243	281
	7	20	35	51	71	93	119	147	178	212	249	289
	8	20	35	52	72	95	121	151	183	218	256	297
	9	20	35	53	74	97	124	154	187	223	262	304
	10	21	36	53	75	99	127	158	192	230	270	314
	11	21	36	54	77	102	131	163	198	236	279	323
	12	21	37	56	78	105	134	167	204	244	287	334

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 77.

5.2.5 Distancia de visibilidad de rebase

La distancia de visibilidad de rebase o adelantamiento se refiere a la distancia mínima de visibilidad necesaria para que un conductor pueda realizar de manera segura la maniobra de adelantamiento en una carretera de dos carriles con tránsito en ambas direcciones.

Cuando un conductor desea adelantar a otro vehículo que se desplaza a una velocidad más baja que la velocidad de proyecto, debe asegurarse de contar con una visibilidad adecuada. Esto implica abandonar su carril, adelantar al vehículo que tiene delante y regresar a su carril original sin poner en peligro la seguridad del vehículo adelantado ni la de los vehículos que se desplazan en sentido contrario.

La distancia de visibilidad de rebase es equivalente a 345 m, respecto a la velocidad de diseño de 50 Km/h, **Ver tabla 48.**

Tabla 48. Distancia de visibilidad de adelantamiento.

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad De Adelantamiento
30	200
40	270
50	345
60	410
70	485

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 79.

5.2.6 Tasas de peralte

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas, condiciones del terreno, tipo de zona y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte.

Se consideran aquí las siguientes tasas: (1) tasa máxima de 0.10 en áreas rurales montañosas, siempre que no exista nieve o hielo, también 0.12 puede utilizarse en algunos casos. (2) generalmente, 0.08 es reconocido como valor máximo razonable (3) 0.06 en área suburbana y (4) 0.04 en áreas urbanas. El peralte puede omitirse en calles urbanas de baja velocidad. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.83).

Para la vía en estudio se definió a partir de la clasificación funcional del tipo de terreno, donde para una carretera colectora menor rural con terreno ondulado, el peralte máximo es 8%, siendo este el máximo razonable a utilizar.

5.2.6.1 Factor de fricción lateral (f)

El coeficiente de fricción “f” se define como la fuerza de fricción dividida entre el componente del peso perpendicular al pavimento y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$f = \frac{V^2}{(127 * R)} - e \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

V: Velocidad de diseño, km/h.

R: Radio de curva, m.

e: Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

En la **tabla 49**, se presentan los valores del coeficiente de fricción lateral para las distintas velocidades que pueden utilizar en el diseño, es este caso se optó a utilizar un valor de 0.19 en dependencia de la velocidad de diseño (50 KPH) y el peralte máximo (8%).

Tabla 49. Factores de fricción lateral.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%	
		RADIO (m)	
		CALCULADO	RECOMENDADO
20	0.35	7.3	7
30	0.28	19.7	20
40	0.23	40.6	41
50	0.19	72.9	73
60	0.17	113.4	113
70	0.15	167.8	168
80	0.14	229.1	229

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 89.

5.2.7 Radio mínimo

Los radios mínimos son los valores límites de la curvatura para una velocidad de diseño dada, que se relacionan con la sobreelevación máxima y la fricción lateral escogida para el diseño. Un vehículo se sale de control en una curva, ya sea porque el peralte o sobreelevación de la curva no es suficiente para contrarrestar la velocidad o porque la fricción lateral entre las ruedas y el pavimento es insuficiente y se produce el deslizamiento del vehículo. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.87).

Una vez establecido el máximo factor de peralte o sobreelevación, los radios mínimos de curva horizontal se pueden calcular con la siguiente formula:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127.14(e_{max} + f_{max})} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

R_{min} : Radio mínimo de curva (m).

e_{max} : Tasa de sobreelevación en fracción decimal.

f_{max} : Factor de fricción lateral.

V : Velocidad de diseño, en KPH.

Sustituyendo los valores de velocidad de diseño, coeficiente de fricción lateral y la tasa de sobreelevación en la ecuación 19, se determina en radio mínimo para el diseño.

$$R_{min} = \frac{50^2}{127.14(0.08 + 0.19)} = 73m$$

El grado de curva o de curvatura, es el ángulo sustentado en el centro de una círculo de radio R por un arco de 100 pies o de 20 metros, según el sistema de medidas utilizado. A partir de esta definición se obtiene la siguiente expresión para el cálculo:

$$G_{20} = \frac{1145.92}{R}$$

Ecuación 20

Donde:

G20: Grado de curvatura o ángulo en el centro de la curva, para arco de 20 m.

R: Radio mínimo de curva (m).

Tabla 50. Radios mínimos y grados máximos de curvas horizontales para distintas velocidades de diseño.

VELOCIDAD DE DISEÑO (KPH)	FACTOR DE FRICCIÓN MÁXIMA	Peralte Máximo = 8%	
		RADIO (m)	
		CALCULADO	RECOMENDADO
20	0.35	7.3	7
30	0.28	19.7	20
40	0.23	40.6	41
50	0.19	72.9	73
60	0.17	113.4	113
70	0.15	167.8	168
80	0.14	229.1	229

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 89.

5.2.7.1 Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral

En general, se sugiere que se puede establecer un límite superior en el radio de la curva de modo que solo los radios por debajo de este máximo sean probables obtener beneficios operacionales y de seguridad del uso de curvas de transición en espiral. (A Policy Geometric Design of Highways and Streets. Cap 3-71, pág 217).

En la siguiente tabla se establece un radio máximo de 148 m para el requerimiento de curvas en espirales de transición para una velocidad de 50 km/h.

Tabla 51. Radio máximo para el uso de curvas de transición en espiral.

Metric		U.S. Customary	
Design speed (km/h)	Maximum radius (m)	Design speed (mph)	Maximum radius (ft)
20	24	15	114
30	54	20	203
40	95	25	317
50	148	30	456
60	213	35	620
70	290	40	810
80	379	45	1025

Fuente: A Policy Geometric Design of Highways and Streets 2011, Cap 3-71, pág. 217.

5.2.8 Longitudes de transición

El diseño de longitudes de transición en el alineamiento horizontal incluye la transición del bombeo normal de una sección transversal en tangente al peralte necesario en curva, así como las curvas de transición entre tangente y curva circular. La transición del peralte se divide en dos distancias: la Distancia de Bombeo (DB), donde el peralte negativo se convierte en 0%, y la Distancia de Transición (Ls), donde el peralte 0% se convierte en el peralte necesario para la curva. Se busca que esta transición sea imperceptible para el conductor por razones de seguridad y comodidad.

Cuando no se utiliza una curva de transición, se aplica una "transición de tangente a curva", donde la Distancia de Transición se distribuye entre la tangente y la curva circular, con una proporción aceptable para todas las velocidades y anchos rotados. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.92).

La longitud mínima de transición, debe determinarse de:

$$L_s = \frac{(Wn_1) * ed}{\Delta} * (b_w) \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

Ls: Mínima longitud de transición del peralte, m.

Δ : Máxima pendiente relativa, porcentaje.

n1: Número de carriles a rotar.

bw: Factor de ajuste por número de carriles rotados.

W: Ancho de un carril de tráfico.

ed: Tasa de peralte de diseño, porcentaje.

La longitud mínima de Transición del Bombeo en la tangente (Db) está determinada por la cantidad de pendiente transversal negativa y la tasa de pendiente a la que se gira hasta el valor 0%. Para obtener un borde suave en la orilla del pavimento, la tasa de pendiente debe ser igual a la tasa de pendiente relativa utilizada para definir la longitud de transición del peralte y puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$Db = \frac{e_{NC}}{e_d} L_r \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

Db: Distancia de bombeo.

eNC: Pendiente transversal, porcentaje.

ed: Tasa de peralte de diseño, porcentaje.

Lr: Longitud mínima de transición del peralte, m.

La máxima pendiente relativa varía con la velocidad de diseño para proveer longitudes largas en velocidades altas y longitudes cortas en velocidades bajas. Estos valores se muestran en la **tabla 52**, donde para una velocidad de 50 Km/h la máxima pendiente relativa es de 0.65%.

Tabla 52. Máximas pendientes relativas de la orilla del pavimento.

Velocidad de Diseño KPH	Máxima Pendiente Relativa (%)
20	0.80
30	0.75
40	0.70
50	0.65
60	0.60
70	0.55
80	0.47

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.94.

El ancho de la calzada que gira es igual al ancho de los carriles que giran. Cuando el número de carriles que rotan es mayor que uno, es conveniente el uso de un factor de ajuste para evitar una excesiva longitud de transición y desniveles muy altos entre el borde exterior y el eje de giro. En la **tabla 53**, se muestran los factores de ajuste recomendada por el Manual “A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition”. 2011” y en la que se seleccionó un valor de “bw” igual a uno, ya que solo un carril presenta rotación.

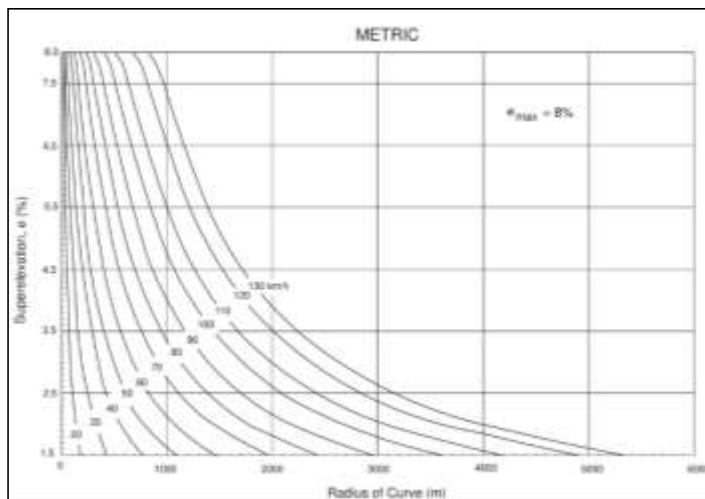
Tabla 53. Factores de ajuste por el número de carriles rotados.

Numeros de carriles rotados n1	Factor de ajuste bw	Incremento relativo de la longitud respecto a un carril rotado (=n1 bw)
1	1.00	1.00
1.5	0.83	1.25
2	0.75	1.50
2.5	0.70	1.75
3	0.67	2.00
3.5	0.64	2.25

Fuente: Manual A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition”. 2011, pag 208.

La siguiente figura muestra los valores mínimos de R para varias combinaciones de peralte y velocidades de diseño para cada uno de los cinco valores de índice de peralte máximo (es decir, para una gama completa de condiciones de diseño comunes). (Manual A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition". 2011, pag 189).

Figura 18. Tasas de peralte de diseño para una tasa de peralte máxima del 8%.



Fuente: Manual A Policy On Geometric Design of Highways and Streets, 6th Edition". 2011, pag 183.

5.2.9. Sobreancho en curvas

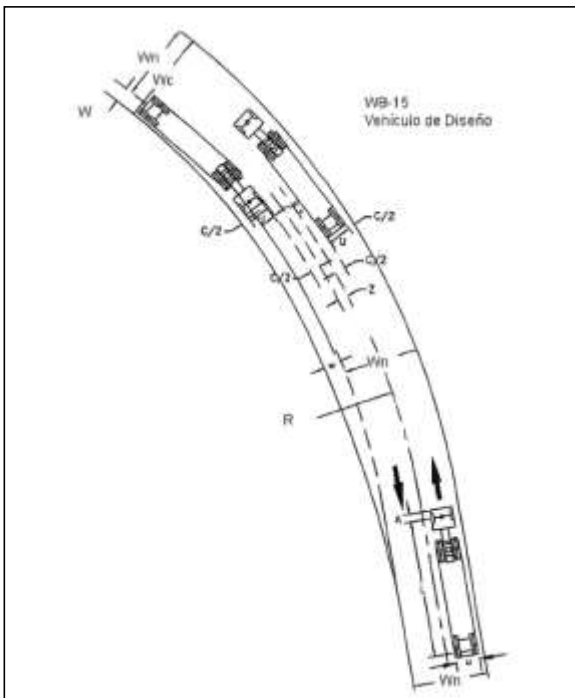
Los sobreanchos se diseñan siempre en las curvas horizontales de radios pequeños combinadas con carriles angostos, para facilitar las maniobras de los vehículos en forma eficiente, segura, cómoda y económica. Los sobreanchos son necesarios para acomodar la mayor curva que describe el eje trasero de un vehículo pesado y para compensar la dificultad que enfrenta el conductor al tratar de ubicarse en el centro de su carril de circulación.

En carreteras con carriles de 3.6 metros y buen alineamiento, la necesidad de sobreanchos en curvas se ha disminuido a pesar de las velocidades, aunque tal necesidad se mantiene para otras condiciones de la vía. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.108).

El sobreancho necesario en las curvas es la diferencia entre el ancho requerido en una curva W_c y el utilizado en una recta, W_n . El ancho requerido para la circulación en curva tiene varios componentes relacionados con la operación de los vehículos sobre las curvas, a saber:

- ✓ Ancho de huella de cada vehículo que se encuentra o pasa
- ✓ Separación lateral por vehículo, C
- ✓ Ancho de la saliente frontal del vehículo que ocupa el carril o carriles interiores, FA
- ✓ Ancho a tener en cuenta por dificultades durante la conducción en curvas, Z .

Figura 19. Componente del sobreancho en curvas de carretera.



Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 109.

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

$$W_c = N(U' + C) + (N - 1)F_A + Z \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

N: Número de carriles.

U: Ancho de la huella del vehículo de diseño (Exterior a exterior de llantas), m.

C: Claro lateral, m.

FA: Ancho de saliente frontal en el carril interior, m.

Z: Ancho extra recomendable, m.

Ancho de huella del vehículo en curva (U).

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum Li^2} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

U: Ancho de la huella del vehículo en curva, m.

R: Radio de la curva o giro, m.

Li: Distancia entre ruedas del vehículo de diseño, entre ejes consecutivos, m.

C: Claro lateral (asumido de 0.6, 0.75 y 0.9 m).

Ancho de saliente frontal en el carril inferior (FA).

$$FA = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

A: Saliente frontal del eje del vehículo, en el carril interior, m.

R: Radio de la curva, m.

L: Distancia entre ruedas de la unidad o del remolque, m.

Ancho recomendable (Z).

$$Z = 0.1 \left(\frac{V}{\sqrt{R}} \right) \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

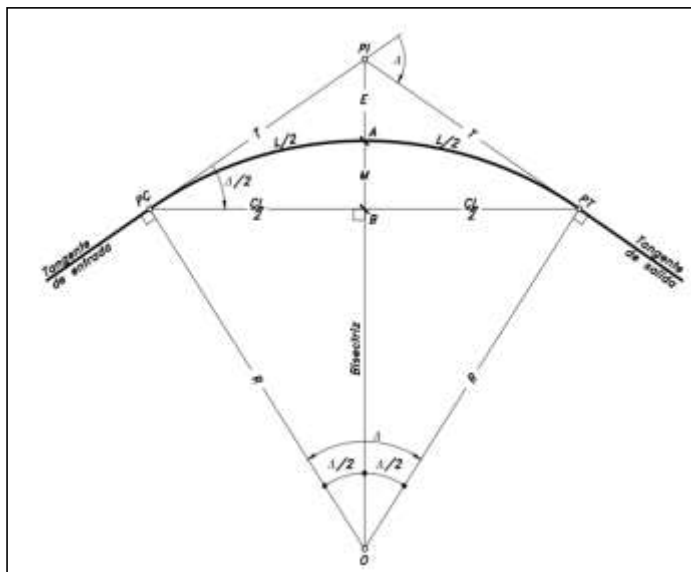
V: Velocidad de diseño, Km/h.

R: Radio de la curva, m.

5.2.10 Curvas circulares simples

Las curvas horizontales simples son arcos de circunferencia de un solo radio que une dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Por lo tanto, las curvas reales del espacio no necesariamente son circulares. (Diseño Geométrico de Carreteras, James Cárdenas Grisales, Pagina 38).

Figura 20. Elementos geométricos que caracterizan una curva circular simple.



Fuente: Diseño Geométrico de Carreteras, James Cárdenas Grisales, Pagina 39.

PI: Punto de intersección de las tangentes o vértice de la curva.

PC: Principio de curva, punto donde termina la tangente de entrada y empieza la curva.

PT: Principio de tangente, punto donde termina la curva y empieza la tangente de salida.

O: Centro de la curva circular.

Δ : Angulo de deflexión de las tangentes, ángulo de deflexión principal, es igual al ángulo central subtendido por el arco PC-PT.

R: Radio de la curva circular simple.

T: Tangente o subtangente, distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.

L: Longitud de curva circular, distancia desde el PC al PT a lo largo del arco circular, o de un polígono de cuerdas.

CL-CM: Cuerda larga, distancia en línea recta desde el PC al PT.

E: Externa, distancia desde el PI al punto medio de la curva A.

M: Ordenada media, distancia desde el punto medio de la curva A al punto medio de la cuerda B.

Ecuaciones de una curva circular simple.

$$ST = R * \tan \frac{\Delta}{2} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$Lc = \frac{\pi * R * \Delta}{180} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$CM = 2 * R * \sin \frac{\Delta}{2} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$E = \frac{R}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R \quad \text{Ecuación 30}$$

$$M = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2}\right) \quad \text{Ecuación 31}$$

Estacionamientos de una curva circular simple.

$$\text{Est PC} = \text{Est PI} - ST \quad \text{Ecuación 32}$$

$$\text{Est PI} = \text{Est PC} + Lc/2 \quad \text{Ecuación 33}$$

$$\text{Est PT} = \text{Est PC} + Lc \quad \text{Ecuación 34}$$

5.3 Alineamiento vertical

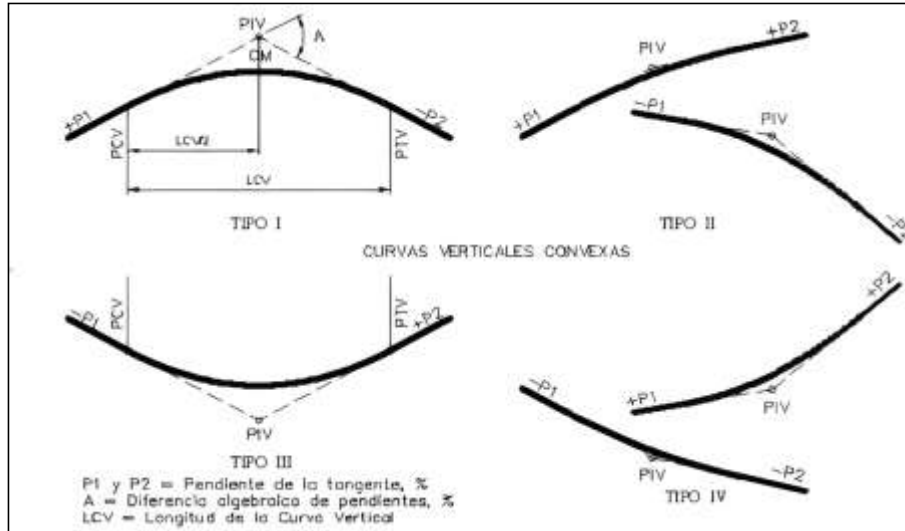
El alineamiento vertical está compuesto por tangentes y curvas, caracterizándose las tangentes por su longitud y su pendiente y se limitan por dos curvas verticales sucesivas. La longitud de la tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente; la pendiente de la tangente es la relación entre la diferencia de nivel y la distancia horizontal entre dos puntos de la misma, expresándola generalmente en porcentaje. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.115).

5.3.1 Curvas verticales

En términos generales existen curvas verticales en cresta o convexas y en columpio o cóncavas. Las primeras se diseñan de acuerdo con la más amplia distancia de visibilidad para la velocidad de diseño y las otras conforme a la distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera. La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.123).

En la figura siguiente se muestran las diferentes tipologías de curvas utilizadas en el diseño del alineamiento vertical.

Figura 21. Tipos de curvas verticales



Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 123.

5.3.2 Curvas verticales en cresta

Las longitudes mínimas de curvas verticales en cresta que se basan en el criterio de distancias de visibilidad (S), generalmente son satisfactorias desde el punto de vista de seguridad, confort y apariencia.

Las ecuaciones básicas para calcular la longitud de una curva vertical en cresta, en términos de la diferencia algebraica de pendientes y distancia de visibilidad son:

Cuando S es menor que L :

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} \quad \text{Ecuación 35}$$

Cuando S es mayor que L:

$$L = \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A} \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

L: Longitud de la curva vertical, m.

S: Distancia de visibilidad, m.

A: Diferencia algebraica de pendientes, en porcentaje.

h1: Altura del ojo sobre la superficie del camino, m.

h2: Altura del objeto sobre la superficie, m.

Tomando en cuenta que la distancia de visibilidad es constante para una velocidad dada, se puede expresar la longitud de la curva vertical en función de su constante K, expresándose entonces $L = KA$, o de otra forma, $K = L/A$. En la **tabla 54 y 55** se muestran los valores calculados para K.

K: Longitud (m), por porcentaje de A.

Tabla 54. Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de parada.

Velocidad de diseño KPH	Distancia de visibilidad de parada (m)	Tasa de curvatura vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11.0	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 125.

Tabla 55. Control de diseño para curva vertical en cresta para distancia de visibilidad de adelantamiento.

Velocidad de diseño KPH	Distancia de visibilidad de adelantamiento (m)	Tasa de curvatura vertical K
		Para diseño
30	200	46
40	270	84
50	345	138
60	410	195
70	485	272
80	540	338

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 125.

5.3.3 Curvas verticales cóncavas o en columpio

Se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas cóncavas o en columpio:

- ✓ El primero se basa en la distancia iluminada por los faros delanteros del vehículo.
- ✓ La siguiente toma en cuenta básicamente una sensación subjetiva de comodidad en la conducción, cuando el vehículo cambia de dirección en el alineamiento vertical.
- ✓ El tercero considera requerimientos de drenaje.
- ✓ El último se basa en consideraciones estéticas.

Se presentan dos casos a considerar en el primer criterio, dependiendo si la distancia iluminada por los faros del vehículo es mayor o no que la longitud de la curva. Cuando la longitud de curva, L, es menor que la distancia de visibilidad iluminada, S, se utiliza la fórmula que sigue:

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3.5S}$$

Ecuación 37

Donde:

L: Longitud de curva vertical en columpio, m.

S: Distancia de visibilidad iluminada por los faros del vehículo, m.

A: Diferencia algebraica entre pendientes de la curva, %.

Cuando S es mayor que L, la fórmula utilizada es la siguiente:

$$L = 2S - \left(\frac{120 + 3.5S}{A} \right) \quad \text{Ecuación 38}$$

De igual manera en que fueron calculados los valores de diseño de las curvas en cresta, también es conveniente expresar los controles de diseño de las curvas en columpio en términos de K para todos los valores de A. Con estas bases se ha preparado la **tabla 56** que se muestra a continuación.

Tabla 56. Control de diseño para curva vertical cóncava o en columpio.

Velocidad de diseño KPH	Distancia de visibilidad de parada (m)	Tasa de curvatura vertical K	
		Calculada	Para Diseño
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 127.

5.3.4 Pendientes de control para el diseño

Las pendientes en las carreteras afectan la operación de los vehículos. En automóviles, las pendientes de hasta 5% no afectan significativamente la velocidad, pero a medida que la pendiente aumenta, la velocidad disminuye gradualmente en subida y aumenta ligeramente en bajada. En vehículos pesados, las pendientes tienen una influencia considerable en la velocidad, especialmente en carreteras con alto tráfico.

La relación peso/potencia de los vehículos determina su capacidad para recorrer pendientes específicas. Las restricciones de velocidad están principalmente relacionadas con la seguridad y la comodidad del conductor. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.117).

El valor de las pendientes máximas de acuerdo al tipo de terreno se muestra en la **tabla 57** la cual me indica que, para un tipo de terreno ondulado y una velocidad de 50 km, el valor de la máxima pendiente es del 9 %.

Tabla 57. Pendiente máxima para carretera colectoras rurales.

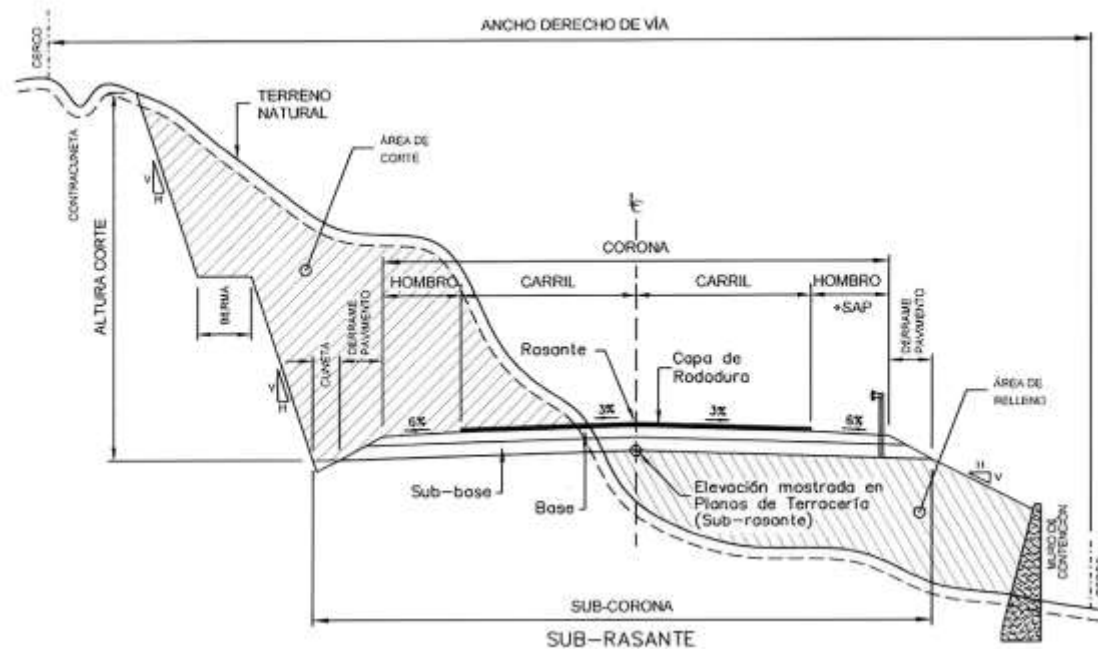
Tipo de terreno	Máxima pendiente (%) para la velocidad de diseño específica, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	7	7	7	7	7	6	6	5
Lomerío	10	10	9	8	8	7	7	6
Montañoso	12	11	10	10	10	9	9	8

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 119.

5.4 Sección transversal

La sección transversal de una carretera o calle, muestra sus características geométricas, según un plano normal vertical a la superficie que contiene el eje de la carretera o calle. Dicha sección transversal varia de un punto a otro de la carretera ya que resulta de la combinación de los distintos elementos que la constituyen, cuyos tamaños, formas e interrelaciones depende de las funciones que cumplen y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.137).

Figura 22. Sección transversal



Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 138.

5.4.1 Plataforma o corona

Se le llama “plataforma” o “corona” a la superficie visible de una carretera o calle que queda comprendida entre las aristas del relleno y/o las interiores de las cunetas. El ancho de la corona comprende la rasante, la pendiente transversal, el ancho de la calzada, los hombros, el sobre ancho del hombro en relleno, las aceras o banquetas y la mediana, en caso de que ésta última forme parte de la sección transversal.

Como la plataforma o corona es la superficie visible, también puede contener algunos elementos que se consideran auxiliares, como bordillos, defensas o barreras de contención, señalización e iluminación. (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, pág.137).

5.4.2 Rasante

Es la elevación del pavimento en el eje o línea central en carreteras bidireccionales; al proyectar sobre un plano vertical sus distintas elevaciones, se obtendrá el desarrollo de la plataforma o corona del camino, el cual estará formado por pendientes, ascendentes o descendentes y curvas verticales que las enlazan.

5.4.3 Pendiente transversal

Es la pendiente que se le da a la plataforma o corona en las tangentes del alineamiento horizontal con el objeto de facilitar el escurrimiento superficial del agua. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente para que el conductor no experimente incomodidad o inseguridad.

En base al (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2004 cuadro 1, página 13), especifica que para una colectora rural las pendientes transversales de calzadas varían entre 1.5 y 3 %, para este diseño se opta por utilizar un bombeo del 2%.

5.4.4 Hombros o espaldones

Los hombros o espaldones son las áreas de la carretera contigua a los carriles de circulación y que, en conjunto con estos, constituyen la corona o sección comprendida entre los bordes de los taludes y que tiene su justificado en:

- ✓ La necesidad de proveer espacios para acomodar los vehículos que ocasionalmente sufren desperfectos durante su recorrido.
- ✓ Para llenar la importante función de dar estabilidad estructural a los carriles de circulación vehicular por medio del confinamiento.
- ✓ Para permitir los movimientos peatonales en ciertas áreas donde la demanda lo justifique.
- ✓ Para proporcionar el espacio lateral libre suficiente para la instalación de las señales verticales de tránsito.

En la **tabla 58** se muestran los valores mínimos para una colectora menor rural y que se encuentran comprendidos entre 1.2 y 1.60 m. sin embargo a causa de las limitaciones por el derecho de vía quedan obsoleto estos valores y se opta por un diseño sin la presencia de hombros.

Tabla 58. Anchos mínimos de hombros y aceras.

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros		Ancho de Aceras (m)
				Internos	Externos	
AA	Autopista	Controlado	Alto	1.0 -1.5	2.5 - 3.0	
AR	Arterial Rural	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 -3.0	2.0
AU	Arterial Urbana	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	2.5 -3.0	2.0
AMR	Arterial Menor Rural	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 -1.2
AMU	Arterial Menor Urbana	-	Alto	-	1.2 - 1.6	1.0 -1.2
CMR	Colector Mayor Rural	Controlado	Alto	1.0 -1.5	2.5 -3.0	1.2 -2.0
CMU	Colector Mayor Urbana	-	Alto	0.5 -1.0*	1.2 - 1.8	1.2 -1.5
CR	Colectoras Menor	-	Intermedio	-	1.2 - 1.6	1.0 -1.2
CS	Colectoras Menor	-	Intermedio	-	1.2 - 1.6	1.0 -1.2
LR	Local Rural	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 -1.2
LU	Local Urbano	-	Intermedio	-	0.75-1.6	1.0 -1.2
R	Rural	-	Bajo	-	-	-

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2011, Pag 142.

5.4.5 Número de carriles

Los carriles se refieren a las divisiones o unidad de medida transversal, en una carretera o autopista que se utilizan para dirigir y separar el flujo de vehículos permitiendo mantener el tráfico organizado y seguro.

En el (Manual Centroamericano de normas para el diseño de carreteras regionales, SIECA 2004, cuadro 1, página 13) se encuentra especificado de acuerdo a la clasificación funcional de la carretera el número de carriles. Para este diseño se designan dos carriles el cual proporcionara una correcta fluidez del tránsito vehicular.

5.4.6 Ancho de carril

La calzada o superficie de rodamiento, es aquella parte de la sección transversal destinada a la circulación de los vehículos, constituida por uno o más carriles para uno o dos sentidos. Cada carril tendrá un ancho suficiente para permitir la circulación de una sola fila de vehículos. El ancho y el número de carriles de la calzada se determinan con base en un análisis de capacidad y nivel de servicio deseado al final del período de diseño. Los anchos de carril normalmente utilizados en recta son de 3.00m, 3.30m, 3.50m y 3.65m, respectivamente. (Diseño Geométrico de Carreteras, James Cárdenas Grisales, Pagina 406).

El ancho de carril seleccionado es de 3.00m para ambos sentidos, ofreciendo la garantía de la seguridad y comodidad suficiente para los vehículos que transitan en la vía.

5.4.7 Derecho de vía

Faja de terreno de ancho variable dentro del cual se encuentra comprendida la carretera, sus obras complementarias, servicios, áreas previstas para futuras obras de ensanche o mejoramiento, y zonas de seguridad para el usuario. Su ancho se establece mediante resolución del titular de la autoridad competente respectiva.

Tabla 59. Parámetros para el diseño

Parámetros de diseño	
Clasificación funcional	Colectora menor rural
Vehículo de diseño	C-2 O SU
Velocidad de diseño	50 Kph
Distancia de visibilidad de parada	65 m
Distancia de visibilidad de rebase	345 m
Peralte máximo	8%
Radio mínimo	73 m
Grado de máximo de curvatura	15°42'
Pendiente máxima	9%
Pendiente transversal	2%
Numero de carriles	2
Ancho de carril	3.00 m

Fuente: Elaboración propia.

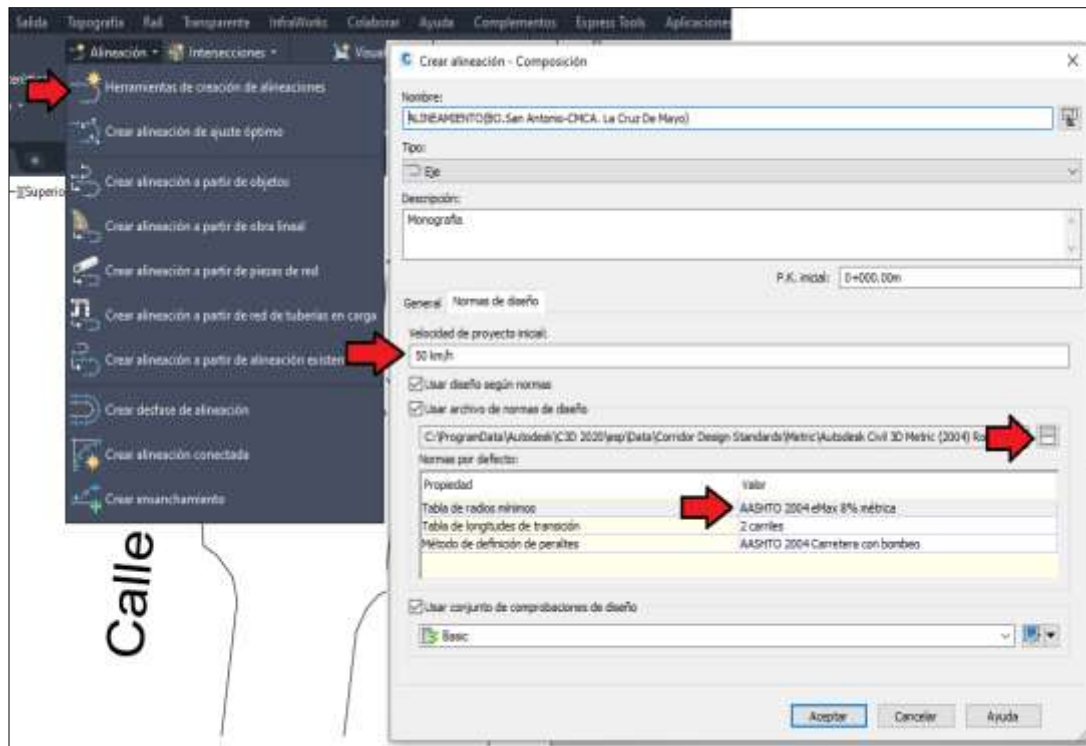
5.5 Aplicación del software AutoCAD Civil 3D 2019

Este proceso incluyó un exhaustivo análisis de las condiciones topográficas, la aplicación de los estándares y normativas pertinentes, así como la optimización de los parámetros de diseño para garantizar la seguridad y eficiencia del diseño.

5.5.1 Creación del alineamiento horizontal

1. Para acceder a la herramienta de dibujo de alineamientos, nos dirigimos a la pestaña "**Alineación**" en la cinta de opciones, donde se despliega una lista de funciones. Seleccionamos la opción "**Herramienta de creación de Alineamiento**". Las propiedades asignadas al tramo de alineamiento incluyen una velocidad de 50 km/h y una sobreelevación del 8.00%, establecidas conforme al criterio de diseño definido en las Normas de Diseño SIECA 2011, (**Ver figura 23**).

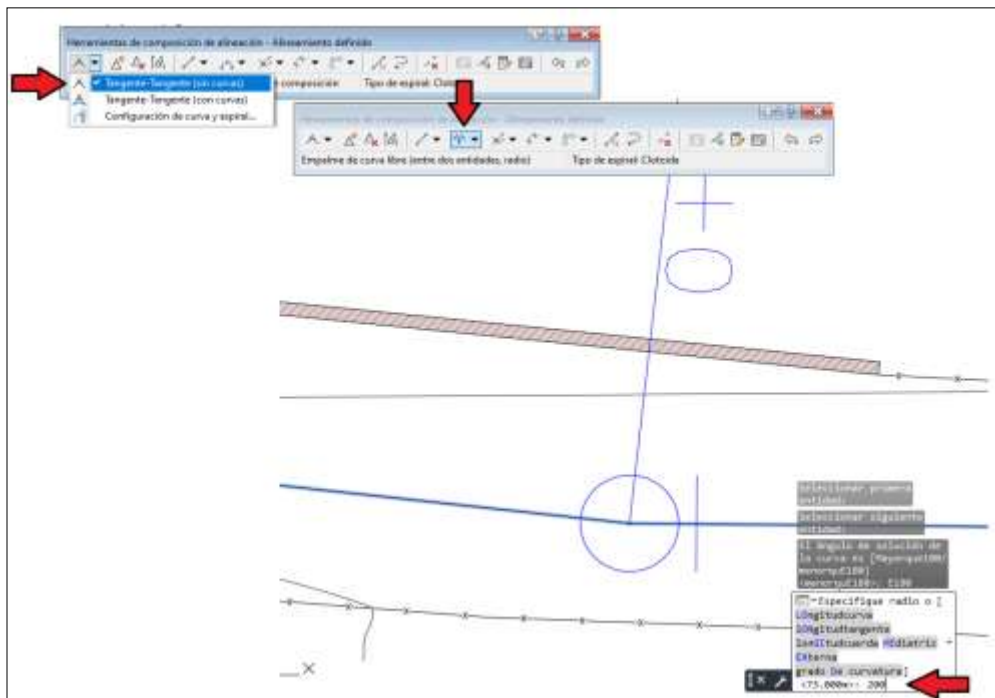
Figura 23. Alineamiento horizontal (Configuración preliminar).



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019

2. Seleccionar la herramienta **“Tangente sin curvas”** y generar curvas a través de la opción **“Empalme de curva libre, entre dos entidades”**, previamente se debe de establecer un radio de curva mayor al mínimo recomendado según la norma SIECA 2011 (mayor a 73 m), (**Ver figura 24**).

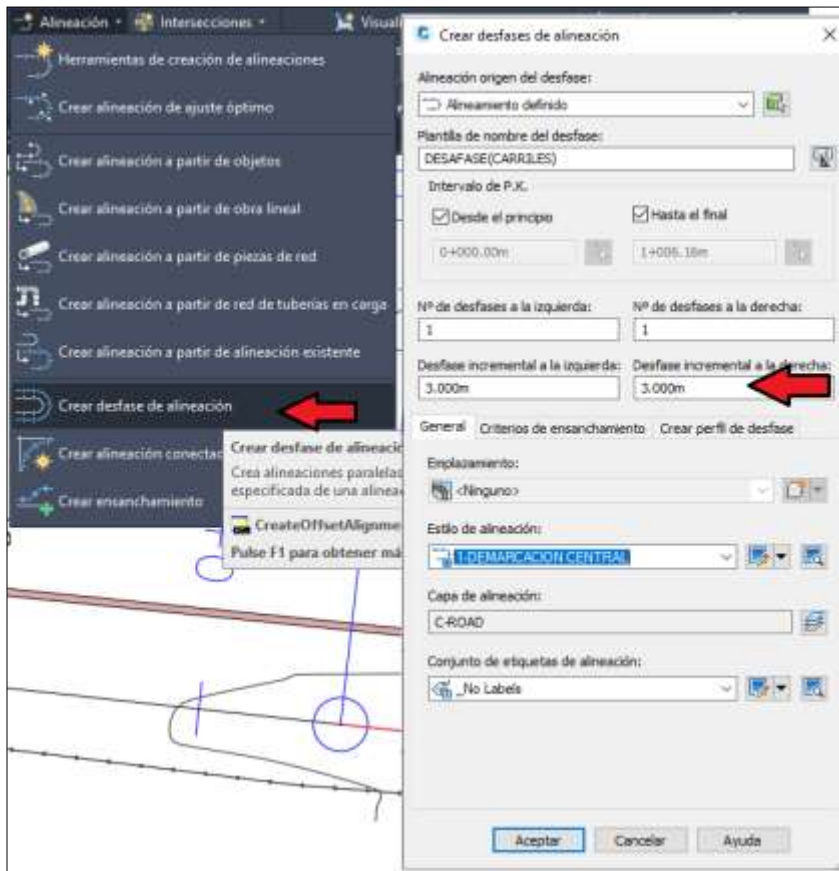
Figura 24. Alineamiento (creación de curvas horizontales).



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

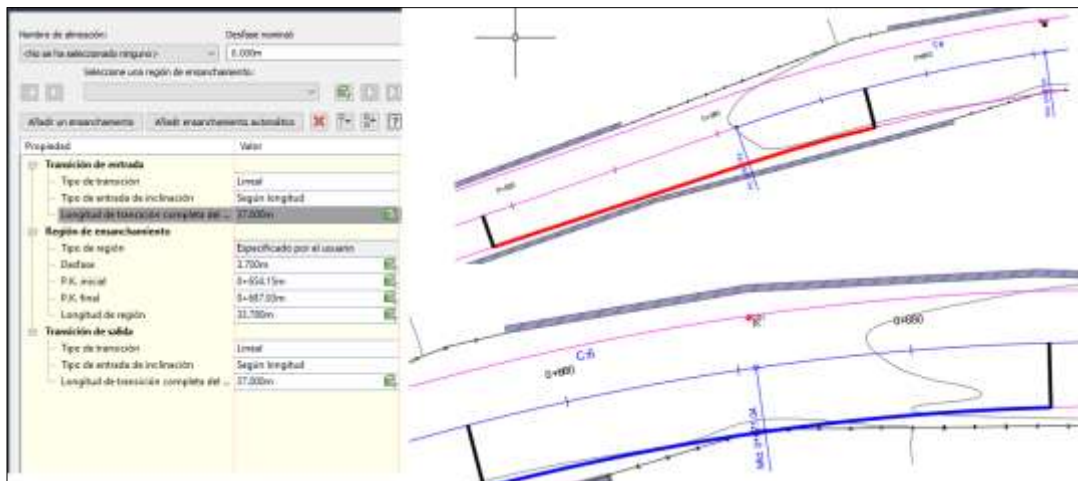
3. Para la creación del desfase, se selecciona la herramienta **“Crear desfase de alineación”** para luego dar valores de desfase (3.00m por carril) sin sobreancho, (**Ver figura 25**). Previamente se selecciona el desfase interno permitiendo desplegar la opción **“Añadir ensanchamiento”**, (Los sobreanchos deben de distribuirse linealmente a lo largo del lado interno de la calzada y en la misma longitud para la transición de peralte a 2/3 sobre la tangente y 1/3 sobre la curva), (**Ver figura 26**).

Figura 25. Alineamiento (Creación de desfase).



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

Figura 26. Alineamiento (Ensanchamiento).

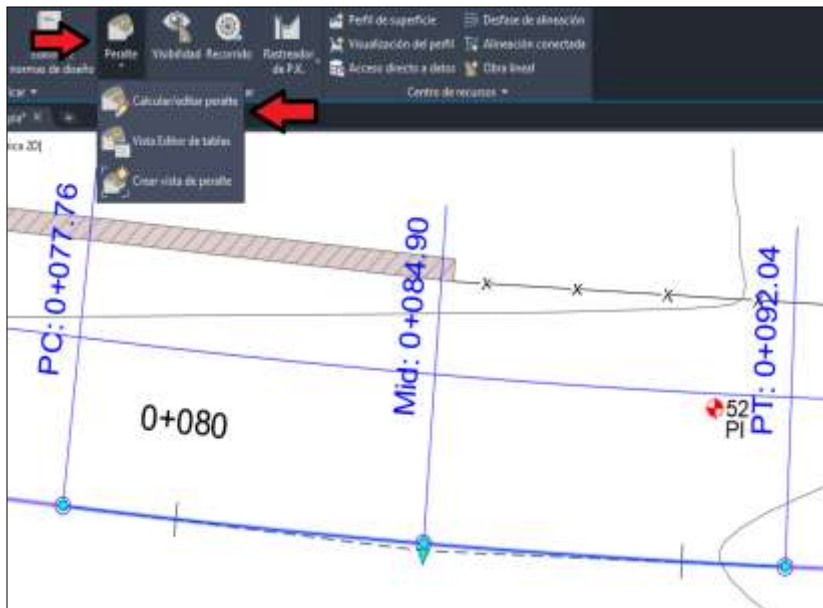


Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

5.5.2 Cálculo de peralte

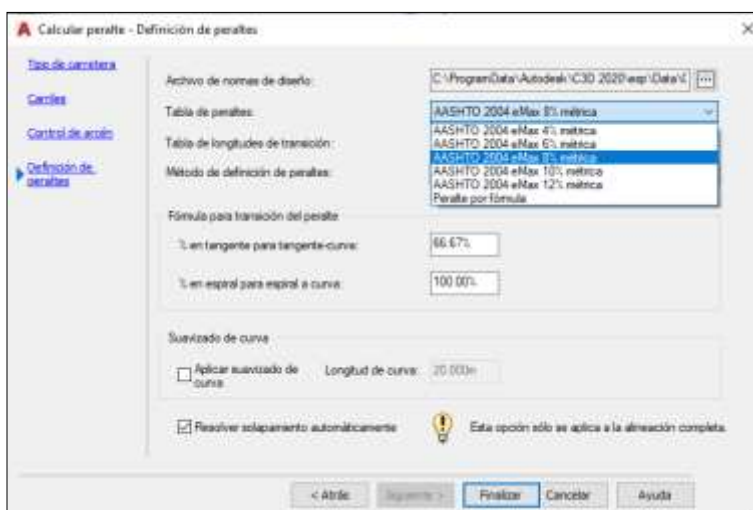
1. Se selecciona el eje central del alineamiento para abrir la ventana de herramientas **"Peralte"**, (Ver figura 27-29) desde la cual se establecerán los parámetros necesarios para calcular el peralte correspondiente a cada curva.

Figura 27. Cálculo de Peralte



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

Figura 28. Cálculo de Peralte (Parámetros).



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

Figura 29. Cálculo de Peralte (Comparación).

Cálculos de elementos de curvas						
Radio mínimo 73 m (SIECA 2011)			Longitud de transición			
N° Curva	R (Calculado)	R (Propuesto)	ed (Calculado)	ed (Civil 3D)	Ls (Calculada)	Ls (Civil 3D)
C:5	200.011 m	200 m	5.8%	5.6%	27 m	31 m
C:6	150.004 m	150 m	6.5%	6.6%	30 m	37 m
C:7	170.008 m	170 m	6.0%	6.2%	28 m	34 m

Curva:5						
Región de entrada de transición	0+357.21m	0+357.21m	0.000m			
Iniciar sección peraltada final	0+357.21m			-5.60%	-5.60%	ed% -C5
Región de salida de transición	0+399.75m	0+399.75m	0.000m			
Finalizar sección peraltada final	0+399.75m			-5.60%	-5.60%	
Curva:6						
Región de entrada de transición	0+654.15m	0+654.15m	0.000m			
Iniciar sección peraltada final	0+654.15m			-6.60%	-6.60%	ed% -C6
Región de salida de transición	0+687.93m	0+687.93m	0.000m			
Finalizar sección peraltada final	0+687.93m			-6.60%	-6.60%	
Curva:7						
Región de entrada de transición	0+727.04m	0+727.04m	0.000m			
Iniciar sección peraltada final	0+727.04m			-6.20%	-6.20%	ed% -C7
Región de salida de transición	0+723.62m	0+788.56m	44.968m			
Escomenta	0+723.62m	0+757.62m	34.000m			
Finalizar sección peraltada final	0+723.62m			-6.20%	-6.20%	
Fin de curva	0+734.95m					
Bombes invertido	0+746.85m			-2.00%	-2.00%	
Bombes desvanecido	0+757.62m			-2.00%	0.00%	
Desvanecimiento del bombeo	0+757.62m	0+788.56m	10.968m			
Bombes desvanecido	0+757.62m			-2.00%	0.00%	
Iniciar bombeo normal	0+768.59m			-2.00%	-2.00%	

Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

Figura 30. Elementos de curvas horizontales.

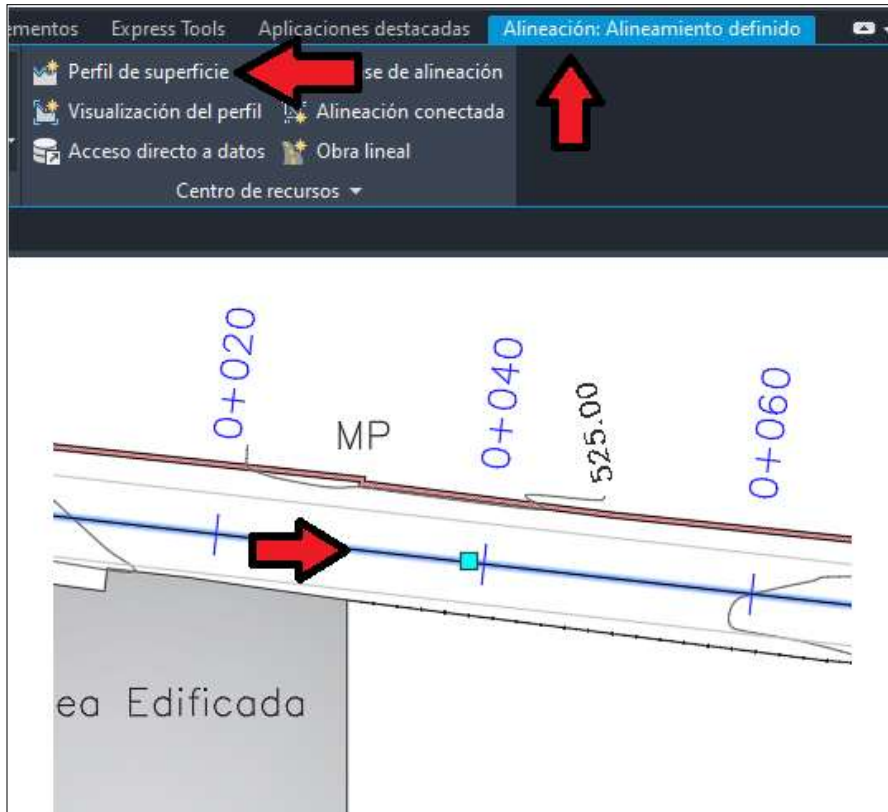
ELEMENTOS DE CURVAS												
C	VEL.DISEÑO	Δ	R	T	LC	GC	CM	E	M	PC	PI	PT
C:1	50 km/h	4°05'34"	200.000	7.147	14.287	5°43'46"	14.284	0.128	0.128	0+077.76	0+084.90	0+092.04
C:2	50 km/h	12°25'38"	240.000	26.130	52.056	4°46'29"	51.954	1.418	1.410	0+164.79	0+190.92	0+216.84
C:3	50 km/h	3°55'48"	400.000	13.724	27.437	2°51'53"	27.432	0.235	0.235	0+355.20	0+368.92	0+382.64
C:4	50 km/h	11°53'20"	200.000	20.825	41.500	5°43'46"	41.426	1.081	1.075	0+448.18	0+469.00	0+489.68
C:5	50 km/h	18°06'17"	200.000	31.864	63.198	5°43'46"	62.935	2.522	2.491	0+546.88	0+578.74	0+610.08
C:6	50 km/h	22°19'24"	150.000	29.597	58.443	7°38'22"	58.074	2.892	2.837	0+641.82	0+671.42	0+700.26
C:7	50 km/h	6°29'08"	170.000	9.632	19.243	6°44'26"	19.233	0.273	0.272	0+715.71	0+725.34	0+734.95
C:8	50 km/h	26°29'09"	150.000	35.301	69.339	7°38'22"	68.724	4.098	3.989	0+827.02	0+862.32	0+896.36
C:9	50 km/h	17°44'09"	160.000	24.963	49.527	7°09'43"	49.330	1.936	1.913	0+945.64	0+970.60	0+995.17

Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

5.5.3 Creación del alineamiento vertical

1. Para la creación del perfil de superficie se selecciona primeramente el eje central del alineamiento horizontal, el cual permitirá desplegar la ventana “Alineación”, para luego seleccionar la opción “Perfil de superficie” (Ver figura 31).

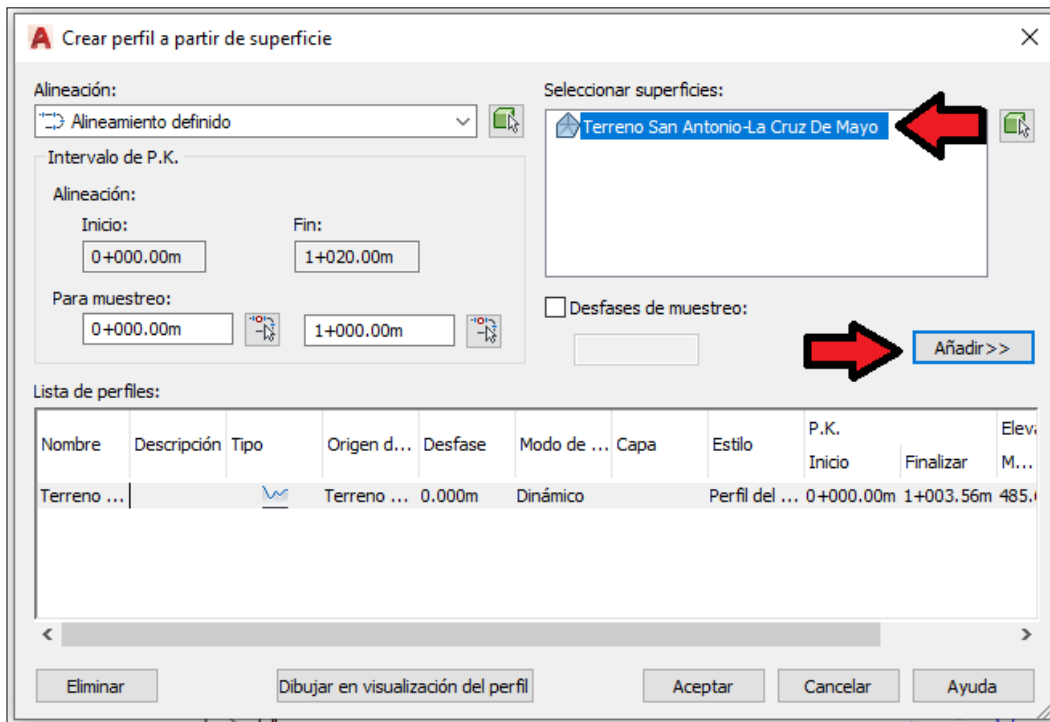
Figura 31. Creación del perfil de superficie.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

2. Una vez seleccionada la opción **“Perfil de superficie”** se desplegará una ventana el cual requiere de una configuración previa a la visualización del perfil, **“Añadiendo”** primeramente la superficie en la **“Lista de perfiles”**, (Ver figura 32).

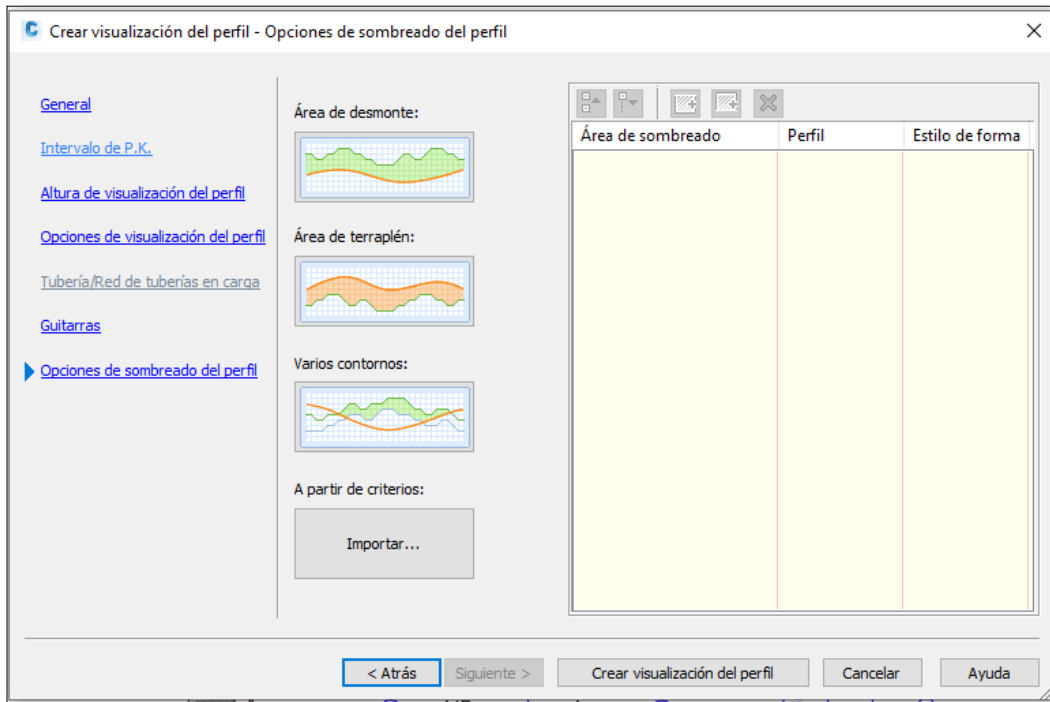
Figura 32. Crear perfil a partir de superficie.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

3. El siguiente paso fue la configuración para crear la visualización del perfil, el cual estará a criterio del diseñador, modificando la opción **“General, Intervalos de P.K, Altura de visualización del perfil, Guitarras y Opciones de sombreado”**, (Ver figura 33).

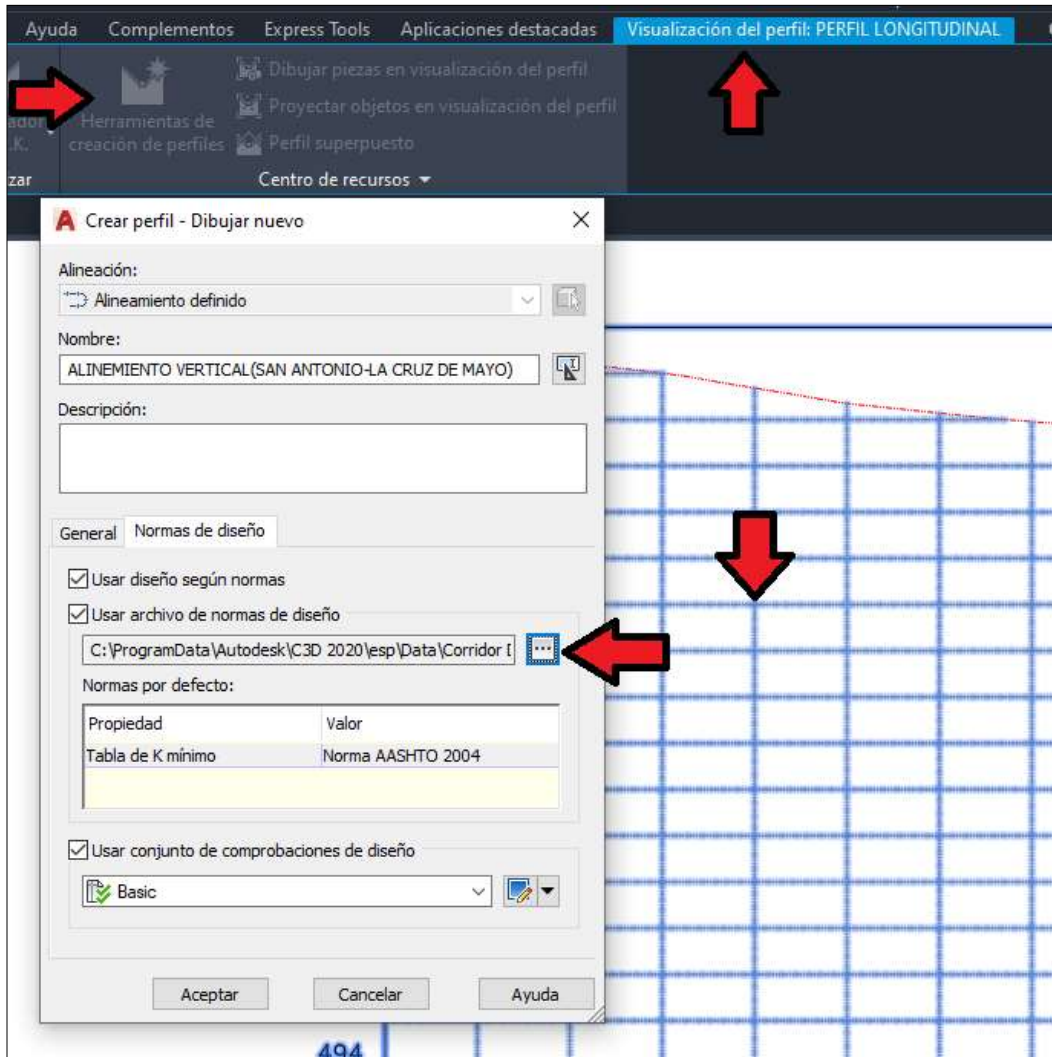
Figura 33. Configuración de vistas del perfil.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

4. Para la creación del alineamiento vertical se selecciona el perfil de la superficie permitiendo desplegar la ventana “**Visualización del perfil**”, luego se opta por seleccionar la opción “**Herramientas de creación de perfiles**” para proceder a la configuración “**General**” y la selección de la norma de diseño a utilizar, (Ver figura 34).

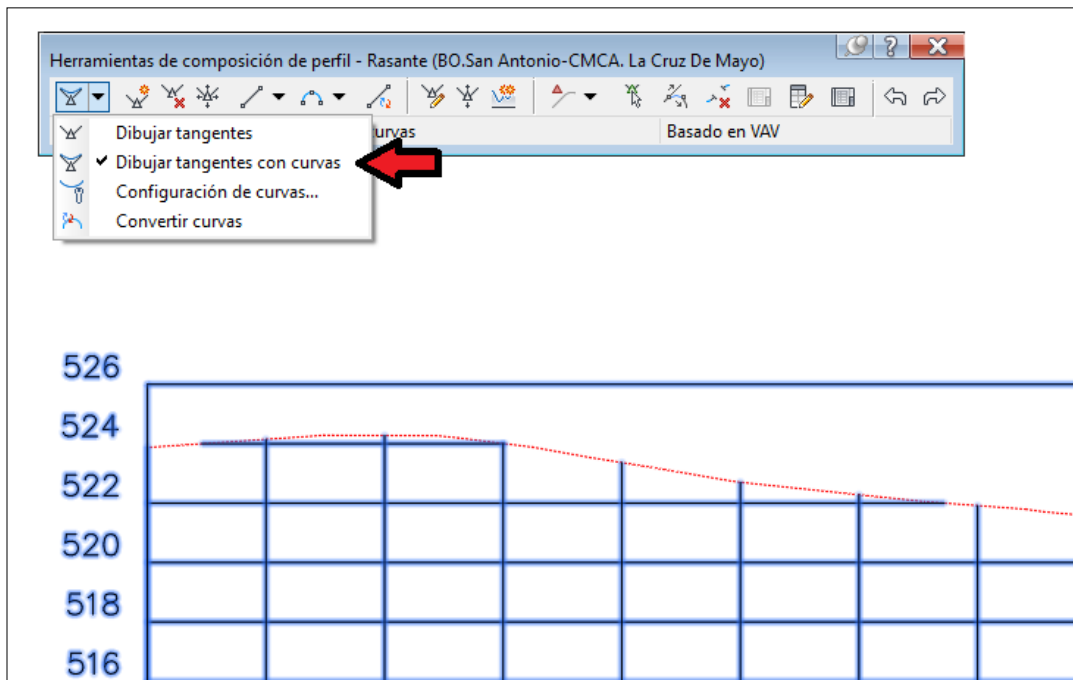
Figura 34. Configuración preliminar para el alineamiento.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

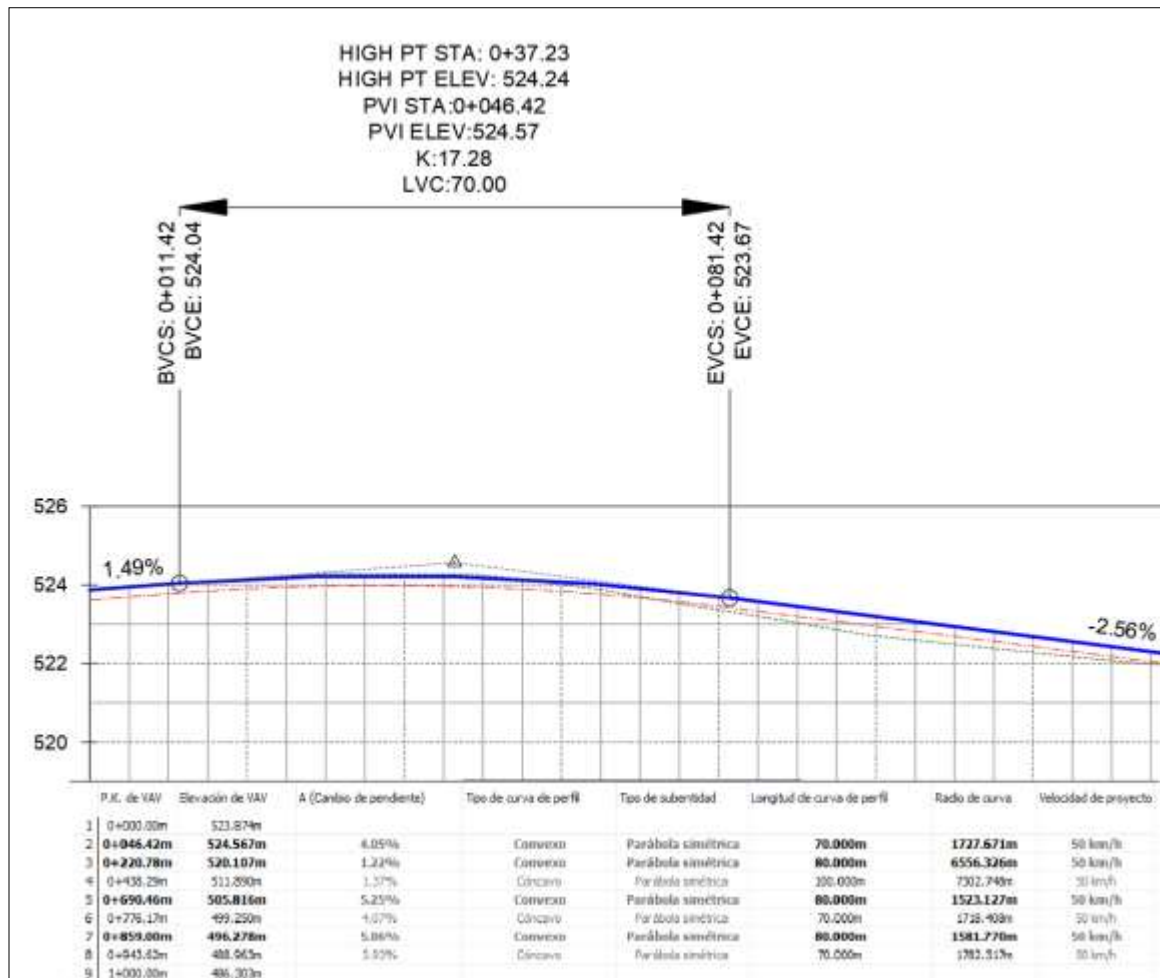
5. Después de realizado el paso 4, se procede a crear el alineamiento a lo largo del perfil de la superficie con la “**Herramienta de composición de perfil**” y la opción “**Dibujar tangentes con curvas**” adaptándonos a las normativas antes establecidas, (Ver figura 35 y 36).

Figura 35. Creación del alineamiento vertical.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

Figura 36. Datos de curvas verticales.



Fuente: Software AutoCAD Civil 3D 2019.

El diseño geométrico de la vía en cuestión fue elaborado por completo utilizando el software CIVIL3D 2019, en concordancia con las directrices establecidas por la normativa de la SIECA-2011. La herramienta AutoCAD Civil 3D nos facilitó la comparación y verificación de los resultados obtenidos, permitiéndonos identificar cada componente del trazado, tanto en curvas horizontales como verticales.

A continuación, se presentan a manera de ejemplo la comprobación y el cálculo de cada elemento de curvas verticales y horizontales partiendo de los datos proporcionados por el programa.

5.5.4 Cálculo de elementos de curva circular simple (C-1, Alineamiento horizontal).

$$R = 200 \text{ m (Civil 3D)} \quad \Delta = 4^{\circ}05'34'' \text{ (Civil 3D)} \quad PI = 0 + 084.90 \text{ (Civil 3D)}$$

$$V_d = 50 \text{ km/h}$$

$$e_{\max} = 8\% \quad f = 0.19$$

$$R_{\min} = 73 \text{ m (SIECA 2011)} \quad G_{\max} = 15^{\circ}42' \text{ (SIECA 2011)}$$

1. Radio de diseño de la curva

$$R = \frac{1145.95}{G_c} = \frac{1145.95}{5^{\circ}43'46''} = 200.011 \text{ m} \approx 200 \text{ m} > R_{\min} = 73 \text{ m (Cumple)}$$

2. Grado de curvatura

$$G_c = \frac{1145.95}{R} = \frac{1145.95}{200} = 5^{\circ}43'46'' < G_{\max} = 15^{\circ}42' \text{ (Cumple)}$$

3. Sub-tangente

$$ST = R * \tan \frac{\Delta}{2} = 200 * \tan \frac{4^{\circ}05'34''}{2} = 7.146 \text{ m}$$

4. Longitud de la curva

$$L_c = \frac{\pi * R * \Delta}{180} = \frac{\pi * 200 * 4^{\circ}05'34''}{180} = 14.286 \text{ m}$$

5. Cálculo de estacionamientos

$$Est \text{ PC} = Est \text{ PI} - ST = 0 + 084.90 - 7.146 = 0 + 077.754$$

$$Est \text{ PI} = Est \text{ PC} + L_c/2 = 0 + 077.754 + 14.286/2 = 0 + 084.897$$

$$Est \text{ PT} = Est \text{ PC} + L_c = 0 + 077.754 + 14.286 = 0 + 092.039$$

6. Cuerda máxima

$$CM = 2 * R * \sin \frac{\Delta}{2} = 2 * 200 * \sin \frac{4^{\circ}05'34''}{2} = 14.283 \text{ m}$$

7. Externa

$$E = \frac{R}{\cos \frac{\Delta}{2}} - R = \frac{200}{\cos \frac{4^{\circ}05'34''}{2}} - 200 = 0.128 \text{ m}$$

8. Ordenada

$$M = R * \left(1 - \cos \frac{\Delta}{2}\right) = 200 * \left(1 - \cos \frac{4^{\circ}05'34''}{2}\right) = 0.128 \text{ m}$$

5.5.5 Cálculo de sobreancho para curva circular simple (C-1).

Vehículo de diseño = C2

Velocidad de diseño (V) = 50 km/h

Numero de carriles (N) = 2

Ancho de rodamiento (Wn) = 6.00 m

Radio (R) = 200 m

Ancho de la huella del vehiculo (u) = 2.40 m

Distancia entre ruedas del vehiculo entre ejes consecutivos (L) = 6.10 m

Claro lateral (C) = 0.60 m

Saliente frontal (A) = 1.20 m

1. Ancho de huella del vehículo en curva

$$U = u + R - \sqrt{R^2 - \sum Li^2} = 2.40 + 200 - \sqrt{200^2 - 6.10^2} = 2.49 \text{ m}$$

2. Ancho saliente frontal en el carril interior

$$FA = \sqrt{R^2 + A(2L + A)} - R = \sqrt{200^2 + 1.20(2 * 6.10 + 1.20)} - 200 = 0.04 \text{ m}$$

3. Ancho extra recomendable

$$Z = 0.1 \left(\frac{V}{\sqrt{R}} \right) = 0.1 \left(\frac{50}{\sqrt{200}} \right) = 0.35 \text{ m}$$

4. Ancho necesario en curva

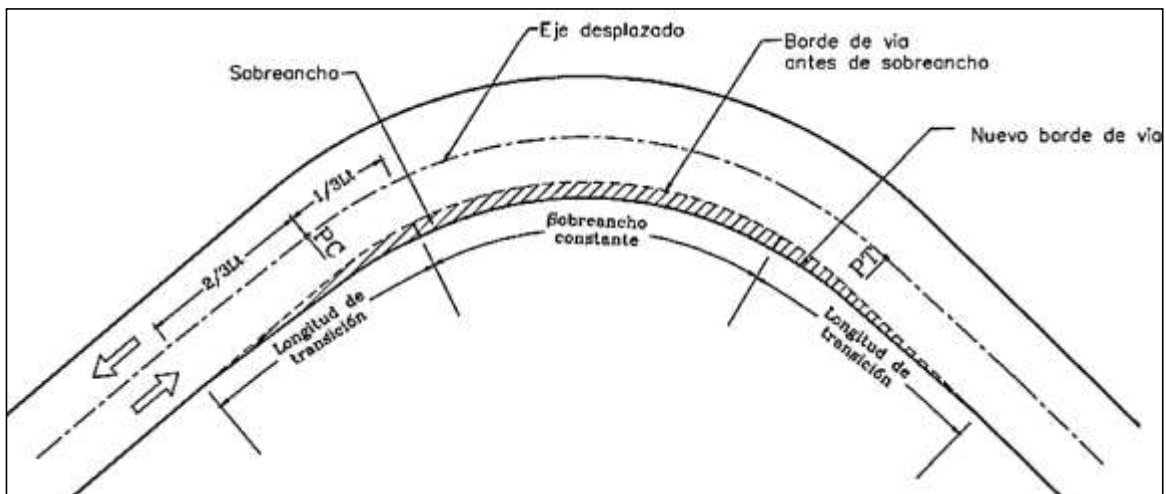
$$W_c = N(U + C) + (N - 1)FA + Z = 2(2.49 + 0.60) + (2 - 1)0.04 + 0.35 = 6.57 \text{ m}$$

5. Sobreancho

$$W = W_c - W_n = 6.57 - 6.00 = 0.57 \text{ m} < 0.60 \text{ m (No requerido)}$$

En caso de requerir sobreancho, por razones de apariencia el sobreancho se debe desarrollar linealmente a lo largo del lado interno de la calzada, en la misma longitud utilizada para la transición del peralte. El borde externo y la línea central deben mantenerse como arcos concéntricos, **Ver figura 37.**

Figura 37. Transición del sobreancho en curva circular simple.



Fuente: Diseño geométrico de vías, Ajustado al Manual Colombiano John Jairo Agudelo Ospina, Medellín 2002, Pág.469.

5.5.6 Cálculo de longitud de transición en una curva circular simple (C-1)

Datos

$$w = 3 \text{ m}$$

$$e_d = 5.8\%$$

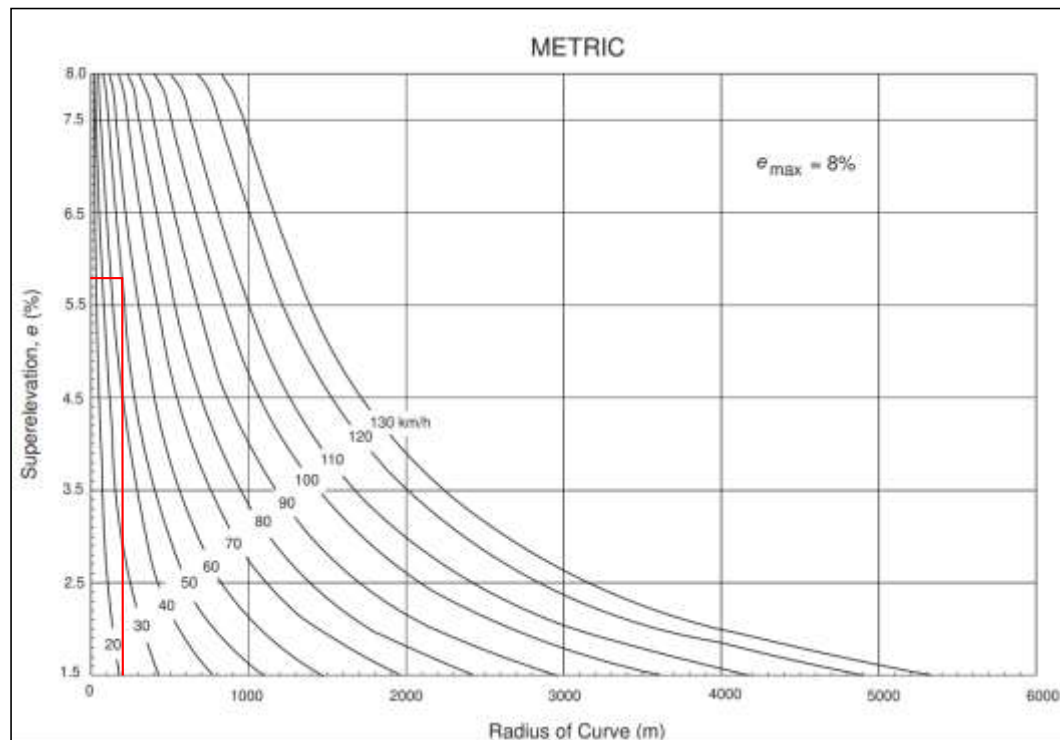
$$b_w = 1$$

$$n_1 = 1$$

$$e_{NC} = 2.0\%$$

$$\Delta = 0.65\%$$

1. Determinación del peralte “ed” mediante la **figura 18** reflejada anteriormente (Tasas de peralte de diseño para una tasa de peralte máxima del 8%).



Mediante la proyección para un radio de 200 m y un peralte máximo del 8 % de determina un “ed” de 5.8%.

2. Calcular la longitud de transición del peralte.

$$L_s = \frac{(Wn_1) * e_d}{\Delta} * (b_w) = \frac{3 * 1 * 5.8\%}{0.65\%} * (1) = 27 \text{ m}$$

3. Calcular la longitud de transición del bombeo (aplanamiento)

$$D_b = \frac{e_{NC}}{e_d} L_r = \frac{2.0\%}{5.8\%} * 27 = 9.00 \text{ m}$$

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los cálculos de elementos para cada curva horizontal presentes en el diseño. Cada elemento fue determinado manualmente siendo estos comparados con los obtenidos por el software civil 3D, cumpliendo con los criterios de diseño de la SIECA 2011.

Tabla 60. Elementos de curvas.

Elementos de curvas																
Radio mínimo 73 m (SIECA 2011)				Gmax 15°42' (SIECA 2011)			emax 8% (SIECA 2011)			Si W < 0.60 No requiere sobreancho (SIECA 2011)						
N° Curva	R (Calculado)	R (Propuesto)	T	LC	PC	PI	PT	CM	E	M	W (Calculado)	W (Propuesto)	ed (Calculado)	ed (Civil 3D, Norma SIECA 2011)	Ls (Calculada)	Ls (Civil 3D, Norma SIECA 2011)
C:1	200.011 m	200 m	7.146 m	14.287 m	0+077.723	0+084.896	0+092.039	14.284 m	0.128 m	0.128 m	0.58 m	–	5.8%	5.6%	27 m	31 m
C:2	240.003 m	240 m	26.130 m	52.056 m	0+164.79	0+190.818	0+216.846	51.954 m	1.418 m	1.410 m	0.51 m	–	5.0%	5.2%	23 m	29 m
C:3	400.021 m	400 m	13.724 m	27.438 m	0+355.196	0+368.915	0+382.634	27.433 m	0.235 m	0.235 m	0.36 m	–	3.5%	3.6%	16 m	20 m
C:4	200.011 m	200 m	20.826 m	41.502 m	0+448.174	0+468.925	0+489.676	41.428 m	1.081 m	1.075 m	0.58 m	–	5.8%	5.6%	27 m	31 m
C:5	200.011 m	200 m	31.864 m	63.198 m	0+546.876	0+578.475	0+610.074	62.938 m	2.522 m	2.491 m	0.58 m	–	5.8%	5.6%	27 m	31 m
C:6	150.004 m	150 m	29.597 m	58.443 m	0+641.853	0+671.074	0+700.296	58.075 m	2.892 m	2.837 m	0.71 m	0.70 m	6.5%	6.6%	30 m	37 m
C:7	170.008 m	170 m	9.632 m	19.243 m	0+715.708	0+725.329	0+734.951	19.234 m	0.273 m	0.272 m	0.65 m	0.70 m	6.0%	6.2%	28 m	34 m
C:8	150.004 m	150 m	35.302 m	69.341 m	0+827.018	0+861.689	0+896.359	68.725 m	4.098 m	3.989 m	0.71 m	0.70 m	6.5%	6.6%	30 m	37 m
C:9	160.005 m	160 m	24.964 m	49.529 m	0+945.636	0+970.401	0+995.165	49.332 m	1.936 m	1.913 m	0.68 m	0.70 m	6.4%	6.4%	30 m	35 m

Fuente: Elaboración propia.

5.5.7 Calculo para curvas verticales (C-7).

Estacionamiento del PIV = 0 + 943.62 m (CIVIL 3D)

Elevacion del PIV = 488.96 m (CIVIL 3D)

Pendiente de entrada = -8.65% (CIVIL 3D)

Pendiente de salida = -4.72% (CIVIL 3D)

1. Diferencia algebraica de pendientes (A).

$$A = P_2 - P_1 \quad \text{Ecuación 39}$$

$$A = -4.72 - (-8.75) = 3.93 \quad \text{Si } A > 0.5\% \text{ Requiere de curva vertical.}$$

A = (+) Curva vertical en columpio.

2. Cálculo de la longitud de la curva (L).

En la **tabla 56, página 85** se especifica que para una velocidad de diseño de 50 Km/h, el valor de K es igual a 13 y la distancia de visibilidad de parada es de 65 m.

$$L = \frac{A * S^2}{120 + 3.5 * S} \quad \text{Ecuación 40}$$

$$L = \frac{3.93 * 65^2}{120 + 3.5 * 65} = 47.78 \text{ m}$$

$$L_{\min} = K * A \quad \text{Ecuación 41}$$

$$L_{\min} = 13 * 3.93 = 51.1 \text{ m}$$

Según el criterio escogido, el más exigente corresponde a la longitud de la curva, el cual tiene que ser mayor a la distancia de visibilidad de parada, por ende, para esta curva se utilizara una longitud de 70 metros.

3. Cálculo de los estacionamientos y elevaciones de PCV y PTV.

Estacionamientos

$$\text{Est PCV} = 0 + 943.62 - \frac{70}{2} = 908.62$$

$$\text{Est PTV} = 0 + 943.62 + \frac{70}{2} = 978.62$$

Elevaciones

$$\text{Elev PCV} = 488.96 + \frac{8.65}{100} * \frac{70}{2} = 491.99$$

$$\text{Elev PTV} = 488.96 - \frac{4.72}{100} * \frac{70}{2} = 487.31$$

Criterio de comodidad

$$L \geq \frac{3.93 * 50^2}{395} = 24.9$$

Criterio de drenaje

$$L \leq 43 * 3.93 = 169$$

Criterio de apariencia

$$L \geq 30 * 3.93 = 118$$

Tabla 61. Replanteo de curva.

Pto	Estación	X	Ellev s/t	Y	Elev s/c
PCV	908.62	0	491.99	0.00	491.99
	910	1.38	491.87	0.00	491.87
	920	11.38	491.00	0.04	491.04
	930	21.38	490.14	0.13	490.27
	940	31.38	489.27	0.28	489.55
PIV	943.62	35	488.96	0.34	489.30
	950	28.62	488.66	0.23	488.89
	960	18.62	488.19	0.10	488.28
	970	8.62	487.71	0.02	487.74
PTV	978.62	0	487.31	0.00	487.31

Fuente: Elaboración propia.

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO



ADOQUIN



CAPITULO VI. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

6.1 Generalidades

El siguiente capítulo está enfocado en el diseño de la estructura de pavimento articulado mediante el método AASHTO 1993, el cual consiste en determinar los espesores de las capas que lo conforman. Para este método se debe considerar algunos datos para complementar su aplicación, las cuales corresponden al estudio de tránsito y estudio de suelo.

Debido a que no existe un método específico para el diseño de estructuras de pavimento en el país, se recomienda que, para pavimentos con carpeta de rodadura de adoquín, se asuman los mismos criterios establecidos para pavimento flexible.

6.2 Clasificación de los pavimentos

Los pavimentos se pueden clasificar en diferentes categorías según diversos criterios, como el tipo de material utilizado, la función, el espesor, la capacidad de carga, entre otros. Es importante seleccionar el tipo de pavimento adecuado según las condiciones específicas de tráfico, el entorno y el presupuesto disponible, para garantizar la durabilidad y el rendimiento óptimo del pavimento a lo largo del tiempo.

6.2.1 Pavimentos flexibles

Están formados por una capa bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase.

6.2.2 Pavimentos semirrígidos

Es un pavimento especial ya que es una estructura combinada compuesta por una carpeta bituminosa flexible apoyada sobre estructuras rígidas como losas antiguas de concreto o bases estabilizadas con cemento o similares.

6.2.3 Pavimentos rígidos

Está conformado superficialmente por losas de concreto apoyadas sobre una estructura granular que en algunos casos se denomina subbase.

6.2.4 Pavimento articulado o de adoquines

Está compuesto por pequeños bloques prefabricados, normalmente de concreto, que se denominan en nuestro medio como adoquines; se asientan sobre un colchón de arena soportado por una capa de subbase o directamente sobre la subrasante.

6.3 Consideraciones del diseño AASHTO 93

6.3.1 Confiabilidad R

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, la Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93 recomienda diferentes niveles de confiabilidad, el cual la selección del nivel apropiado de confiabilidad para el diseño de un pavimento esta dictada por el uso esperado de ese pavimento. Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad R del 85%, que corresponde a un valor recomendado para una Carretera según su tipología, en la que, según el estudio de tránsito, capítulo III, se clasifica como una colectoras menor rural.

Tabla 62. Niveles de confiabilidad, según clasificación funcional.

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rurales interestatales y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arteriales principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, pagina 137.

Tabla 63. Valores de Zr en función de la confiabilidad R.

Confiabilidad R (%)	Desviación normal estándar (Zr)
50	0.000
60	0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037

Fuente: Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, pagina 93.

6.3.2 Desviación estándar So

La desviación estándar tiene en cuenta la variación que puede haber en las variables que intervienen en el diseño del pavimento, estas son, variación de las propiedades de los materiales y de la sub rasante, variación en las estimaciones del tránsito y de las condiciones ambientales. La AASTHO recomienda adoptar valores según las condiciones del proyecto y el tipo de diseño reflejados en la siguiente tabla, en la que se seleccionó un valor de 0.45, siendo este el sugerido para condiciones de pavimento flexible.

Tabla 64. Valores para la desviación estándar.

Condición del diseño	So
Pavimentos Rígidos	0.30-0.40
Pavimentos Flexibles	0.40-0.50

Fuente: Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, pagina 135.

6.3.3 Módulo de resiliencia MR (Sub-Rasante).

La representación de la subrasante en el diseño de la estructura de pavimento es por medio del Módulo de residencia (MR), este valor es calculado por el ensayo T274 de la AASHTO, pero debido a que es un método muy difícil de realizar en muchos lugares, porque se necesitan de equipos especiales para realizar el ensayo, por lo que dicho modulo fue determinado mediante relaciones existentes, tomando como parámetro el CBR(Relación de Soporte de California), dato que fue calculado por medio de ensayos de la AASHTO T-193(Correlaciones del CBR con el MR, mediante las siguientes ecuaciones.

Para materiales de subrasante con CBR menor a 10% en donde B=1500 pero este valor puede variar entre 750 y 3000 para un MR en Psi.

$$MR = 1500 * CBR$$

Ecuación 42

Para materiales de subrasante con valores de CBR igual o mayor a 10%, se deberán emplear otras formas de correlación, tal como la recomendada por la propia guía de diseño de pavimento AASHTO 93.

$$MR = 4326 * \ln CBR + 241$$

Ecuación 43

En el **capítulo IV, pagina 48** se determina el CBR de diseño el cual corresponde a un 17.2 % y haciendo uso de la ecuación 43 se determina el módulo de resiliencia para la subrasante.

$$MR = 4326 * \ln(17.2) + 241 = 12548 \text{ PSI}$$

6.3.4 Drenaje

En el diseño de pavimento, debe siempre tratarse de que tanto la subrasante, subbase y base estén protegidas de la acción del agua. Al considerar las posibles fuentes de agua, es conveniente proteger la sección estructural del pavimento de la entrada del agua, por lo que es necesario interceptar el agua que corre

superficialmente lo mejor posible, así como sellar la superficie del pavimento (Manual Centroamericano de diseños de pavimentos, capítulo 6, página 1).

Tabla 65. Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.

Calidad de drenaje	% De tiempo en el que el pavimento esta 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 Centroamericano de diseños de pavimentos, capítulo 6, página 4.

La superficie de este diseño basándonos en el alineamiento vertical cuenta con un buen comportamiento ante la exposición al agua, donde las pendientes longitudinales (promedio 4.35%) y transversales (2%) se consideran satisfactorias para desalojar las aguas de la superficie, evitando la saturación y la infiltración a hacia las diferentes capas de la estructura de pavimento. Por consiguiente, se clasifica el sistema de drenaje como bueno, con un coeficiente de drenaje de 1.00.

6.3.5 Coeficientes estructurales a_i

Este método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (a_i), los cuales serán requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos. Estos coeficientes permitirán convertir los espesores reales a números estructurales SN.

Estos están representados con la siguiente simbología:

a_1 : Para la carpeta de rodamiento (Adoquín).

a_2 : Para la base granular (CBR).

a_3 : Para la subbase granular (CBR).

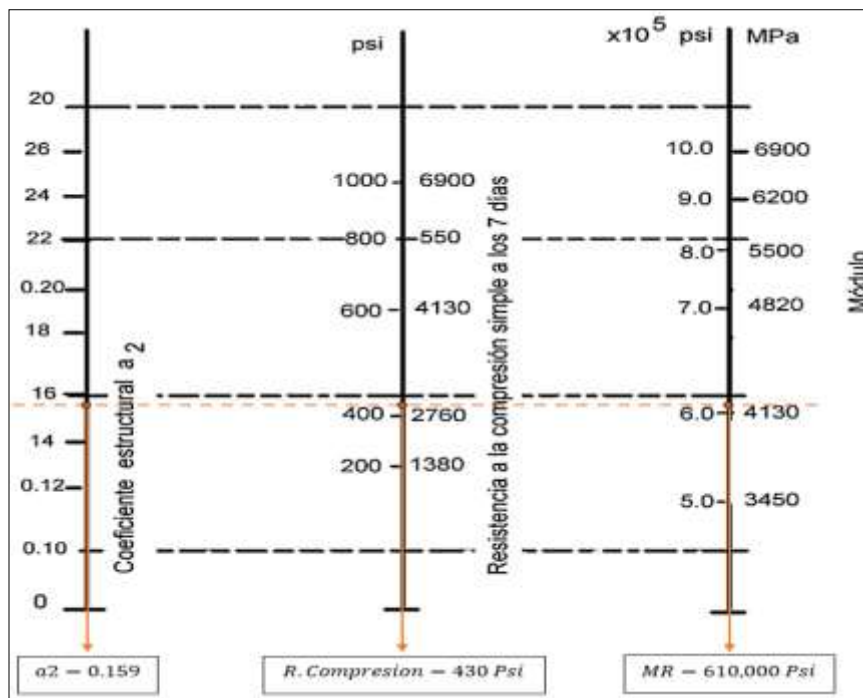
6.3.5.1 Coeficiente estructural para carpeta de rodamiento de adoquín (a1)

Mediante las especificaciones que establece el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (SIECA 2002, pagina 107, capítulo 7) se toma el valor de $a_1=0.45$, el cual es considerado para capas de rodamiento de pavimento articulado.

6.3.5.2 Coeficiente estructural para base estabilizada (a2)

El valor de resistencia a la compresión usado para determinar el valor estructural a_2 es 430 PSI que corresponde al resultado de la estabilización con cemento del banco de préstamo Rufo Arévalo-Masatepe. El valor del coeficiente estructural a_2 se determinó haciendo uso del siguiente nomograma, (**Ver figura 38**) determinándose partiendo de la resistencia a la compresión del material y trazando una recta a ambos extremos, la columna derecha para determinar el Módulo resiliente, $MR= 610,000$ PSI, la columna izquierda para el coeficiente estructural $a_2 = 0.159$.

Figura 38. Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con cemento.

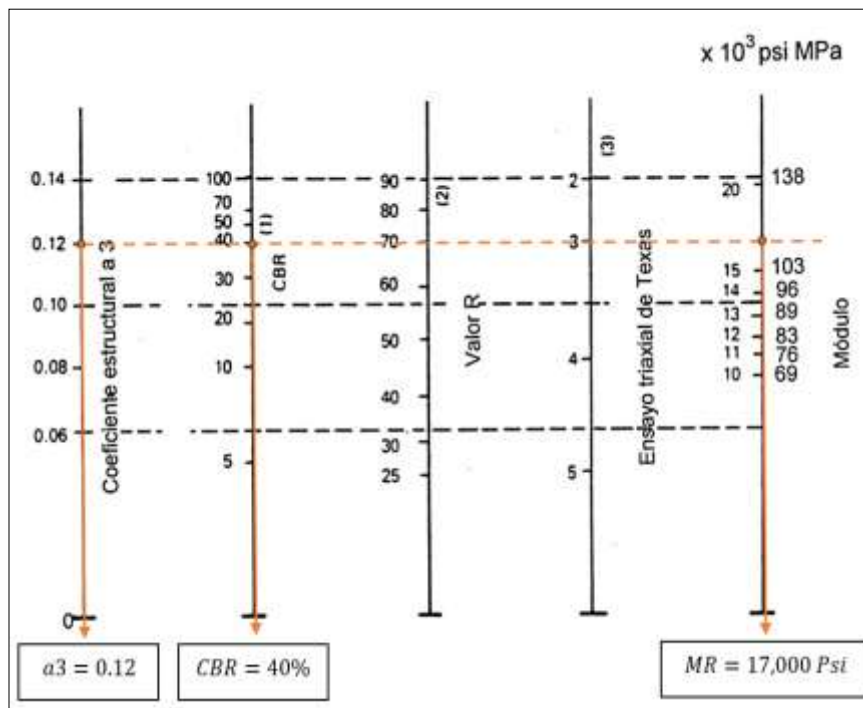


Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 1993, pagina 119.

6.3.5.3 Coeficiente estructural para subbase granular CBR (a_3)

El valor de CBR usado para la subbase proviene del ensayo realizado al banco de préstamo de Don Dennis ubicado en la concepción-Masaya, este valor de CBR corresponde a 40%, utilizando el nomograma establecido por la AASHTO 93 para subbase granulares, (**Ver figura 39**) trazamos una recta horizontal que intercepte la columna de derecha del módulo resiliente obtenemos un valor de $MR = 17,000$ PSI y en la columna izquierda el valor del coeficiente estructural $a_3 = 0.12$.

Figura 39. Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular.



Fuente: Diseño de pavimento método AASHTO 1993, pagina 118.

6.3.6 Numero estructural SN

Este número permitirá representar la capacidad de soporte del pavimento. Este número indicará la cantidad de espesores o capas que requiera el pavimento para soportar las cargas a las que será sometido durante su vida útil. Para cada capa se considerarán coeficientes relativos que dependerán del material que las conforman.

El numero estructural (SN) se puede expresar por medio de la ecuación 44.

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \quad \text{Ecuación 44}$$

Donde:

D1, D2, D3: Son espesores de capas de rodamiento, base y subbase en pulgadas.

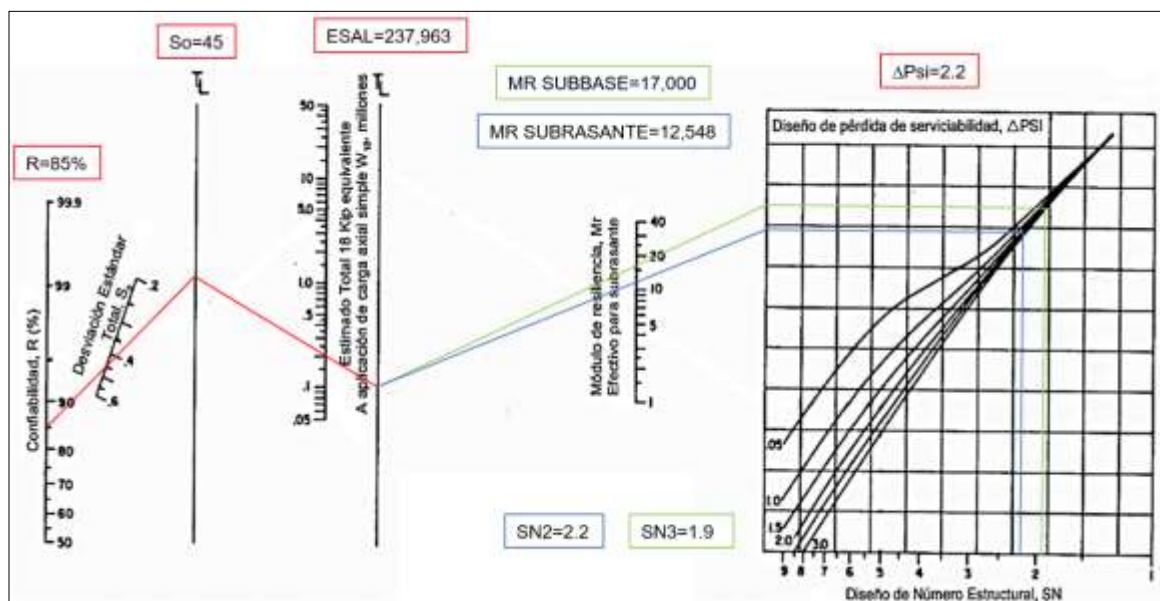
a_i : Coeficiente estructural de capa i , independiente de su módulo.

m_i : Coeficiente de drenaje por cada capa respectivamente.

6.3.7 Cálculo de espesores de la estructura de pavimento.

Se utilizará el ábaco de diseño para pavimentos flexibles propuesto por la AASHTO para determinar los números estructurales (SN), (**Ver figura 40**), obteniendo valores de SN2=2.2 y SN3=1.9. En este proceso, se deben considerar diversas variables, tales como la confiabilidad, la desviación estándar, los ESAL'S de diseño, el módulo resiliente de la capa inferior que se está evaluando y la pérdida de serviciabilidad (ΔPSI).

Figura 40. Abaco de diseño para pavimento AASHTO 1993.



Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimentos, pagina 145.

Tabla 66. Resumen de valores usados para el cálculo de los números estructurales.

Descripción	Valor
ESALS de diseño.	237,963
Confiabilidad (R) %.	85
Serviciabilidad inicial (Po).	4.2
Serviciabilidad final (Pt).	2
Perdida de serviciabilidad	2.2
MR Sub-rasante.	12,548
MR Sub-base.	17,000
MR Base.	610,000
a1.	0.45
a2.	0.159
a3.	0.12
Desviación estándar	0.45
Drenaje (mi)	1

Fuente: Elaboración propia.

El pavimento que se desea construir adopta un diseño articulado, empleando adoquines de concreto cemento Portland como material de carpeta de rodamiento. En este caso, no es necesario realizar el cálculo del espesor, ya que esta estandarizado en D1=4 pulgadas y un coeficiente $a_1=0.45$, según las especificaciones del Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos (SIECA 2002).

1. Se calcula el SN1 efectivo correspondiente a la capa D1.

$$SN1 = a_1 * D1$$

Ecuación 45

$$SN1^* = 0.45 * 4 = 1.80$$

2. Cálculo para el espesor de la base (D2).

$$D2 = \frac{SN2 - SN1^*}{(a2 * m2)} \quad \text{Ecuación 46}$$

$$D2 = \frac{2.2 - 1.80}{(0.159 * 1)} = 2.52 \text{ pulgadas}$$

Se propone usar el mínimo requerido para base según la AASHTO, con D2= 4" o 10 cm a como se refleja en la tabla siguiente.

Tabla 67. Espesores mínimos sugeridos.

Numero de ESAL'S	Capas Asfálticas	Base Granular
Menos de 50,000	3.0 Cm	10 Cm
50,000-150,000	5.0 Cm	10 Cm
150,000-500,000	6.5 Cm	10 Cm
500,000-2,000,000	7.5 Cm	15 Cm
2,000,000-7,000,000	9.0 Cm	15 Cm
Mas de 7,000,000	10.0 Cm	15 Cm

Fuente: Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, pagina 137.

3. Se calcula SN2* efectivo usando D2 = 4 pulgadas.

$$SN2^* = (a2 * D2 * m2) \quad \text{Ecuación 47}$$

$$SN2^* = (0.159 * 4 * 1) = 0.636$$

4. Cálculo del espesor para subbase (D3).

$$D3 = \frac{SN3 - (SN1^* + SN2^*)}{(a3 * m3)} \quad \text{Ecuación 48}$$

$$D3 = \frac{1.9 - (1.80 + 0.636)}{(0.12 * 1)} = -4.47$$

Esto indica que no requiere de una subbase y se procede a calcular el espesor de la base nuevamente, pero con el SN3.

$$D2 = \frac{1.9 - 1.8}{0.159 * 1} = 0.63 \text{ "No cumple".}$$

Sigue siendo menor que es espesor mínimo establecido por la AASHTO 93, por lo tanto, $D2 = 4$ Pulgadas.

Como verificación tenemos que la sumatoria de los SN efectivos debe ser mayor o igual que el SN requerido.

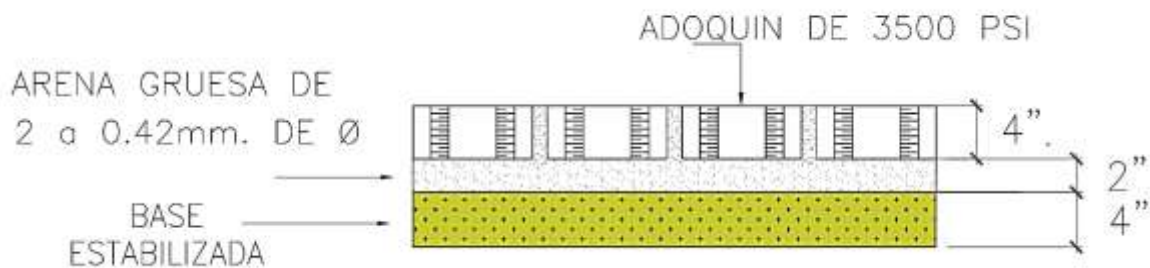
$$SN1^* + SN2^* + SN3^* \geq SN$$

$$1.80 + 0.636 \geq 1.9$$

$$2.436 \geq 1.9 \text{ "CUMPLE".}$$

Se empleará una carpeta de rodamiento compuesta por adoquines, con un espesor de 4 pulgadas. Además, se utilizará una base estabilizada con cemento, con un espesor de 4 pulgadas. Cabe destacar que, para este diseño específico, no se requiere una capa de subbase. A continuación, se presenta la siguiente figura donde se reflejan los espesores adoptados en el diseño.

Figura 41. Diseño estructural (espesores).



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Estudio topográfico: Se efectuó el levantamiento topográfico planialtimétrico detallado lo largo del tramo de estudio, del cual se obtuvo coordenadas norte, este y sus elevaciones de cada punto, características del terreno, relieve y curvas de nivel y perfil longitudinal.
- Estudio de suelo: Se realizó un estudio de suelo a lo largo de la línea central mediante sondeos manuales hasta una profundidad de 1.50 metros, obteniendo 14 muestras representativas. Los ensayos revelaron la presencia de diversos tipos de suelos, incluyendo A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-5, y A-6, y se determinó un CBR de diseño de 17.2% con un percentil de 75 para la subrasante.

Según las normas NIC-2019, los bancos de materiales propuestos cumplen con los requisitos para ser usados como base o subbase. El banco de material propiedad de Rufo Arévalo en Masatepe fue estabilizado con cemento para su uso como capa base de pavimento articulado. Los resultados mostraron una resistencia a la compresión de 30.31 kg/cm² con una proporción del 5% de cemento, y se recomienda el uso de 2.05 bolsas de cemento por metro cúbico de material, cumpliendo así con los requisitos para ser utilizado como base según la NIC-2019.

- Estudio de tránsito: Se llevó a cabo el estudio de tránsito mediante un aforo vehicular, este nos permitió conocer el tránsito promedio diario que circula siendo este de 979 vehículos diarios, con este dato y los factores se ajustó obtuvimos un tránsito promedio diario anual (TPDA) de 1428 vehículos. Se realizó la proyección del tránsito promedio diario anual considerando variables como crecimiento poblacional, producto interno bruto, historial de tránsito en la zona según MTI y consumo de combustible a nivel nacional, dando como resultado una tasa de crecimiento del 2.65%. En base al TPDA el tramo de carretera se clasifica como una colectora menor rural y un periodo de diseño de 15 años dando como resultado una proyección de 2114 veh/día para el año 2038 y un TPDA de 4,715, con los TPDA

proyectado y el factor ESALS para cada vehículo se obtuvo un ESALS de diseño de 237,963.

- Diseño Geométrico: Se diseño geométricamente la vía en estudio garantizando la seguridad y las condiciones ideales para los habitantes según las normas SIECA 2011. En base a resultados del estudio de tránsito, se seleccionó un vehículo de diseño C-2, una velocidad de diseño de 50 km/h de acuerdo al TPDA y topografía, un ancho de carril de 3 metros, las curvas se diseñaron en base a la distancia de visibilidad de parada siendo esta de 65 metros un peralte máximo del 8%, factor de fricción de 0.19, radio mínimo de 73 metros, pendiente máxima de 9% y un bombeo de 2%. Se elaboraron los planos planta perfil y secciones típicas de la vía todo esto se realizó usando el software Civil 3D.
- Diseño de Pavimento: Se diseñaron los espesores de capas del paquete estructural utilizando el método AASHTO 93 con los datos obtenidos del estudio de suelo y el ESALS de diseño, se aplicaron los nomogramas para base estabilizada, para calcular el módulo resiliente y los coeficientes estructurales para cada capa, para este caso el espesor de la carpeta de rodamiento es de 4 pulgadas de adoquín, un espesor de 2 pulgadas como cama de arena, y un espesor 4 pulgadas de base estabilizada, según los cálculos realizados para este caso el paquete estructural no requiere de una capa subbase. La suma de los coeficientes estructurales absorbidos $S_n = 2.44$ supera al S_n requerido de 1.9 por tanto el diseño cumple satisfactoriamente.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere que la entidad encargada, ingenieros u obreros garanticen el correcto curado del suelo-cemento a través de la aplicación de riegos de agua u otros métodos aprobados. Este procedimiento resulta crucial para maximizar las propiedades y la durabilidad del material generado.
- Para el proceso constructivo llevado a cabo por la empresa o la alcaldía del municipio, se recomienda la utilización de adoquín tipo tráfico que cumpla con los estándares de resistencia establecidos en la NIC-2019, específicamente una resistencia de 3500 PSI. Además, se sugiere que, en áreas con presencia de arcilla, sea reemplazado con materiales óptimos del sitio o de los bancos propuestos. El material debe compactarse al 100% del proctor estándar para garantizar su buena funcionalidad.
- Integrar un análisis hidráulico realizado por estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería como complemento al diseño geométrico propuesto, con el fin de garantizar un drenaje eficaz y la estabilidad a largo plazo del pavimento.
- Para fines de diseño, es recomendable ajustar la rasante al nivel del terreno existente para evitar grandes movimientos de tierra. Además, se sugiere realizar un análisis detallado de los tipos de suelos presentes a lo largo del terreno una vez que se haya definido el alineamiento vertical. Es crucial que toda estructura de pavimento descansa sobre suelos que cumplan adecuadamente su función como subrasante; de lo contrario, será necesario reemplazar estos suelos por otros disponibles en el terreno o provenientes de un banco de materiales.

BIBLIOGRAFÍAS

A Policy On Geometric Design of Highways and Streets (6th Edition). (2011)

American Association of State Highway and Transportation (AASHTO-93).

(2004). Guide for desing of pavement structures 1993 (AASTHO 93).

Banco Central de Nicaragua (BCN). (2022). Anuario de Estadísticas

Macroeconómicas. Managua, Nicaragua.

Cárdenas Grisales, J. (2013) Diseño geométrico de carreteras.

(NIC-2019). Especificaciones Generales Para La Construcción de Caminos,
Calles y Puentes

Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE). (2021). Anuario

Estadistico-Masaya en cifras. Managua.

Manual Centroamericano Para Diseño De Pavimentos. (2002).

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2008). Manual para la revisión
de estudios geotécnico.

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2008). Manual para la Revisión
de Estudios Topográficos.

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2020). Anuario de Aforos de
Tráfico. Managua, Nicaragua.

SIECA 3ra edición. (2011). Manual Centroamericano De Normas para el Diseño
Geométrico de Carreteras.

SIECA. (2004). Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico
de las Carreteras Regionales. SIECA.

Tabla 68. Resultados del levantamiento topográfico.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
1	588971.49	1319910.7	523.9	PI
3	588981.84	1319910.9	523.933	AD
4	588980.82	1319911.2	523.942	AD
5	588980.06	1319911.7	523.964	AD
6	588979.46	1319912.5	523.988	AD
7	588979.09	1319913.2	523.988	AD
8	588978.97	1319913.8	523.991	AD
9	588980.9	1319936.5	524.795	AD
10	588974.21	1319937.1	524.787	AD
11	588982.29	1319934.9	525.48	MP
12	588972.81	1319935.2	524.933	C
13	588981.17	1319912.7	524.276	MP
14	588969.36	1319911.9	524.233	MP
15	588969.04	1319911.2	524.027	AD
16	588970.17	1319911.1	523.982	AD
17	588971.98	1319911.8	523.919	AD
18	588969.41	1319906.1	523.703	AD
19	588970.13	1319905.7	523.67	AD
20	588971.01	1319904.6	523.563	AD
21	588971.26	1319903.4	523.518	AD
22	588979.95	1319904.1	523.771	AD
23	588978.99	1319903.7	523.713	AD
24	588978.35	1319903	523.673	AD
25	588977.78	1319901.9	523.607	AD
26	588968.23	1319879.8	522.785	AD
27	588974.81	1319878.9	522.794	AD
28	588979.57	1319903.2	524.008	CASA
29	588990.11	1319901.8	524.268	CASA
30	589009.55	1319909.8	525.199	MP

Fuente: Elaboración propia.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
31	588993.02	1319901.4	524.346	CASA
32	588993.22	1319903.1	524.153	CASA
33	588999.11	1319902.4	524.162	CASA
34	589004.36	1319901.7	524.225	CASA
35	589011.03	1319900.7	524.247	CASA
36	588981.07	1319904.6	523.811	AD
37	588981.34	1319907.1	523.877	AD
38	589010.39	1319907.1	524.42	H
39	589009.71	1319901.1	524.193	H
40	589010.12	1319909	525.142	AR
41	589029.29	1319898.9	524.45	AR
42	589011.94	1319909.5	525.267	MP
43	589011.91	1319909.2	525.019	MP
44	589030.7	1319906.8	524.993	MP
45	589030.38	1319904.2	524.344	H
46	589030.02	1319899.3	524.261	H
47	589029.96	1319901.9	524.246	LC
48	589045.17	1319898.3	523.849	H
49	589045.63	1319902.5	524.022	H
50	589046.03	1319900.2	523.855	LC
51	589010.96	1319904.4	524.278	LC
52	589071.57	1319900.9	523.213	PI
54	589054.36	1319895.6	523.839	C
55	589046.29	1319896.3	524.221	C
57	589066.41	1319903.2	524.267	MR
58	589079.91	1319895.5	522.828	H
59	589080.23	1319900.5	522.897	H
60	589080.32	1319897.8	522.711	LC

Fuente: Elaboración propia.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
61	589080.09	1319894.7	523.022	C
62	589080.69	1319902.4	523.598	C
63	589111.77	1319892.9	522.514	C
64	589111.69	1319894.3	522.162	H
65	589111.57	1319899	522.128	H
66	589111.95	1319896.6	522.049	LC
67	589128.9	1319893.7	521.847	H
68	589129.04	1319896.5	521.779	LC
69	589129.17	1319898.8	521.856	H
71	589143.35	1319891.8	521.94	C
72	589143.43	1319892.9	521.429	H
73	589143.89	1319897.8	521.561	H
74	589143.97	1319895.4	521.498	LC
75	589151.99	1319897.6	521.595	PI
76	589138.36	1319900	521.96	C
77	589110.49	1319900.8	522.491	C
78	589144.86	1319900	522.054	C
79	589148.77	1319898.5	521.909	PE
80	589152.44	1319891.2	521.443	C
81	589147.35	1319890	521.456	C
82	589152.52	1319884.3	520.973	C
83	589148.3	1319887.7	521.229	C
84	589148.06	1319865	520.206	C
85	589152.29	1319865.1	520.319	C
86	589154.6	1319898.7	522.005	C
87	589156.72	1319891.1	521.678	C
88	589156.79	1319892.1	521.408	H
89	589157.39	1319896.5	521.482	H
90	589157.4	1319894.3	521.354	LC

Fuente: Elaboración propia.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
91	589181.98	1319890.8	520.751	LC
92	589181.87	1319888.1	520.824	H
93	589183.06	1319892.7	520.851	H
94	589182.69	1319887.2	521.243	C
95	589184.92	1319894.4	521.359	C
96	589200.13	1319883.3	520.277	H
97	589201.38	1319888.3	520.404	H
98	589200.6	1319885.8	520.17	LC
99	589189.16	1319892.5	521.183	C
100	589211.54	1319880.3	519.657	H
101	589212.75	1319884.6	519.784	H
103	589212.17	1319882.5	519.582	LC
104	589213.07	1319886.2	520.286	PE
105	589226.28	1319875.9	518.927	H
106	589227.68	1319880.7	519.025	H
107	589227.32	1319878.6	518.856	LC
108	589242.78	1319871	518.315	H
109	589244.31	1319876.1	518.349	H
110	589243.71	1319873.8	518.248	LC
111	589262.52	1319866.7	517.459	H
112	589263.74	1319871.9	517.54	H
113	589263.31	1319869.7	517.353	LC
114	589292.74	1319864.1	516.457	H
115	589291.68	1319859.6	516.36	H
116	589292.36	1319862.1	516.317	LC
117	589292.13	1319864.4	516.475	PI
118	589289.73	1319858.3	516.755	C
119	589294.06	1319857.3	516.9	C
120	589293.3	1319867	518.121	C

Fuente: Elaboración propia.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
121	589281.11	1319870.4	517.798	C
122	589237.3	1319871.1	519.517	C
123	589277.87	1319870.8	517.589	PE
124	589265.12	1319864.4	517.875	C
125	589261.21	1319874.6	518.705	C
126	589261.04	1319873.1	517.862	H
127	589259.2	1319867.5	517.525	H
128	589260.48	1319870.4	517.495	LC
129	589302.78	1319855.1	517.138	C
130	589311.64	1319853	516.448	CASA
131	589318.94	1319851.4	515.477	CASA
132	589319.37	1319852.7	515.313	H
133	589320.27	1319857.3	515.492	H
134	589319.74	1319854.8	515.314	LC
135	589324.5	1319859.7	516.318	C
136	589341.77	1319855.4	515.986	PE
137	589338.86	1319846.6	515.127	C
138	589340.79	1319852.8	514.523	H
139	589339.54	1319847.8	514.54	H
140	589340.62	1319850.7	514.473	LC
141	589380.74	1319841.9	513.105	LC
142	589381.25	1319844.4	513.232	H
143	589380.99	1319839	513.016	H
144	589380.93	1319837.7	513.148	C
145	589321.05	1319850.7	516.884	C
146	589407.55	1319833.4	512.808	PE
147	589407.83	1319834.2	512.346	H
148	589408.97	1319839.1	512.494	H
149	589408.36	1319836.8	512.348	LC
150	589407.16	1319832.8	513.383	C

Fuente: Elaboración propia.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
151	589446.66	1319828.9	511.378	PI
152	589345.68	1319854.9	516.014	C
153	589362.33	1319851.5	514.859	C
154	589361.5	1319847.8	513.676	H
155	589360.53	1319845.6	513.605	LC
156	589360.1	1319842.8	513.853	H
157	589360.09	1319841.9	514.364	C
158	589397.34	1319844	513.601	C
159	589440.91	1319827.1	511.683	C
160	589441.17	1319829.5	511.423	H
161	589441.15	1319831.9	511.419	LC
162	589441.73	1319834.6	511.507	H
163	589441.93	1319837	513.588	C
164	589455.39	1319826.6	512.304	C
165	589454.32	1319836.6	513.312	C
166	589455.17	1319834	510.924	H
167	589455.31	1319828.7	510.916	H
168	589455.86	1319831.2	510.763	LC
169	589454.56	1319826.5	511.873	CASA
170	589440.91	1319827.1	511.678	CASA
171	589473.74	1319827.8	510.827	PE
172	589499.61	1319829.5	509.475	H
173	589500.03	1319834.6	509.545	H
174	589499.95	1319831.9	509.457	LC
175	589500.48	1319836.5	510.718	C
176	589526.7	1319830.1	508.952	H
177	589526.27	1319835.1	508.962	H
178	589526.68	1319832.5	508.888	LC
179	589529.02	1319837.3	509.549	C
180	589539.73	1319829.3	509.33	PE

Fuente: Elaboración propia.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
181	589565.99	1319835.5	508.084	PI
182	589542.79	1319828.8	509.402	MP
183	589519.44	1319827.5	509.768	C
184	589547.92	1319838.3	508.589	C
185	589542.27	1319836.2	508.582	H
186	589542.37	1319831.2	508.588	H
187	589541.97	1319833.6	508.541	LC
188	589564.94	1319832	508.735	MP
189	589565.18	1319832.8	508.532	MP
190	589575.52	1319844.2	507.972	C
191	589575.65	1319843.1	507.914	H
192	589576.48	1319838.8	507.899	H
193	589575.89	1319840.6	507.887	LC
194	589578.18	1319837.5	508.035	MP
195	589579.15	1319845.1	507.921	MP
196	589602.71	1319852.5	507.306	H
197	589604.31	1319848	507.259	H
198	589603.45	1319850	507.211	LC
199	589604.85	1319846.8	507.47	MP
200	589601.85	1319853.4	507.569	MP
201	589640.33	1319863	506.286	PI
202	589632.29	1319854	507.527	MP
203	589623.08	1319861.4	506.957	C
204	589626.38	1319862.1	506.857	MP
205	589623.55	1319860	506.692	H
206	589625.17	1319854.3	506.767	H
207	589624.25	1319857	506.724	LC
208	589640.3	1319864.5	506.543	MP
209	589640.97	1319856.6	507.541	C
210	589641.07	1319857.7	506.461	H

Fuente: Elaboración propia.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
211	589641	1319862.5	506.204	H
212	589640.95	1319859.9	506.29	LC
213	589656.91	1319865.4	506.141	MP
214	589657.99	1319858.9	505.841	H
215	589657.24	1319863.6	505.791	H
216	589657.87	1319861	505.636	LC
217	589668.65	1319865	505.817	MP
218	589668.62	1319863.7	505.621	C
219	589668.62	1319862.8	505.121	H
220	589668.49	1319860.7	505.068	LC
221	589668.34	1319858.6	505.141	I
222	589680.42	1319862.8	504.354	AD
223	589679.95	1319860.6	504.394	AD
224	589680.08	1319857.8	504.361	AD
225	589695.14	1319862.4	503.51	AD
226	589695.09	1319857.8	503.483	AD
227	589695.14	1319860.2	503.502	AD
228	589679.56	1319857.5	504.809	PE
229	589711.84	1319858.7	502.333	AD
230	589711.57	1319861.5	502.174	AD
231	589729.72	1319861.2	500.396	PI
232	589675.7	1319864.7	507.002	C
233	589711.37	1319863.6	502.181	AD
234	589694.99	1319863.7	504.031	C
235	589711.23	1319864.6	502.837	C
236	589711.9	1319857.8	502.486	C
237	589699.53	1319857.3	503.873	C
238	589734.82	1319860.5	500.079	AD
239	589734.46	1319865.4	500.065	AD
240	589734.62	1319862.9	500.079	LC

Fuente: Elaboración propia.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
241	589734.17	1319867.1	500.321	C
242	589735.14	1319859.4	500.955	C
243	589745.44	1319860.9	499.772	PE
244	589757.14	1319868.4	499.466	PE
245	589757.12	1319867.3	498.93	H
246	589756.86	1319861.3	499.009	H
247	589756.9	1319864	498.865	LC
248	589757.13	1319869.7	500.008	C
253	589787.05	1319870	498.783	C
254	589823.04	1319867.4	496.613	PI
255	589763.85	1319867.3	498.69	PI
256	589757.31	1319860.7	499.076	H
257	589759.14	1319859	499	H
258	589760.83	1319857.2	499.102	H
259	589762.09	1319854.1	499.263	H
260	589762.65	1319850.8	499.531	H
261	589762.43	1319847.3	499.958	H
262	589761.35	1319838.8	501.058	H
263	589766.92	1319839.2	500.982	H
265	589767.07	1319854.9	499.374	H
266	589767.04	1319852.3	499.414	H
267	589768.02	1319857.6	499.158	H
268	589768.98	1319859.6	498.981	C
269	589772.03	1319860.8	498.395	C
270	589771.89	1319861.7	498.63	H
272	589771.55	1319866.4	498.38	H
273	589771.62	1319864.2	498.472	LC
274	589771.14	1319869.6	499.216	C
275	589798.57	1319863.5	497.849	AD

Fuente: Elaboración propia.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
276	589798.52	1319866.5	497.821	AD
277	589798.27	1319869.5	497.889	AD
278	589818.59	1319866.1	496.864	AD
279	589817.68	1319872	496.875	AD
280	589818.15	1319868.8	496.983	LC
281	589817.47	1319873	497.476	C
282	589818.49	1319864.8	497.195	C
283	589826.8	1319873.6	496.211	AD
284	589828.34	1319867.9	496.189	AD
285	589827.57	1319870.8	496.33	LC
286	589826.48	1319874.6	496.638	C
287	589828.31	1319866.7	497.676	C
288	589841.25	1319870.9	497.629	C
289	589839.7	1319879.1	495.644	C
290	589839.6	1319877.8	495.243	AD
291	589841.98	1319872.3	495.203	AD
292	589840.94	1319875.2	495.267	LC
293	589848.48	1319878.4	494.615	LC
294	589850.15	1319875.7	494.536	AD
295	589847.34	1319881	494.551	AD
296	589847.63	1319882.5	495.245	C
297	589850.79	1319874.6	494.774	C
298	589863.83	1319889.6	493.247	AD
299	589864.87	1319889.5	493.143	AD
300	589867.47	1319884.8	493.229	AD
301	589867.82	1319885.3	493.161	AD
302	589865.98	1319887.5	493.171	LC
303	589868.02	1319884.5	493.458	C
304	589865.03	1319892.3	493.151	C
305	589890.28	1319899.1	490.333	AD

Fuente: Elaboración propia.

No de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación	Código
306	589887.83	1319903.4	490.354	AD
307	589888.91	1319901.2	490.351	LC
308	589891.04	1319898	490.838	C
309	589887.77	1319905.1	490.84	C
310	589919.58	1319913.6	486.661	AD
311	589918.59	1319916	487.884	LC
312	589917.51	1319918.3	487.852	AD
314	589917.68	1319920.4	489.3	C
316	589932.49	1319926.1	487.571	C
317	589932.87	1319925	487.291	H
318	589933.78	1319922.6	487.14	LC
319	589935.24	1319920.8	487.023	H
320	589940.37	1319929	487.618	C
321	589940.55	1319928.4	487.096	H
322	589941.31	1319925.7	486.942	LC
323	589935.71	1319920.2	487.041	C
324	589942.71	1319923.5	486.622	H
325	589943.28	1319922.8	487.323	C
326	589958.25	1319932.5	485.326	C
327	589958.52	1319931.7	485.248	H
328	589959.32	1319929.6	485.648	LC
329	589959.8	1319927.8	485.694	H
330	589959.72	1319926.5	485.652	C

Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Realización de sondeos manuales (Bo. San Antonio- CMCA. La Cruz De Mayo).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Recolección de muestra (Banco de material, Rancho Don Dennis, La Concepción-Masaya).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Recolección de muestra (Banco de material, Rufo Arévalo, El Pochote-Masatepe).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Ensaye de granulometría.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Ensaye de granulometría (Saturación, Lavado).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47. Ensaye de estados de consistencia (Limite líquido, Limite plástico).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 48. Ensaye Proctor estándar y modificado (secado y tamizado).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Ensaye Proctor estándar y modificado (compactación).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 50. Ensaye de CBR (Elaboración de especímenes, Tamizado y Compactación).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51. Ensaye de CBR (Inmersión, Toma de lectura de expansión).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 52. Ensayo de CBR (Penetración, Extracción de núcleo).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69. Formato de clasificación de suelos y mezclas de agregados de suelos para propósitos de construcción de carreteras (AASHTO M-145/ ASTM D-3282).

Clasificacion general	Materiales granulares (35 o menos pasan la malla No.200)							Materiales Limo-Arcilla (Más del 35% pasa el Tamiz N°200)			
Clasificacion por grupos y sub-grupos	A-1		A-3	A-2				A- 4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analisis de mallas, %que pasan por la:											
No 10	50 max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No 40	30 max	50 max	51 min	-	-	-	-	-	-	-	-
No 200	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Caracteristicas de la fraccion que pasan la malla No 40											
Limite liquido (%)	-		-	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Indice de plasticidad (%)	6 max		N.P	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Tipos de materiales	Frag. de piedra,grava y arena		Arena fina	Grava y Arena limosa y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calidad general como subrasante	Excelente a buena							Regular a pobre			

Fuente: Libro de diseño de pavimento AASHTO 1993, pagina 95.

Tabla 70. Resumen granulométrico (Muestras de línea y Bancos de materiales).

Sondeo No	Muestra	Profundidad (m)	% Que pasa por el tamiz									L.L %	L.P %	I.P %	Clasificación		CBR 95	Descripcion
			1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 200				AASTHO	ASTM D-2487		
1	1	0.00-0.26	100	100	100	97	97	91	78	58	33	-	-	N.P	A-2-4 (0)	GM	25	Grava limosa con arena
	2	0.26-0.77	100	100	100	98	96	91	82	63	41	44	21	23	A-7-6 (4)	CL	12	Arcilla de media plasticidad arenosa
	3	0.77-1.22	100	100	100	100	100	97	89	74	57	37	28	9	A-4 (3)	ML	18	Limo de baja plasticidad arenoso
	4	1.22-1.50	100	100	100	99	96	79	54	38	22	-	-	N.P	A-1-b (0)	SM	26	Arena limosa
Sondeo No	Muestra	Profundidad (m)	% Que pasa por el tamiz									L.L %	L.P %	I.P %	Clasificación		CBR	Descripcion
			1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 200				AASTHO	ASTM D-2487	95	
2	1	0.00-0.81	100	100	93	90	88	80	73	57	34	-	-	N.P	A-2-4 (0)	GM	25	Grava limosa con arena
	2	0.81-1.50	100	100	100	100	100	94	87	70	45	51	43	8	A-5 (1)	ML	17	Limo de baja plasticidad arenoso
Sondeo No	Muestra	Profundidad (m)	% Que pasa por el tamiz									L.L %	L.P %	I.P %	Clasificación		CBR	Descripcion
			1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 200				AASTHO	ASTM D-2487	95	
3	1	0.00-0.39	100	100	92	87	85	77	67	47	24	-	-	N.P	A-1-b (0)	SM	19	Arena limosa
	2	0.39-1.50	100	100	100	100	98	90	83	72	51	35	29	6	A-4 (1)	ML	9	Limo de baja plasticidad arenoso
Sondeo No	Muestra	Profundidad (m)	% Que pasa por el tamiz									L.L %	L.P %	I.P %	Clasificación		CBR	Descripcion
			1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 200				AASTHO	ASTM D-2487	95	
4	1	0.00-0.56	100	100	91	88	83	73	48	19	10	-	-	N.P	A-1-a (0)	SP-SM	26	Arena limosa mal graduada
	2	0.56-1.50	100	100	96	94	92	83	71	42	20	-	-	N.P	A-1-b (0)	SM	19	Arena limosa
Banco (Don Dennis)	Muestra		% Que pasa por el tamiz									L.L %	L.P %	I.P %	Clasificación		CBR	Descripcion
			1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 200				AASTHO	ASTM D-2487	95	
1	1		100	92	88	85	82	71	50	21	7	35	29	6	A-1-a (0)	SW-SM	40	Arena limosa bien graduada
Banco (Rufo Arevalo)	Muestra		% Que pasa por el tamiz									L.L %	L.P %	I.P %	Clasificación		CBR	Descripcion
			1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4	No 10	No 40	No 200				AASTHO	ASTM D-2487	95	
2	2		100	95	90	82	72	52	39	18	6	33	28	5	A-1-a(0)	GW-GM	50	Grava limosa bien graduada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71. Análisis granulométrico, Sondeo 1, Suelo A-2-4 (0).

Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz No 10				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	0	0	0	100
1/2"	17	3	3	97
3/8"	5	1	3	97
No 4	39	6	9	91
Pasa No 4	584	91	100	-
Suma	645	100.00	-	-
Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 10 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	18	12	12	78
40	29	20	32	58
200	36	25	57	33
Pasa No 200	48	33	91	
Suma	131	91		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72. Análisis granulométrico, Sondeo 1, Suelo A-7-6 (4).

Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz No 10				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	0	0	0	100
1/2"	9	2	2	98
3/8"	10	2	4	96
No 4	20	5	9	91
Pasa No 4	402	91	100	-
Suma	442	100	-	-
Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 10 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	13	9	9	82
40	26	18	28	63
200	32	23	51	41
Pasa No 200	56	41	91	
Suma	126	91		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73. Resultados del ensaye estados de consistencia, Sondeo 1, Suelo A-7-6 (4).

Ensaye No	Limite Liquido			Limite Plástico		Clasificación
	1 (25-35)	2 (20-30)	3 (15-25)	1	2	
No golpes (N)	31	26	22	H-16	R-129	A-7-6(4)
Tara No	J-05	H-10	D-05	39.1	36.5	
PW+Tara (gr)	31.2	30	36	35.9	34.0	L.L
PS+Tara (gr)	28.6	27.6	31.5	3.2	2.5	44
Peso de agua (gr)	2.6	2.40	4.50	21.4	21.8	L.P
Peso de tara (gr)	21.8	21.9	22	14.5	12.2	21
Peso seco (gr)	6.8	5.7	9.5	22.07	20.49	I.P
% Humedad	38.24	42.11	47.37	21		23

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74. Análisis granulométrico, Sondeo 1, Suelo A-4 (3).

Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz No 10				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	0	0	0	100
1/2"	0	0	0	100
3/8"	0	0	0	100
No 4	11	3	3	97
Pasa No 4	347	97	100	-
Suma	358	100	-	-
Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 10 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	7	8	8	89
40	15	15	23	74
200	16	16	40	57
Pasa No 200	54	57	97	
Suma	91	97		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75. Resultados del ensaye estados de consistencia, Sondeo 1, Suelo A-4 (3).

Ensaye No	Limite Liquido			Limite Plástico		Clasificación
	1 (25-35)	2 (20-30)	3 (15-25)	1	2	
No golpes (N)	31	23	21	H-16	R-129	A-4(3)
Tara No	J-05	H-10	D-05	39.1	36.5	
PW+Tara (gr)	31.9	33.7	35.5	34.6	33.9	L.L
PS+Tara (gr)	29.4	30.4	31.6	4.5	2.6	37
Peso de agua (gr)	2.5	3.30	3.90	21.4	21.8	L.P
Peso de tara (gr)	21.8	21.9	22	13.2	12.1	28
Peso seco (gr)	7.6	8.5	9.6	34.09	21.49	I.P
% Humedad	32.89	38.82	40.63	28		9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76. Análisis granulométrico, Sondeo 1, Suelo A-1-b (0).

Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz No 10				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	0	0	0	100
1/2"	6	1	1	99
3/8"	10	2	4	96
No 4	80	18	21	79
Pasa No 4	354	79	100	-
Suma	450	100	-	-
Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 10 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	32	25	25	54
40	21	16	40	38
200	21	16	57	22
Pasa No 200	29	22	79	
Suma	103	79		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77. Análisis granulométrico, Sondeo 2, Suelo A-2-4 (0).

Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz No 10				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	43	7	7	93
1/2"	19	3	10	90
3/8"	11	2	12	88
No 4	50	8	20	80
Pasa No 4	482	80	100	-
Suma	605	100	-	-
Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 10 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	11	7	7	73
40	26	16	23	57
200	37	23	46	34
Pasa No 200	53	34	80	
Suma	126	80		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78. Análisis granulométrico, Sondeo 2, Suelo A-5 (1).

Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz No 10				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	0	0	0	100
1/2"	0	0	0	100
3/8"	2	0	0	100
No 4	26	5	6	94
Pasa No 4	442	94	100	-
Suma	469	100	-	-
Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 10 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	9	7	7	87
40	22	17	24	70
200	33	25	49	45
Pasa No 200	58	45	94	
Suma	122	94		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79. Resultados del ensaye estados de consistencia, Sondeo 2, Suelo A-5 (1).

Ensaye No	Limite Liquido			Limite Plástico		Clasificación
	1 (25-35)	2 (20-30)	3 (15-25)	1	2	
No golpes (N)	17	29	33	H-11	LS-4	A-5(1)
Tara No	H-10	H-16	J-04	41.2	40.2	
PW+Tara (gr)	38.4	39.7	33.5	35.3	34.8	L.L
PS+Tara (gr)	32.6	33.6	29.6	5.9	5.4	51
Peso de agua (gr)	5.8	6.10	3.90	21.8	22.3	L.P
Peso de tara (gr)	21.8	21.5	21.7	13.5	12.5	43
Peso seco (gr)	10.8	12.1	7.9	43.70	43.20	I.P
% Humedad	53.70	50.41	49.37	43		8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80. Análisis granulométrico, Sondeo 3, Suelo A-1-b (0).

Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz No 10				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	56	8	8	92
1/2"	33	5	13	87
3/8"	12	2	15	85
No 4	57	8	23	77
Pasa No 4	534	77	100	-
Suma	692	100.00	-	-
Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 10 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	17	10	10	67
40	33	20	31	47
200	37	23	53	24
Pasa No 200	39	24	77	
Suma	126	77		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81. Análisis granulométrico, Sondeo 3, Suelo A-4 (1).

Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz No 10				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	0	0	0	100
1/2"	0	0	0	100
3/8"	6	2	2	98
No 4	31	8	10	90
Pasa No 4	344	90	100	-
Suma	381	100	-	-
Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 10 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	9	7	7	83
40	13	11	18	72
200	26	21	39	51
Pasa No 200	62	51	90	
Suma	110	90		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82. Resultados del ensaye estados de consistencia, Sondeo 3, Suelo A-4 (1).

Ensaye No	Limite Liquido			Limite Plástico		Clasificación
	1 (25-35)	2 (20-30)	3 (15-25)	1	2	
No golpes (N)	32	22	20	A-02	H-11	A-4(1)
Tara No	H-15	J-04	LS-4	38.6	36.8	
PW+Tara (gr)	32.9	33.8	38	34.7	33.4	L.L
PS+Tara (gr)	30.2	30.6	33.7	3.9	3.4	35
Peso de agua (gr)	2.7	3.20	4.30	21.3	21.7	L.P
Peso de tara (gr)	22.1	21.6	22.2	13.4	11.7	29
Peso seco (gr)	8.1	9	11.5	29.10	29.06	I.P
% Humedad	33.33	35.56	37.39	29		6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83. Análisis granulométrico, Sondeo 4, Suelo A-1-a (0).

Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz No 10				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	58	9	9	91
1/2"	25	4	12	88
3/8"	31	5	17	83
No 4	68	10	27	73
Pasa No 4	500	73	100	-
Suma	682	100.00	-	-
Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 10 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	41	25	25	48
40	48	29	54	19
200	16	10	64	10
Pasa No 200	16	10	73	
Suma	121	73		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84. Análisis granulométrico, Sondeo 4, Suelo A-1-b (0).

Análisis granulométrico del material que retiene el tamiz No 10				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
1 1/2"	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	22	4	4	96
1/2"	15	2	6	94
3/8"	13	2	8	92
No 4	54	9	17	83
Pasa No 4	514	83	100	-
Suma	618	100	-	-
Análisis granulométrico del material que pasa el tamiz No 10 (Lavado)				
Tamiz	Peso Retenido Parcial gr	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasa Por El Tamiz
10	19	12	12	71
40	46	29	41	42
200	34	22	63	20
Pasa No 200	32	20	83	
Suma	131	83		

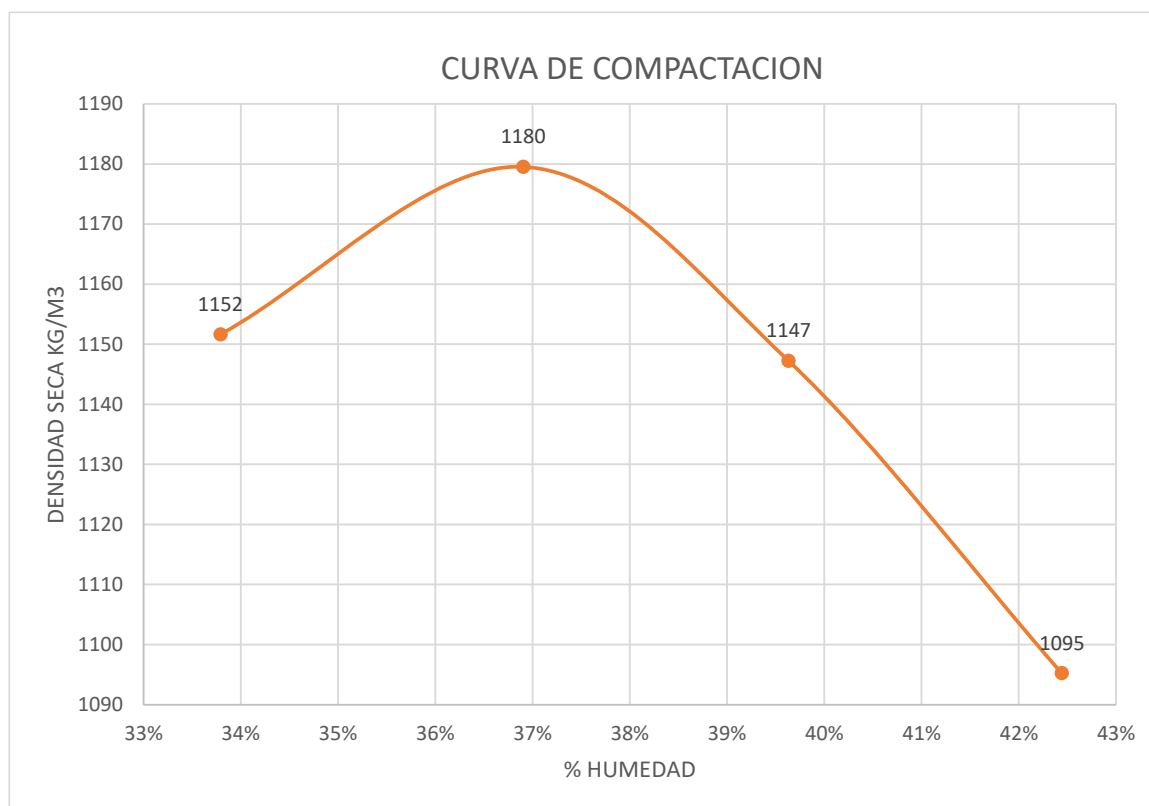
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85. Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-7-6 (4).

PROCTOR ESTANDAR			SUELO	A-7-6(4)
Ensayes	1	2	3	4
Vmolde(m3)	0.000932			
Wmolde(kg)	4.269			
Wmolde+Suelo humedo(kg)	5.705	5.774	5.762	5.723
Suelo humedo(kg)	1.436	1.505	1.493	1.454
Codigo de Tara	PI-03	A-061	0021	A-178
Peso Tara(gr)	48.6	41.5	41.2	31.4
Wh+Tara(gr)	185.2	207.7	155	153.9
Ws+Tara(gr)	150.7	162.9	122.7	117.4
%Humedad	34%	37%	40%	42%
γ_m (kg)	1541	1615	1602	1560
γ_d (kg)	1152	1180	1147	1095

Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Curva de compactación, suelo A-7-6 (4).



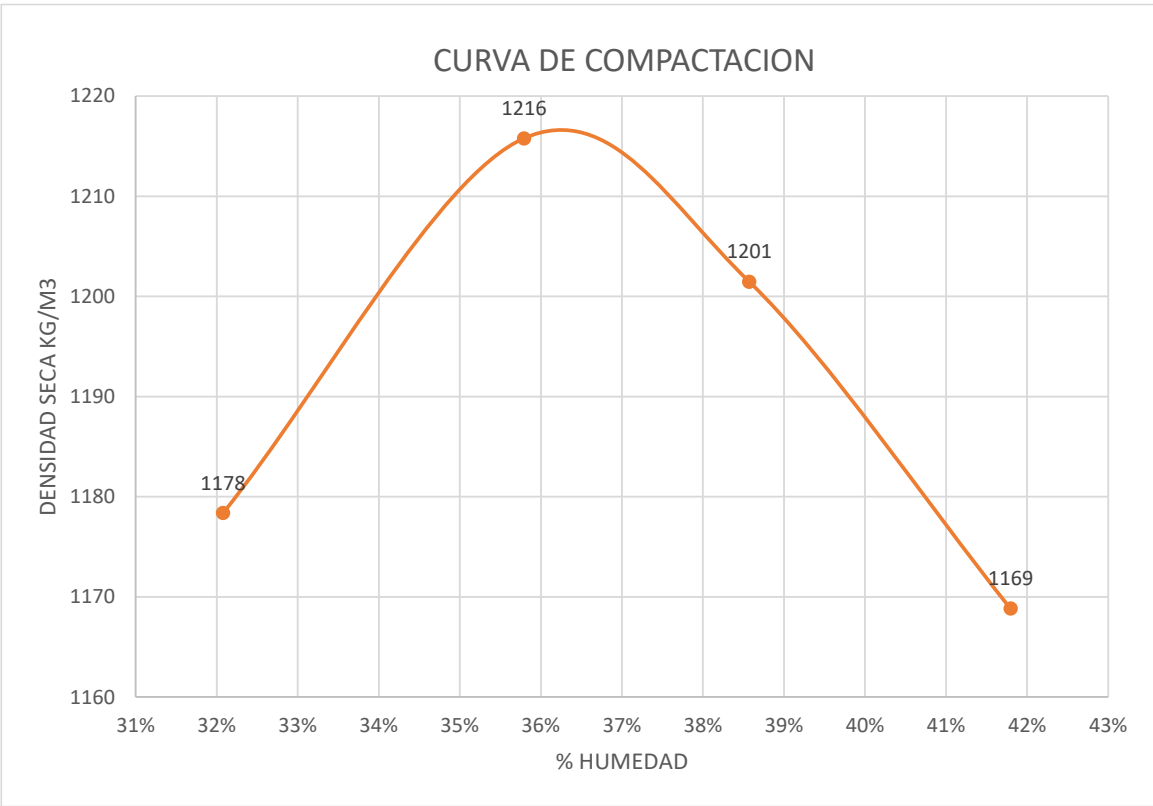
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 86. Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-4 (3).

PROCTOR ESTANDAR			SUELO	A-4(3)
Ensayes	3	4	5	6
Vmolde(m3)	0.000931			
Wmolde(kg)	4.213			
Wmolde+Suelo humedo(kg)	5.662	5.750	5.763	5.756
Suelo humedo(kg)	1.449	1.537	1.550	1.543
Codigo de Tara	0-73	A-15	H-K	4.2.N
Peso Tara(gr)	31.8	41.6	47.3	31.8
Wh+Tara(gr)	126.5	117.1	115.2	104.4
Ws+Tara(gr)	103.5	97.2	96.3	83
%Humedad	32%	36%	39%	42%
γ_m (kg)	1556	1651	1665	1657
γ_d (kg)	1178	1216	1201	1169

Fuente: Elaboración propia.

Figura 54. Curva de compactación, suelo A-4 (3).



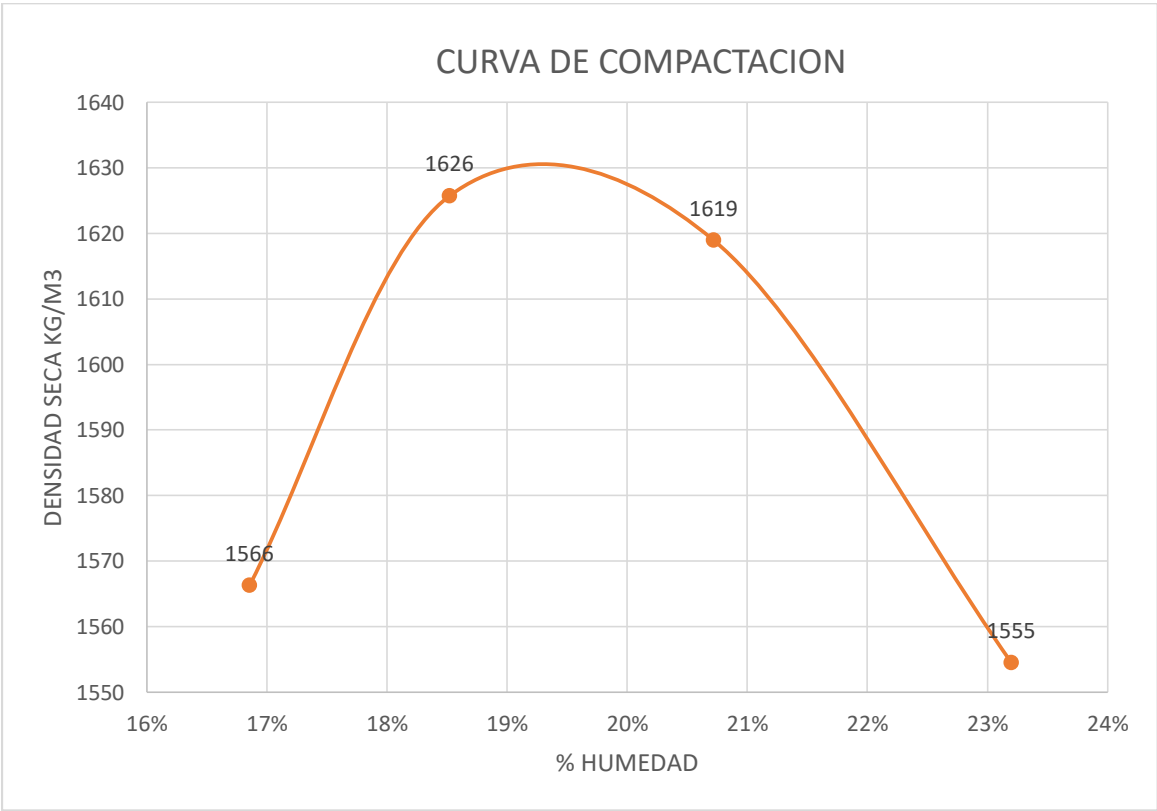
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87. Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-1-b (0).

PROCTOR ESTANDAR			SUELO	A-1-b(0)
Ensayes	1	2	3	4
Vmolde(m3)	0.000943			
Wmolde(kg)	4.272			
Wmolde+Suelo humedo(kg)	5.998	6.089	6.115	6.078
Suelo humedo(kg)	1.726	1.817	1.843	1.806
Codigo de Tara				
Peso Tara(gr)	47.6	42.3	47.7	39.9
Wh+Tara(gr)	253.5	236.2	269.1	195.5
Ws+Tara(gr)	223.8	205.9	231.1	166.2
%Humedad	17%	19%	21%	23%
ym(kg)	1830	1927	1954	1915
yd(kg)	1566	1626	1619	1555

Fuente: Elaboración propia.

Figura 55. Curva de compactación, suelo A-1-b (0).



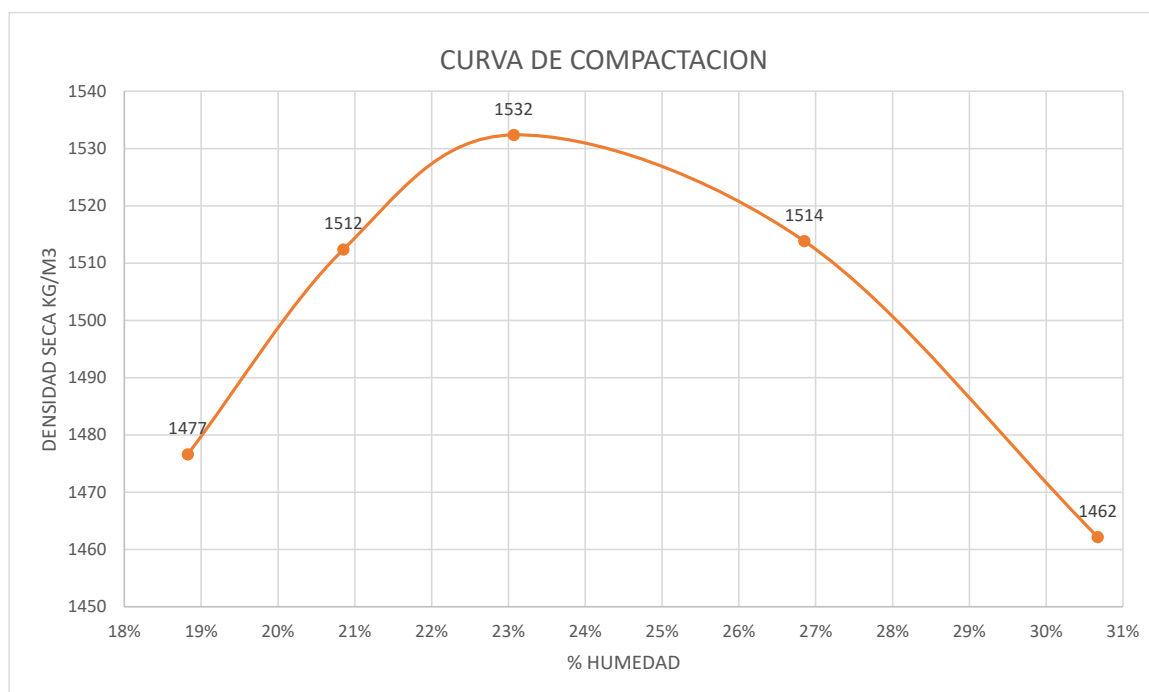
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88. Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-5 (1).

PROCTOR ESTANDAR				SUELO	A-5(1)
Ensayes	1	2	3	4	5
Vmolde(m3)	0.000929				
Wmolde(kg)	4.288				
Wmolde+Suelo humedo(kg)	5.918	5.986	6.040	6.072	6.063
Suelo humedo(kg)	1.630	1.698	1.752	1.784	1.775
Codigo de Tara	A-6	PI-03	A-120	R-M	4.2.N
Peso Tara(gr)	32.4	48.6	47.2	29.1	31.6
Wh+Tara(gr)	210.4	179	158.7	157.6	226.3
Ws+Tara(gr)	182.2	156.5	137.8	130.4	180.6
%Humedad	19%	21%	23%	27%	31%
γ_m (kg)	1755	1828	1886	1920	1911
γ_d (kg)	1477	1512	1532	1514	1462

Fuente: Elaboración propia.

Figura 56. Curva de compactación, suelo A-5 (1).



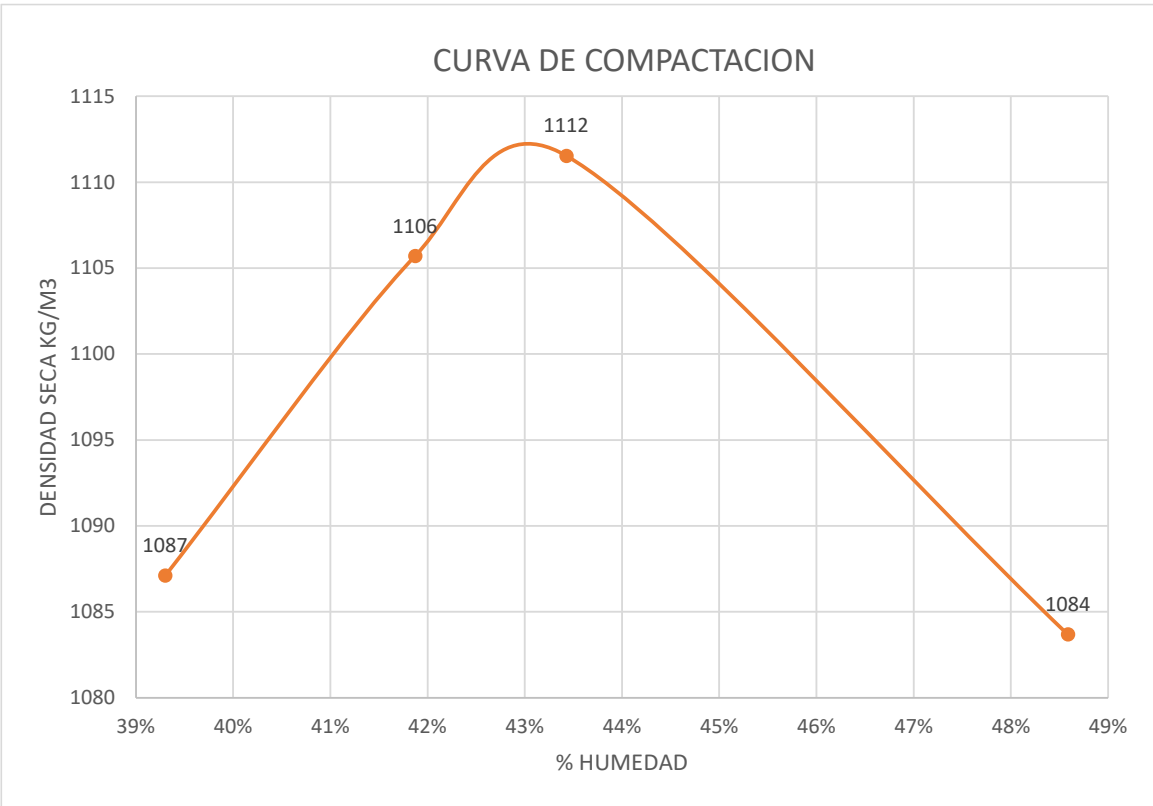
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 89. Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-4 (1).

PROCTOR ESTANDAR			SUELO	A-4 (1)
Ensayes	6	7	8	9
Vmolde(m3)	0.000939			
Wmolde(kg)	4.288			
Wmolde+Suelo humedo(kg)	5.71	5.761	5.785	5.8
Suelo humedo(kg)	1.422	1.473	1.497	1.512
Codigo de Tara	A-11	TC-2	A-120	A-05
Peso Tara(gr)	40.8	32.2	47.2	41.9
Wh+Tara(gr)	164.5	176.2	169.4	236.4
Ws+Tara(gr)	129.6	133.7	132.4	172.8
%Humedad	39%	42%	43%	49%
ym(kg)	1514	1569	1594	1610
yd(kg)	1087	1106	1112	1084

Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Curva de compactación, suelo A-4 (1).



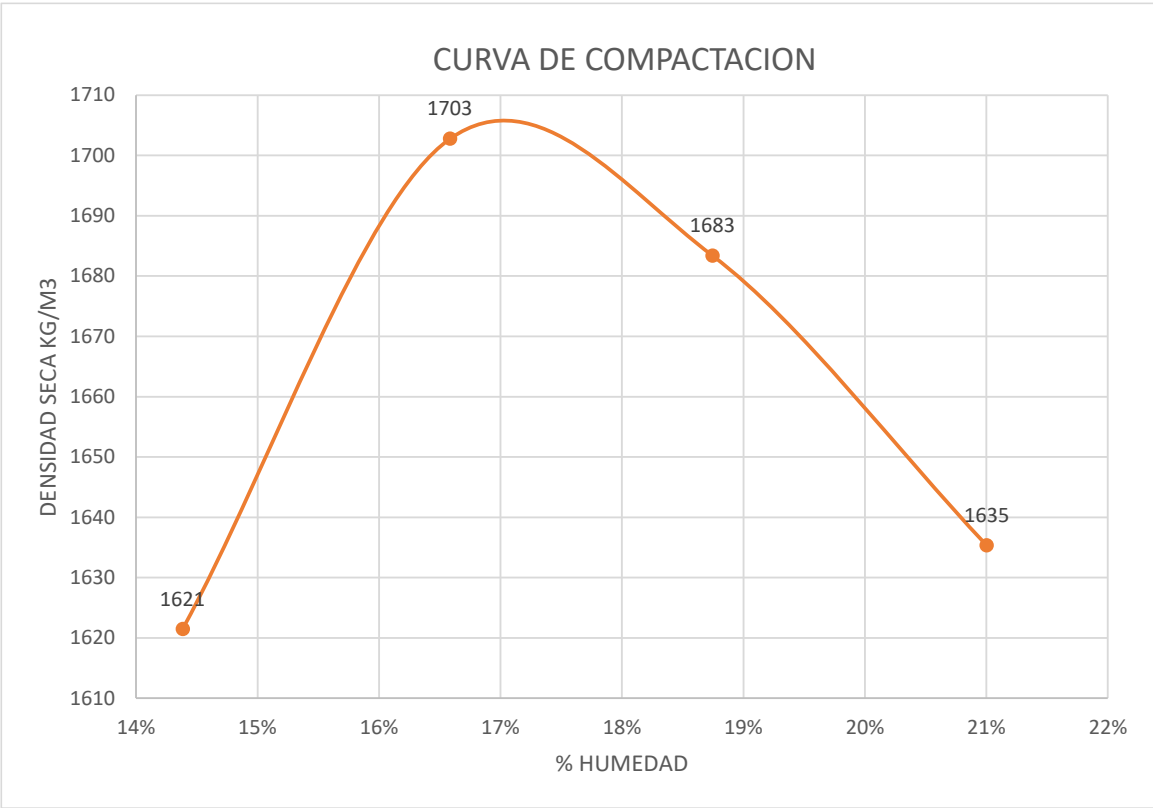
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 90. Datos del ensaye proctor estándar, suelo A-1-a (0).

PROCTOR ESTANDAR			SUELO	A-1-a(0)
Ensayes	1	2	3	4
Vmolde(m3)	0.000943			
Wmolde(kg)	4.268			
Wmolde+Suelo humedo(kg)	6.017	6.14	6.153	6.134
Suelo humedo(kg)	1.749	1.872	1.885	1.866
Codigo de Tara	D-12	A-061	A-13	I-P
Peso Tara(gr)	48.2	42	41.5	31.4
Wh+Tara(gr)	181.8	206.5	202.4	159.3
Ws+Tara(gr)	165	183.1	177	137.1
%Humedad	14%	17%	19%	21%
ym(kg)	1855	1985	1999	1979
yd(kg)	1621	1703	1683	1635

Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Curva de compactación, suelo A-1-a (0).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 91. Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (martes 11/04/23, sentido 1).

Martes 11/04/2023 Oeste-Este Sentido 1 San Antonio-La Cruz de Mayo								
HORA	Motocicletas	Automovil	Camionetas	Microbús <15 pasajeros	Liv 2-5 Ton	C2	Otros	Total
6:00 a.m. a 7:00 P.m.	55	2	3	0	1	2	0	63
7:00 a.m. a 8:00 P.m.	54	0	1	0	1	0	0	56
8:00 a.m. a 9:00 P.m.	40	0	1	0	0	0	0	41
9:00 a.m. a 10:00 P.m.	26	2	2	0	1	0	0	31
10:00 a.m. a 11:00 P.m.	37	1	1	0	0	0	0	39
11:00 a.m. a 12:00 P.m.	43	1	1	0	1	1	0	47
12:00 a.m. a 1:00 P.m.	61	0	0	0	0	1	0	62
1:00 a.m. a 2:00 P.m.	17	0	4	0	2	0	0	23
2:00 a.m. a 3:00 P.m.	24	1	0	0	2	0	0	27
3:00 a.m. a 4:00 P.m.	25	0	3	0	0	0	0	28
4:00 a.m. a 5:00 P.m.	36	0	7	1	3	0	0	47
5:00 a.m. a 6:00 P.m.	61	2	10	0	2	0	0	75
Total	479	9	33	1	13	4	0	539

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 92. Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (martes 11/04/23, sentido 2).

Martes 11/04/2023		Este-Oeste Sentido 2			La Cruz de Mayo-San Antonio			
HORA	Motocicletas	Automovil	Camionetas	Microbús <15 pasajeros	Liv 2-5 Ton	C2	Otros	Total
6:00 a.m. a 7:00 P.m.	58	1	3	0	0	0	0	62
7:00 a.m. a 8:00 P.m.	51	1	3	0	3	0	1	59
8:00 a.m. a 9:00 P.m.	39	0	4	0	0	0	0	43
9:00 a.m. a 10:00 P.m.	27	1	3	0	0	0	0	31
10:00 a.m. a 11:00 P.m.	35	0	0	0	0	0	1	36
11:00 a.m. a 12:00 P.m.	35	0	1	0	3	0	0	39
12:00 a.m. a 1:00 P.m.	54	0	2	0	0	0	0	56
1:00 a.m. a 2:00 P.m.	30	0	2	0	2	0	0	34
2:00 a.m. a 3:00 P.m.	24	1	3	0	1	2	0	31
3:00 a.m. a 4:00 P.m.	32	1	4	0	0	0	0	37
4:00 a.m. a 5:00 P.m.	27	0	3	0	0	0	0	30
5:00 a.m. a 6:00 P.m.	30	0	0	0	0	0	0	30
Total	442	5	28	0	9	2	2	488

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 93. Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (miércoles 12/04/23, sentido 1).

Miercoles 12/04/2023		Oeste-Este Sentido 1			San Antonio-La Cruz de Mayo			
HORA	Motocicletas	Automovil	Camionetas	Microbús <15 pasajeros	Liv 2-5 Ton	C2	Otros	Total
6:00 a.m. a 7:00 P.m	55	1	5	0	0	1	0	62
7:00 a.m. a 8:00 P.m	34	2	0	0	1	0	0	37
8:00 a.m. a 9:00 P.m	30	0	0	0	0	1	0	31
9:00 a.m. a 10:00 P.m	22	1	3	0	1	0	0	27
10:00 a.m. a 11:00 P.m	26	1	2	0	1	0	0	30
11:00 a.m. a 12:00 P.m	37	1	2	0	1	0	0	41
12:00 a.m. a 1:00 P.m	41	1	2	0	4	0	0	48
1:00 a.m. a 2:00 P.m	23	0	1	0	1	0	1	26
2:00 a.m. a 3:00 P.m	26	1	5	0	2	1	0	35
3:00 a.m. a 4:00 P.m	31	0	2	0	2	1	0	36
4:00 a.m. a 5:00 P.m	34	1	1	0	1	0	0	37
5:00 a.m. a 6:00 P.m	60	0	2	0	2	2	1	67
Total	419	9	25	0	16	6	2	477

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 94. Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (miércoles 12/04/23, sentido 2).

Miercoles 12/04/2023		Este-Oeste Sentido 2		La Cruz de Mayo-San Antonio				
HORA	Motocicletas	Automovil	Camionetas	Microbús <15 pasajeros	Liv 2-5 Ton	C2	Otros	Total
6:00 a.m. a 7:00 P.m	54	0	1	0	0	0	0	55
7:00 a.m. a 8:00 P.m	63	3	3	0	0	1	0	70
8:00 a.m. a 9:00 P.m	31	1	1	0	3	0	0	36
9:00 a.m. a 10:00 P.m	24	1	3	0	3	0	1	32
10:00 a.m. a 11:00 P.m	26	0	6	0	1	1	0	34
11:00 a.m. a 12:00 P.m	44	0	0	0	1	0	0	45
12:00 a.m. a 1:00 P.m	36	2	1	0	0	0	0	39
1:00 a.m. a 2:00 P.m	25	0	1	0	1	0	0	27
2:00 a.m. a 3:00 P.m	27	1	3	0	2	0	0	33
3:00 a.m. a 4:00 P.m	39	1	2	0	2	0	1	45
4:00 a.m. a 5:00 P.m	38	0	1	0	2	0	0	41
5:00 a.m. a 6:00 P.m	38	2	0	0	0	1	0	41
Total	445	11	22	0	15	3	2	498

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95. Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (jueves 13/04/23, sentido 1).

Jueves 13/04/2023 Oeste-Este Sentido 1 San Antonio-La Cruz de Mayo									
HORA	Motocicletas	Automovil	Jeep	Camionetas	Microbús <15 pasajeros	Liv 2-5 Ton	C2	Otros	Total
6:00 a.m. a 7:00 P.m	47	1	0	2	0	0	0	0	50
7:00 a.m. a 8:00 P.m	31	0	0	2	0	0	0	0	33
8:00 a.m. a 9:00 P.m	19	0	0	0	0	0	1	0	20
9:00 a.m. a 10:00 P.m.	23	0	0	3	0	0	0	0	26
10:00 a.m. a 11:00 P.m	28	0	0	2	0	2	0	1	33
11:00 a.m. a 12:00 P.m	38	2	0	1	0	2	0	0	43
12:00 a.m. a 1:00 P.m	51	0	0	2	0	1	0	1	55
1:00 a.m. a 2:00 P.m	26	0	0	1	0	0	0	0	27
2:00 a.m. a 3:00 P.m	26	2	0	5	2	3	1	0	39
3:00 a.m. a 4:00 P.m	29	1	0	2	0	3	0	0	35
4:00 a.m. a 5:00 P.m	39	0	0	4	0	0	1	0	44
5:00 a.m. a 6:00 P.m	59	0	0	6	0	3	0	0	68
Total	416	6	0	30	2	14	3	2	473

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 96. Aforo vehicular, Barrio San Antonio-Comarca La Cruz de Mayo, (jueves 13/04/23, sentido 2).

Jueves 13/04/2023 Este-Oeste Sentido 2 La Cruz de Mayo-San Antonio									
HORA	Motocicletas	Automovil	Jeep	Camionetas	Microbús <15 pasajeros	Liv 2-5 Ton	C2	Otros	Total
6:00 a.m. a 7:00 P.m	55	0	0	2	0	1	0	0	58
7:00 a.m. a 8:00 P.m	43	1	0	5	0	1	0	0	50
8:00 a.m. a 9:00 P.m	29	0	0	3	0	0	0	0	32
9:00 a.m. a 10:00 P.m.	26	1	0	3	0	1	1	0	32
10:00 a.m. a 11:00 P.m	27	0	0	2	0	0	0	0	29
11:00 a.m. a 12:00 P.m	33	1	0	1	0	0	0	0	35
12:00 a.m. a 1:00 P.m	39	2	0	1	0	1	0	1	44
1:00 a.m. a 2:00 P.m	27	0	0	1	0	2	0	0	30
2:00 a.m. a 3:00 P.m	32	0	0	1	0	1	1	0	35
3:00 a.m. a 4:00 P.m	31	2	0	5	0	3	0	0	41
4:00 a.m. a 5:00 P.m	30	0	0	3	0	3	0	0	36
5:00 a.m. a 6:00 P.m	35	0	0	3	0	1	0	0	39
Total	407	7	0	30	0	14	2	1	461

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, pt=2.0.

Carga por eje		SN Pulg (mm)					
Kips	KN	1.0(25.4)	2.0(50.8)	3.0(76.2)	4.0(101.6)	5.0(127.0)	6.0(152.4)
2	8.9	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	17.8	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.009	0.012	0.011	0.10	0.009	0.009
8	35.6	0.030	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	44.5	0.075	0.085	0.09	0.085	0.79	0.076
12	53.4	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	62.3	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	71.2	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
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: Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, apéndice D, Pagina 22.

Tabla 98. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, pt=2.0.

Carga por eje		SN Pulg (mm)					
Kips	KN	1.0(25.4)	2.0(50.8)	3.0(76.2)	4.0(101.6)	5.0(127.0)	6.0(152.4)
2	8.9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	17.8	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
6	26.7	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	35.6	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002
10	44.5	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	53.4	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	62.3	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	71.2	0.041	0.048	0.05	0.046	0.042	0.040
18	80.0	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	89.0	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	97.9	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	106.8	0.227	0.244	0.260	0.252	0.239	0.231
26	115.7	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	124.6	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	133.5	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	142.4	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
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

Fuente: Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, apéndice D, Pagina 23.

Tabla 99. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tándem, pt=2.0.

Carga por eje		SN Pulg (mm)					
Kips	KN	1.0(25.4)	2.0(50.8)	3.0(76.2)	4.0(101.6)	5.0(127.0)	6.0(152.4)
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	54.5	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	364.8	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	373.7	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	382.6	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	391.5	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	400.4	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: Guía de Diseño de Pavimento AASHTO 93, apéndice D, Pagina 23.