

Área de Conocimiento Arquitectura y Construcción

“DISEÑO GEOMÉTRICO Y ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO DE 1.33 KM EN EL TRAMO DE CARRETERA DESDE INCOPSA A MERCOSA, COLINDANTE Y ACCESO PRINCIPAL DEL BARRIO JERUSALÉN, DISTRITO VI DEPARTAMENTO DE MANAGUA, 2025”

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Civil

Elaborado por:

Br. Douglas Junior
Aguilar Narváez
Carnet: 2020-05201

Br. Rosa Damaris
Zapata Miranda
Carnet: 2020-04931

Tutor:

MSc. Ing. Walter Emilio
Santana Alemán

05 de junio de 2026
Managua Nicaragua

Dedicatoria

Primeramente, agradezco a Dios por haberme dado la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para alcanzar esta meta. Sin su guía, nada de esto habría sido posible.

A mi papá Ángel Zapata, gracias por ser un ejemplo de esfuerzo, valentía y dedicación. Tus palabras de aliento, tu apoyo incondicional y tu confianza en mí han sido una fuente constante de motivación. Gracias por enseñarme a no rendirme y a luchar siempre por lo que quiero.

A mi mamá Arelys Miranda, gracias por tu ternura, por tu amor inagotable y por estar siempre presente en cada momento importante de mi vida. Tus oraciones, tus consejos y tu cariño han sido fundamentales para que hoy pueda celebrar este logro. Eres mi inspiración y mi mayor bendición.

A mi novio Junior Aguilar, gracias por tu compañía, por creer en mí y por estar a mi lado en cada etapa de este proceso. Tu apoyo, tu paciencia y tu amor han sido fundamentales en este camino. Gracias por motivarme y por nunca soltar mi mano.

A cada uno de ustedes, con todo mi amor y gratitud, les dedico este logro que también es suyo.

Rosa Damaris Zapata Miranda

Dedicatoria

Finalmente dedico todo mi trabajo y esfuerzo tanto esta tesis de investigación como de todo mi proceso de formación primeramente a Dios porque en cada paso del camino me sostuvo con su fuerza, su sabiduría y su infinito amor. Gracias por darme la capacidad de comprender, por iluminar mi mente en los momentos de dudas, por brindarme paciencia cuando el proceso parecía difícil y para concederme la fortaleza para continuar incluso en los días de cansancio. Sin tu guía nada de esto habría sido posible, y hoy reconozco cada logro, cada avance y cada pequeño triunfo se debe a tu gracia y a tu presencia constante en mi vida.

A mis padres, por amarme desde el primer instante de mi existencia, esperarme con ilusión y brindarme su amor incondicional, quienes han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo y dedicación. Este logro es también de ustedes, porque desde el principio me enseñaron a no rendirme, a confiar mis capacidades, porque a pesar de que había momentos de angustias por algunas clases que se me hacían difícil de entender siempre me daban el ánimo de no rendirme y luchar por mis sueños con responsabilidades y disciplina.

Esto también no sería posible sin mi novia Rosa Zapata quien ha sido mi fiel compañera y hace que mis días sean de alegría, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por estar a mi lado, por hacer mis días más ligeros y por recordarme con tu presencia tan noble y dulce que siempre hay días para sonreír.

Hoy cierro esta etapa con el corazón lleno de gratitud este logro no solo representa conocimiento adquirido, sino crecimiento personal, madurez y una convicción más fuerte de que con fe, amor y apoyo toda meta es alcanzable.

Douglas Junior Aguilar Narváez

Agradecimiento

Por medio de estas palabras, deseamos expresar nuestra más profunda gratitud a todas aquellas personas que con su apoyo moral, académico y emocional hicieron posible la elaboración y culminación de este trabajo monográfico.

Nuestro primer y mayor agradecimiento es para Dios, quien en todo momento nos brindó sabiduría, salud y fuerza para no desistir, guiándonos con su luz en cada paso del camino hasta alcanzar este logro.

Extendemos un reconocimiento especial a nuestros padres, quienes con su dedicación, esfuerzo y amor incondicional nos han apoyado firmemente durante nuestra formación profesional y personal. Su ejemplo ha sido esencial para seguir adelante.

A nuestro tutor Msc. Ing. Walter, agradecemos por su orientación, paciencia y valioso acompañamiento durante todo el desarrollo de esta investigación. Su experiencia y compromiso fueron claves para lograr nuestros objetivos. ¡Gracias infinitas!

A la Universidad Nacional de Ingeniería, por ser el espacio donde crecimos como profesionales, y al cuerpo docente por compartir sus conocimientos, guiarnos y motivarnos a lo largo de esta etapa académica.

Br. Douglas Junior Aguilar Narváez
Br. Rosa Damaris Zapata Miranda

ÍNDICE

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. Macro localización	2
1.3. Micro localización	3
1.4. OBJETIVOS	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5. JUSTIFICACIÓN	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Estudio topográfico.....	6
2.1.1. Planimetría	6
2.1.2. Altimetría.....	6
2.1.3. Banco maestro (BM).....	6
2.1.4. Pendiente	6
2.1.5. Perfil longitudinal	7
2.2. Estudio de suelos	7
2.2.1. Clasificación de los suelos.....	7
2.2.2. Compacto de suelo.....	8
2.2.3. Granulometría.....	8
2.2.4. Límites de Atterberg	9
2.2.5. Límite líquido	9
2.2.6. Límite plástico.....	9
2.2.7. California bearing ratio (C.B.R.).....	9
2.3. Estudio de tránsito.....	10
2.3.1. Volumen vehicular	10
2.3.2. Tránsito promedio diario (TPD)	10

2.3.3. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)	11
2.3.4 Tránsito de diseño	11
2.3.5. ESAL	11
2.4. Estructura de pavimento rígido.....	12
2.4.1. Pavimento rígido.....	12
2.4.2. Subrasante	12
2.4.3. Subbase	12
2.4.4. Juntas de pavimentos rígido.....	12
2.4.5. Selladores de juntas	13
2.4.6. Método de la AASTHO 93	14
2.4.7. Variables de diseño	15
2.4.7.1. Periodo de diseño.....	15
2.4.7.2. Desviación normal estándar	15
2.4.7.3. Servicialidad	15
2.4.7.4. Coeficiente de drenaje.....	16
2.4.7.5. Coeficiente de trasmisión de carga	16
2.4.7.6. Módulo de elasticidad de concreto	16
2.4.7.7. Módulo de reacción K.....	16
2.5. Diseño geométrico	17
2.5.1. Velocidad de diseño.....	17
2.5.2. Vehículo de diseño	17
2.5.3. Alineamiento horizontal	17
2.5.4. Curva horizontal simple	18
2.5.5. Peralte	18
2.5.6. Bombeo	18

2.5.7. Curvas verticales	18
2.5.8. Secciones transversales.....	19
CAPITULO III: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	20
3.1. Estudio topográfico.....	20
3.1.2. Metodología.....	20
3.1.3. Levantamiento topográfico	20
3.1.4. Planimetría	21
3.1.5. Altimetría.....	21
3.1.6. Establecimiento de BM.....	22
3.1.7. Perfil longitudinal	23
3.1.8. Pendientes.....	23
3.1.9. Evaluación del levantamiento topográfico	24
3.2. Estudio de suelo.....	26
3.2.1. Metodología.....	26
3.2.2. Resultados de estudios de suelo.....	27
3.2.3. Trabajos de campo	27
3.2.3.1. Sondeo en Línea	27
3.2.4. Ensayos de laboratorio	27
3.2.4.1. Clasificación de suelo según AASHTO M – 145.....	31
3.2.4.2. Análisis de los resultados de los ensayos granulométricos	33
3.2.4.3. Perfil Estratigráfico	34
3.2.4.4. Análisis de contenido de humedad	35
3.2.4.5. Ensayo de Compactación Proctor	38
3.2.4.5.1. Proctor Estándar	39
3.2.4.6. Relación de soporte de califonia (C.B.R).....	41

3.2.4.7. Estudio de los materiales de bancos de préstamo	43
3.2.4.7.1. Análisis granulométrico de los bancos de materiales “Los Martínez”	43
3.2.4.7.2. Análisis granulométrico de los bancos de materiales “La suburbana” ...	44
3.2.4.7.3. Mezcla de los materiales de banco	45
3.2.4.8. Límites de Atterberg y pesos volumétricos de la mezcla.	46
3.2.4.8.1. Proctor modificado de la mezcla 50% - 50%	47
3.2.4.8.2. Relación de soporte de California (CBR).....	47
3.2.5. Selección del CBR de diseño	48
3.2.6. Resumen de estudio de suelo	50
3.3. Estudio de tránsito.....	52
3.3.1. Metodología.....	52
3.3.2. Ubicación de la estación de conteo	53
3.3.3. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)	55
3.3.4. Identificación de vectores de correspondencia.....	55
3.3.5. Selección de la estación de mayor cobertura	57
3.3.6. Cálculo del TPDA	58
3.3.7. Tasa de crecimiento.....	60
3.3.7.1. Tasa de crecimiento vehicular	61
3.3.7.2. Tasa de crecimiento poblacional.....	62
3.3.7.3. Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB).....	64
3.3.7.4. Selección de la tasa de crecimiento	65
3.3.8. Proyección de tránsito	65
3.3.8.1. Periodo de Diseño	65
3.3.9. Tránsito de diseño	67
3.3.9.1. Factor de crecimiento	67

3.3.9.2. Factor Distribución por dirección (LD)	68
3.3.9.3. Factor de distribución por carril (LC).....	68
3.3.9.4 Cálculo de tránsito de diseño	69
3.3.10. ESAL de diseño	70
3.3.10.1. Cargas permisibles por tipo de vehículo.....	70
3.3.10.2. Factor de Equivalencia de Carga (F. ESAL's)	71
3.3.10.3. Cálculo de ESAL's de diseño	72
3.4. Diseño de Pavimento rígido	74
3.4.1. Metodología.....	74
3.4.2. Variables por considerar en el método AASHTO 93	74
3.4.2.1. Período de diseño	75
3.4.2.2. Ejes simples equivalentes de 80 KN.....	75
3.4.2.3. Confiabilidad (R).....	75
3.4.2.4. Desviación Estándar (So).	76
3.4.2.5. Serviciabilidad	77
3.4.2.6. Consideraciones de drenaje en el diseño del pavimento.....	78
3.4.2.7. Transferencia de carga.....	79
3.4.2.8. Propiedades del Concreto	81
3.4.2.8.1. Módulo de Ruptura (MR) del concreto.....	81
3.4.2.8.2. Módulo de Elasticidad del Concreto de la losa (Ec).	83
3.4.2.9. Cálculo del módulo de reacción de la sub-rasante (K) de diseño	83
3.4.2.9.1. Módulo de reacción de la subrasante Original.	84
3.4.3. Cálculo del espesor de la losa.....	85
3.4.3.1. Cálculo de espesor de pavimento rígido con el programa AASHTO-93. ..	86
3.4.3.2. Interpretación de resultados del espesor de losa	87

3.4.4. Modulaci3n de la losa de Concreto	88
3.4.4.1. Dise1o de Juntas.....	89
3.5. Dise1o Geom3trico.....	91
3.5.1. Metodolog1a.....	91
3.5.2. Veh1culo de Dise1o	92
3.5.3. Tipo de terreno	93
3.5.4. Velocidad de Dise1o	93
3.5.5. Alineamiento Horizontal.....	94
3.5.6. Alineamiento Vertical.....	95
3.5.6.1. Pendiente longitudinal m1xima.....	95
3.5.6.2. Distancia de Visibilidad en Carreteras	96
3.5.6.2.1. Distancia de Visibilidad de Parada (DVP)	96
3.5.6.2.2. Distancia de visibilidad de rebase o adelantamiento	97
3.5.6.3. Curvas Verticales dise1adas	98
3.5.6.3.1. C1lculo de la curva vertical critica	99
3.5.7. Secciones transversales.....	100
3.5.7.1. Derecho de la v1a	101
3.5.7.2. Bombeo Normal.....	101
3.5.7.3. Corona.....	102
3.5.7.3.1. Calzada	102
3.5.7.3.2. Ancho de hombros	102
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFIA.....	108
ANEXOS	I

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas cartográficas del levantamiento	21
Tabla 2. Red de BM y puntos auxiliares.....	23
Tabla 3. Clasificación de terrenos en función de las pendientes naturales ...	24
Tabla 4. Primera evaluación del levantamiento topográfico.....	25
Tabla 5. Segunda evaluación del levantamiento topográfico	25
Tabla 6. Tercera evaluación del levantamiento topográfico	26
Tabla 7. Ensayes de laboratorio	28
Tabla 8. Datos Granulométrico y clasificación de suelo según AASHTO.	29
Tabla 9. Clasificación de los suelos	32
Tabla 10. Resultado del Ensaye Contenido de Humedad.....	36
Tabla 11. Especificaciones para los Ensayes Proctor.....	38
Tabla 12. Tabla de datos (Proctor Estándar)	40
Tablas 13. Valores de la Carga Unitaria Patrón.....	42
Tabla 14. Determinación del CBR en laboratorio.....	42
Tabla 15. Granulometría banco materiales “Los Martínez”	43
Tabla 16. Granulometría banco materiales “La Suburbana”	44
Tabla 17. Granulometría de la mezcla de ambos materiales	45
Tabla 18. Clasificación de suelos de banco	46
Tabla 19. Límites de Atterberg y pesos volumétricos de la mezcla.....	46
Tabla 20: Resultado del CBR de la mezcla de los bancos.....	47
Tabla 21. Clasificación de suelo y CBR de la subrasante	48
Tabla 22. Criterio del Instituto de Asfalto para determinar CBR de Diseño...	49
Tabla 23. Valores para determinar CBR de Diseño de subrasante original.	49
Tabla 24. Propiedades física y mecánica de los suelos analizados.....	51

Tabla 25. Resultados de materiales de banco Los martines y La suburbana	51
Tabla 26. Aforo vehicular	54
Tabla 27. Vectores geográficos	56
Tabla 28. Vectores de volumen	56
Tabla 29. Proyección de tránsito promedio diario (TPD) a tránsito promedio diario anual (TPDA2025).....	59
Tabla 30. Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura.....	60
Tabla 31. Histórico de TPDA, Est 701B (Las banderas–Emp Teustepe)	62
Tabla 32. Histórico de población estimada en Nicaragua (2014- 2024).....	63
Tabla 33. Tasa de crecimiento del PIB (2014-2024)	64
Tabla 34. Resumen y cálculo de la tasa de diseño	65
Tabla 35. Periodo de diseño según el tipo de carretera.....	66
Tabla 36. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	66
Tabla 37. Clasificación funcional de las carreteras regionales, volúmenes de tránsito, número de carriles y tipo de superficie de rodamiento	67
Tabla 38. Factor de crecimiento.....	68
Tabla 39. Factor de distribución por dirección	68
Tabla 40. Factor de Distribución por carril	68
Tabla 41. Tránsito de diseño.....	69
Tabla 42. Datos para conocer factor equivalente de carga del automóvil	71
Tabla 43. ESAL's de diseño	73
Tabla 44. Porcentaje de ejes equivalentes.	75
Tabla 45. Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera.....	76
Tabla 46. Valores Desviación Estándar (So)	76
Tabla 47. Escala de Serviciabilidad	77
Tabla 48. Capacidad del drenaje para remover la humedad.....	79

Tabla 49. Coeficiente de drenaje para Pavimentos Rígidos	79
Tabla 50. Valores de Coeficiente de transmisión de carga (J).....	80
Tabla 51. Valores de las variables para el Diseño de Pavimento Rígido	85
Tabla 52. Dimensiones de tablero	89
Tabla 53. Dimensiones de los vehículos de diseño	92
Tabla 54. Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño.....	93
Tabla 55. Velocidades de diseño en kilómetros por hora, en función de los volumenes de tránsito y la topografía del terreno	94
Tabla 56. Pendientes Máxima para Calles Colectoras Urbanas	95
Tabla 57. Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio basados en la distancia de Visibilidad de Parada, DVP	96
Tabla 58. Distancia de visibilidad adecuada para adelantar	97
Tabla 59. Elementos para el diseño geométrico	99
3.5.7. Secciones transversales	100
Tabla 60. Bombeo Normal de Calzada	101
Tabla 61. Anchos mínimos de hombros y aceras	103
Tabla 62. Características de la calle	104
Tabla 63. Puntos del tramo P1 – P35	IV
Tabla 64. Puntos del tramo P36 – P70	V
Tabla 65. Puntos del tramo P71 – P105	VI
Tabla 66. Puntos del tramo P106 – P140	VII
Tabla 67. Puntos del tramo P141 – P135	VIII
Tabla 68. Puntos del tramo P176 – P210	IX
Tabla 69. Puntos del tramo P211 – P245	X
Tabla 70. Puntos del tramo P246– P280	XI
Tabla 71. Puntos del tramo P281– P210	XII

Tabla 72. Puntos del tramo P311– P345	XIII
Tabla 73. Resultados del Ensayo Proctor Estándar.....	XV
Tabla 74. Resultados del Ensayo Proctor Estándar.....	XVI
Tabla 75. Resultados del Ensayo Proctor Estándar.....	XVII
Tabla 76. Nivel de Penetración	XVIII
Tabla 77. Recopilación de resultados de ensayos de CBR	XIX
Tabla 78. Datos de ensaye de carga del CBR	XX
Tabla 79. Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"	XXI
Tabla 80. CBR corregidos a penetración de 0.1" y 0.2"	XXI
Tabla 81. Recopilación de Resultados del Ensayo CBR.....	XXIII
Tabla 82. Datos de ensaye de carga del CBR	XXIV
Tabla 83. Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"	XXV
Tabla 84. CBR corregidos a penetración de 0.1" y 0.2"	XXV
Tabla 85. Recopilación de Resultados del Ensayo CBR.....	XXVIII
Tabla 86. Datos de ensaye de carga del CBR	XXIX
Tabla 87. Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"	XXX
Tabla 88. CBR corregidos a penetración de 0.1" y 0.2"	XXX
Tabla 89. Recopilación de Resultados del Ensayo CBR.....	XXXIII
Tabla 90. Datos de ensaye de carga del CBR	XXXIV
Tabla 91. Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"	XXXV
Tabla 92. CBR Corregido a penetración de 01" y 02"	XXXV
Tabla 93. Ensaye Granulométrico de banco Los Martínez	XXXVIII
Tabla 94. Ensaye Granulométrico de banco La Suburbana.....	XXXIX
Tabla 95. Ensaye Granulométrico de la mezcla de materiales de banco	XL
Tabla 96. Resultados de Proctor Modificado	XLI

Tabla 97. Recopilación de Datos y Resultados del Ensayo CBR.....	XLII
Tabla 98. Datos de ensaye de carga del CBR	XLIII
Tabla 99. Resultados de CBR a penetración de 0.1” y 0.2	XLIV
Tabla 100. CBR corregidos a penetración de 0.1” y 0.2”	XLIV
Tabla 101. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico de la oficina de Diagnostico, Evaluación de pavimentos y puentes	XLVII
Tabla 102. Conteo vehicular tramo INCOPSA- MERCOSA colindante y acceso principal del barrio Jerusalén del lunes (12 horas).....	XLIX
Tabla 103. Conteo vehicular tramo INCOPSA- MERCOSA colindante y acceso principal del barrio Jerusalén del martes (12 horas).	L
Tabla 104. Conteo vehicular tramo INCOPSA- MERCOSA colindante y acceso principal del barrio Jerusalén del miércoles (12 horas).	LI
Tabla 105. Diagrama de cargas permisibles para Vehículos Pesados.	LIII
Tabla 106. Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos.....	LIV
Tabla 107. Tráfico Promedio Diario Anual histórico año 2020.....	LIV
Tabla 108. Factores de equivalencia de carga por eje para pavimentos rígidos de un solo eje y espesor de losa.....	LV
Tabla 109. Factores de equivalencia de carga por eje para pavimentos rígidos de un solo eje y espesor de losa.....	LVI
Tabla 110. Factores de equivalencia de carga por eje para pavimentos rígidos de un solo eje y espesor de losa.....	LVII
Tabla 111. Porcentaje de ejes equivalentes	LVIII
Tabla 112. Aumento del valor de K según espesor de subbase	LX
Tabla 113. Aumento de K según espesor de subbase (6”)	LX
Tabla 114. Resumen de especificaciones para colocación de juntas	LXIV

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macro localización del municipio de Managua en el Distrito VI	2
Figura 2. Micro localización del tramo entre “INCOPSA-MERCOSA colindante y acceso principal del barrio Jerusalén”	3
Figura 3. Instrumentos topográficos	22
Figura 4. Perfil longitudinal	23
Figura 5. Pendientes del terreno del tramo INCOPSA a MERCOSA.....	24
Figura 6. Tipos de suelo y su porcentaje equivalente	33
Figura 7. Perfil Estratigráfico	34
Figura 8. Curva de compactación suelo A-1-b (0)	41
Figura 9. Determinación del CBR de Diseño de subrasante original	50
Figura 10. Ubicación de la estación de conteo de aforo manual	53
Figura 11. Porcentaje por tipo de vehículos registrado en el aforo de tránsito	54
Figura 12. Dependencia de estaciones 2020	57
Figura 13. Factores de ajustes del segundo cuatrimestre de año Mayo - Agosto de EMC 101B	58
Figura 14. Tipo de Soporte Lateral Propuesto	81
Figura 15. Cálculo de espesor de losa con subrasante original.....	86
Figura 16. Relación entre largo y ancho de un tablero de losa.....	89
Figura 17. Modulación de losa de concreto	90
Figura 18. Geometría del alineamiento Horizontal.....	94
Figura 19. Diseño de curvas verticales del tramo en Civil 3D.....	98
Figura 20. Sección transversal en carretera en dos direcciones	100
Figura 21. Sección transversal definida.....	103
Figura 22. Estación 0+000 (estación de conteo)	I

Figura 23. Estación 1+1330.....	I
Figura 24. Situación actual de la entrada Jerusalén. EST 0+700	II
Figura 25. Situación Actual de Salida del Tramo Est 1+330	II
Figura 26. Situación vial de tránsito del tramo Est 0+300.....	III
Figura 27. Acumulación de agua en el tramo. Est 0+900	III
Figura 28. Estado actual del tramo de estudio	XIV
Figura 29. Actividades de construcción en el tramo de estudio.....	XIV
Figura 30. Curva de compactación.....	XV
Figura 31. Curva de Compactación	XVI
Figura 32. Curva de compactación.....	XVII
Figura 33. Suelo A – 1 – b Curva carga – sin corrección)	XXII
Figura 34. Suelo A – 1 – b Curva carga – sin corrección)	XXII
Figura 35. Suelo A – 1 – b Curva carga – sin corrección.....	XXII
Figura 36. Suelo A – 1 – b Curva carga – con corrección)	XXII
Figura 37. Suelo A – 4 Curva carga – sin corrección	XXVI
Figura 38. Suelo A – 4 Curva carga - con corrección	XXVI
Figura 39. Suelo A – 4 Curva carga - sin corrección	XXVI
Figura 40. Suelo A – 4 Curva carga - con corrección	XXVI
Figura 41. Suelo A-4 Curva carga-sin corrección	XXVII
Figura 42. Suelo A – 4 Curva carga – con corrección	XXVII
Figura 43. Suelo A – 1 – b, CBR vs DENSIDAD SECA.....	XXVII
Figura 44. Suelo A – 2 – 4 Curva carga – sin corrección.....	XXXI
Figura 45. Suelo A – 2 – 4 Curva carga – con corrección	XXXI
Figura 46. Suelo A – 2 – 4 Curva carga – sin corrección.....	XXXI
Figura 47. Suelo A – 2 – 4 Curva carga – con corrección	XXXI

Figura 48. Suelo A – 2 – 4 Curva carga - sin corrección	XXXII
Figura 49. Suelo A – 2 – 4 Curva carga – con corrección	XXXII
Figura 50. Suelo A-2-4 CBR vs DENSIDAD SECA	XXXII
Figura 51. Suelo A – 3 Curva carga–sin corrección	XXXVI
Figura 52. Suelo A – 3 Curva carga - con corrección	XXXVI
Figura 53. Suelo A – 3 Curva carga – sin corrección	XXXVI
Figura 54. Suelo A – 3 Curva carga – con corrección	XXXVI
Figura 55. Suelo A – 3 Curva carga – sin corrección	XXXVII
Figura 56. Suelo A – 3 Curva carga – sin corrección	XXXVII
Figura 57. Suelo A – 3, CBR vs DENSIDAD SECA.....	XXXVII
Figura 58. Curva de compactación	XLI
Figura 59. Suelo A - 1 - b Curva carga - Sin corrección	XLV
Figura 60. Suelo A - 1 - b Curva carga – Con corrección	XLV
Figura 61. Suelo A - 1 - b Curva carga – Sin corrección.....	XLV
Figura 62. Suelo A - 1 - b Curva carga – Con corrección	XLV
Figura 63. Suelo A - 1 - b Curva carga - Sin corrección	XLVI
Figura 64. Suelo A - 1 - b Curva carga – Sin corrección.....	XLVI
Figura 65. Suelo A - 1 – b, CBR vs DENSIDAD SECA.....	XLVI
Figura 66. Formato de aforo manual	XLVIII
Figura 67. Conteo vehicular.....	LII
Figura 68. Conteo vehicular.....	LII
Figura 69. California Bearing Ratio CBR (%).....	LIX
Figura 70. Ábaco de diseño para pavimentos Rígidos.	LXI
Figura 71. Ábaco de diseño para pavimentos Rígidos.	LXII
Figura 72. Cálculo de espesor de losa con subbase granular	LXIII

Figura 73. Plano topográfico proporcionado pola alcaldía de mangua	LXV
Figura 74. Secciones trasversales del tramo de estudio	LXV
Figura 75. Ensamble de la sección trasversal	LXVI
Figura 76. Vista tridimensional de la obra lineal	LXVI

CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES.

1.1. INTRODUCCIÓN

El ser humano a lo largo de la década y del desarrollo económico, industrial, comercial y turístico ha generado la necesidad del transporte de mercancía y personas; demandando sistemas de redes aéreo, terrestre y marítimas que suplan esta demanda dinámica; Nicaragua no es la excepción.

Managua, con una red vial urbana con 2.343 kilometro lineales, con un 72.34% de calles revestida y un 27.66% sin revestimiento, se percibe la necesidad del mantenimiento y desarrollo de nuevos proyectos para el revestimiento de calles en consecuencia a su desarrollo urbano. El distrito VI, demanda 144.66 kilómetros lineales de calles por revestimiento, según el departamento de formulación y evaluación de proyecto, Alcaldía Municipal de Managua (ALMA); de esto la necesidad del proyecto.

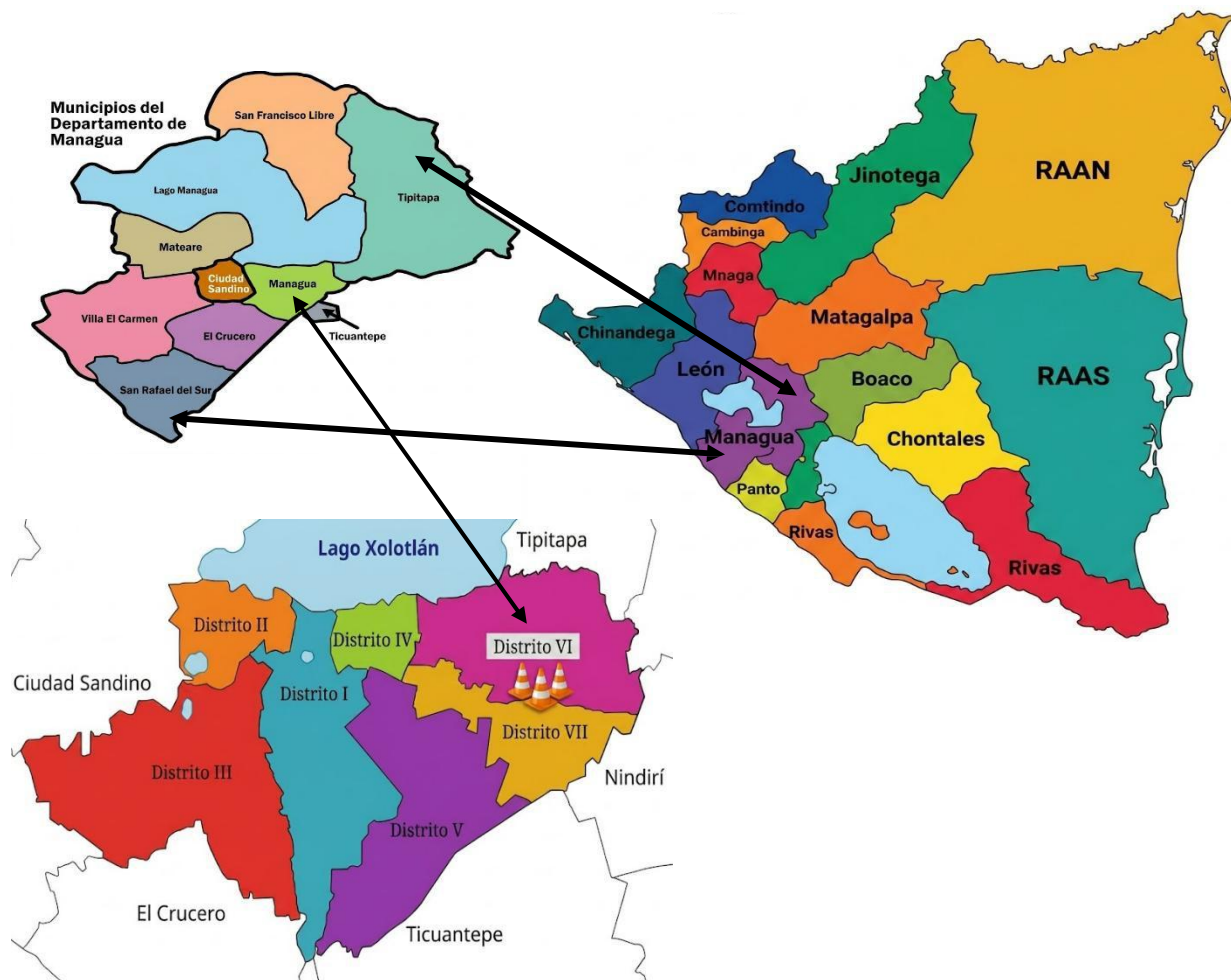
El diseño y construcción de pavimentos rígidos son fundamentales para el desarrollo de infraestructuras urbanas duraderas y eficientes. El pavimento de concreto hidráulico se ha consolidado como una de las soluciones más efectivas para carreteras y vías de alto tránsito, ofreciendo una vida útil prolongada y bajos costos de mantenimiento en comparación con otros tipos de pavimentos.

En este proyecto, se llevará a cabo el diseño de 1330 ml de pavimento rígido en la calle colindante y de acceso principal al barrio Jerusalén, de ciudad de Managua, distrito VI, entre el tramo carretero que inicia en la empresa INCOPSA hasta la empresa MERCOSA; referido en el anexo de ilustración del tramo, con el objetivo de mejorar la accesibilidad y el flujo vehicular del distrito. El diseño aplicara las normativas vigentes y las buenas prácticas ingenieriles recomendadas en las especificaciones de la normativa de administración y construcción de obras viales (NIC-2000) y del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Este proyecto busca mejorar la transitividad de la zona, también contribuir al desarrollo urbano y económico de la comunidad.

1.2. Macro localización

El proyecto bajo desarrollo se encuentra ubicado en la zona este de la costa del pacífico de Nicaragua y pertenece al departamento, Municipio de Managua, específicamente en la zona este del Distrito VI.

Figura 1. Macro localización del municipio de Managua en el Distrito VI



Fuente: Mapa de la división Política Administrativa de Nicaragua.

1.3. Micro localización

El diseño geométrico y estructura de pavimento rígido del tramo entre “INCOPSA-MERCOSA colindante y acceso principal del barrio Jerusalén” del departamento de Managua, ubicado en la región del pacifico de Nicaragua y constituye la capital del país debido a su importancia administrativa política y económica.

Figura 2. Micro localización del tramo entre “INCOPSA-MERCOSA colindante y acceso principal del barrio Jerusalén”



Fuente: Google Earth

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

- Realizar el diseño geométrico y estructura de pavimento rígido de 1.33km en el tramo comprendido desde la empresa INCOPSA a la empresa MERCOSA del barrio Jerusalén del distrito VI departamento de Managua.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Revisar el estudio topográfico del tramo en estudio, proporcionado por la alcaldía municipal de managua, tomando en consideración el manual de revisión de levantamiento topográfico de MTI.
- Establecer las características del terreno proporcionado por la empresa DYCONSA a solicitud de la empresa ACONSA, necesarias para el diseño de la estructura de pavimento, mediante la realización de un estudio geotécnico.
- Efectuar estudio de tránsito en el tramo, para la determinación del Tránsito Promedio Diario Anual y la cantidad de ejes equivalentes que circularán en la zona en el período de diseño, aplicando los criterios establecidos por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- Calcular los espesores estructurales de pavimento rígido, tomando en cuenta el método AASHTO-93, para determinar las secciones típicas del tramo.
- Diseñar geométricamente el tramo de carretera, para la generación de planos, mediante el software Civil 3D y la aplicación de las Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales SIECA 2011.

1.5. JUSTIFICACIÓN

El proyecto es a fin a las estrategias que impulsa nuestro buen gobierno de reconciliación y unidad nacional en el Plan Nacional de Lucha Contra la Pobreza y para el Desarrollo Humano PNCL-HD_2022-2026, fortaleciendo a las comunidades más vulnerables como es el caso de estudio, esto implica el circuito de la red vial de Managua con calles de todo tiempo, promueve un desarrollo urbano ordenado y sostenible en el distrito VI, el desarrollo comercial; considerando su inclusión en el programa calles para el pueblo.

El estudio propone un pavimento de calidad que no solo mejorará las condiciones del entorno urbano, sino que también contribuirá a un ambiente limpio, seguro, sano, funcional y sostenible. Asimismo, la mejora en la infraestructura vial puede estimular la actividad económica en la zona facilitando el acceso a negocios locales y mejorando la logística para el transporte de mercancías, aumenta la plusvalía de los terrenos y el desarrollo de nuevos proyectos para mejorar la imagen urbano y seguridad, así como el acceso y presencia de instituciones en la zona de estudio como unidades médicas, Policía Nacional, Cruz Blanca, Cuerpo Bombero y sus unidades móviles.

Al mejorar las condiciones de la calle barrio Jerusalén, INCOPSA-MERCOSA colindando a tope con las calles conformada con carpetas de rodamiento de pavimento rígido en sus ambos extremos, al sur calle colindante con el barrio Sabana Grande y al norte con el barrio Ciudad Belén del distrito VI de ciudad Managua con una carpeta de rodamiento de todo tiempo como lo es el pavimento rígido y su obra hidráulica, se espera un impacto positivo en la calidad y nivel de vida de los residentes del barrio Jerusalén, ya que con un mejor acceso vial vincula mayores oportunidades en educación, salud y empleo.

La propuesta permitirá aprovechar condiciones del entorno natural minimizando los impactos ambientales favoreciendo al entorno natural y construido con soluciones integrales e inteligente dentro de la planificación urbana y territorial.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Estudio topográfico

Se define la topografía (del griego: topos, lugar y graphein, describir) como la ciencia que trata de los principios y métodos empleados para determinar las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre, por medio de medidas, y usando los tres elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación. (Marquez, 1994, pág. 1)

2.1.1. Planimetría

Se llama planimetría al conjunto de los trabajos efectuados para tomar en el campo los datos geométricos necesarios que permitan construir una figura semejante a la del terreno, proyectada sobre un plano horizontal. (Marquez, 1994, pág. 9)

2.1.2. Altimetría

Recibe el nombre de nivelación o altimetría el conjunto de los trabajos que suministran los elementos para conocer las alturas y forma del terreno en sentido vertical. Todas las alturas de un trabajo de topografía, están referidas a un plano común de referencia. Este plano llamado de comparación es una superficie plana imaginaria, cuyos puntos se asumen con una elevación o altura de cero. (Marquez, 1994, pág. 245)

2.1.3. Banco maestro (BM)

Es un punto permanente en el terreno de origen natural o artificial, cuya elevación sobre el nivel del mar es conocida con precisión. (Gámez Morales, 2015, pág. 130)

2.1.4. Pendiente

Se entiende por pendiente de un terreno en general a su inclinación respecto a la horizontal, puede ser ascendente o descendente según el punto de observación. Si el terreno es horizontal su pendiente es cero. (Gámez Morales, 2015, pág. 157)

$$p = \frac{e}{D} * 100 \text{ (Ecuación 1) tomada de (Marquez, 1994, pág. 1. capítulo 9)}$$

Donde:

P= Pendiente (%).

e= Diferencia de nivel (m).

D= Distancia horizontal (m).

100= Expresión en porcentaje.

2.1.5. Perfil longitudinal

Se denomina perfil longitudinal, a la línea determinada por la intersección del terreno con un plano vertical. En el trazado de un camino, una tubería, canal, etc., se requieren las elevaciones en cada estación completa, en los vértices (que son los puntos que marcan los cambios de dirección), en los puntos que cambia la inclinación del terreno (cambio de pendiente) y en los puntos críticos como caminos, puentes, alcantarillas, etc. (Gámez Morales, 2015, pág. 149)

2.2. Estudio de suelos

La Geotecnia constituye un pilar fundamental en la ingeniería civil, ya que permite comprender cómo se comportan los suelos y rocas frente a cargas y condiciones externas. Gracias a este conocimiento, es posible diseñar cimentaciones, taludes, presas, carreteras y otras obras que se apoyan directamente en el terreno, asegurando su seguridad y durabilidad. Desde el aspecto geotécnico los suelos se consideran materiales formados por partículas minerales de diversa naturaleza y tamaño, cuyo composición y comportamiento influye directamente en el diseño y estabilidad de las obras civiles (DAS, BRAJA M., 2012, pág. 1).

2.2.1. Clasificación de los suelos

Los suelos con propiedades similares pueden ser clasificados en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la ingeniería. Los sistemas de clasificación proporcionan un lenguaje común para

expresar de forma concisa las características generales de los suelos, que son infinitamente variadas, sin una descripción detallada. En la actualidad, existe un sistema de clasificación que utilizan la distribución granulométrica y la plasticidad de los suelos son comúnmente utilizados para aplicaciones ingenieriles. Se trata del American Association of State Highway Officials. (AASHTO). (DAS, BRAJA M., 2012, pág. 78)

2.2.2. Compacto de suelo

En general, la compactación es la consolidación del suelo por la eliminación de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación de un suelo se mide en términos de su peso unitario seco. Cuando se añade agua a la tierra durante la compactación, ésta actúa como agente suavizante sobre las partículas del suelo. Éstas se deslizan una sobre la otra y se mueven en una posición densamente empaquetada. El peso unitario seco después de la compactación primero aumenta a medida que se incrementa el contenido de humedad. Tenga en cuenta que en un contenido de humedad $w=0$, la unidad de peso húmedo (γ) es igual a la unidad de peso seco (γ_d). (DAS, BRAJA M., 2012, pág. 91)

2.2.3. Granulometría

La granulometría consiste en analizar cómo se distribuyen las partículas del suelo según su tamaño, mediante una clasificación descriptiva que permite identificar si el material está compuesto principalmente por gravas, arenas, limos o arcillas, información esencial para evaluar su comportamiento en obras de ingeniería civil. Este tiene como finalidad determinar los porcentajes relativos de las partículas minerales del suelo en base al peso seco total de la muestra luego de la destrucción del agregado. Él se desarrolla con procedimientos descritos en el ensaye de laboratorio ASTM o AASHTO. (CEMEX, 2018, pág. 29)

2.2.4. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son aquellos contenidos de agua en los cuales el comportamiento del suelo se modifica. A medida que el contenido de agua aumenta, el estado del suelo cambia de sólido rígido a sólido plástico y luego a un líquido viscoso. (DAS, BRAJA M., 2012, pág. 15)

2.2.5. Límite líquido

El límite líquido de un suelo se determina utilizando la copa de Casagrande (designación de prueba D4318 de la ASTM) y se define como el contenido de humedad en el que se cierra una ranura de 12.7 mm mediante 25 golpes. (DAS, BRAJA M., 2012, pág. 15)

2.2.6. Límite plástico

El límite plástico se define como el contenido de humedad en el que el suelo se agrieta al formar un rollito de 3.18 mm de diámetro. (designación de prueba D- 4318 de la ASTM) (DAS, BRAJA M., 2012, pág. 15)

2.2.7. California bearing ratio (C.B.R.)

El CBR de un material es en función de su densidad, textura, humedad de compactación, humedad después de la saturación, su "grado de alteración", y su granulometría, normalmente se determina a dos profundidades de penetración del pistón normalizado de 3 pulgadas cuadradas de área (a 0,1 pulgada y a 0,2 pulgadas), seleccionando el mayor de los dos valores.

El CBR es bastante solicitado incluso en proyectos que no involucran caminos, debido a la costumbre y familiaridad con sus resultados. Tal vez por ello es pertinente explayarse un poco más en este ensayo, el cual se trabaja comúnmente en conjunto con los ensayos Proctor. (villalobos, 2016, pág. 76)

2.3. Estudio de tránsito

Los estudios de tránsito sirven tanto para los análisis de ingeniería como para soportar los estudios económicos y estudio de factibilidad. Los estudios los dividiremos en dos categorías: a) levantamiento o investigaciones de campo y b) estudios de gabinete o de análisis de investigaciones. En este manual y para los fines de este, los estudios de tránsito de campo que incluiremos para efectos de revisión son los siguientes. (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2008, pág. 27)

- Volumen de tránsito y conteos volumétricos
- Estudio de velocidades
- Estudios de tiempo de viaje

2.3.1. Volumen vehicular

Es el número de vehículos que pasan por un punto determinado durante un punto específico de tiempo. (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2008, pág. 165)

2.3.2. Tránsito promedio diario (TPD)

Se define el volumen de tránsito diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día dividido entre el número de días del periodo. (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2008, pág. 165)

Según la cantidad de días, se expresa:

- Tránsito promedio diario anual (TPDA):
 $TPDA = TA / 365$
- Tránsito promedio diario mensual (TPDM):
 $TPDM = TM / 30$
- Tránsito promedio diario semanal (TPDS):

$$\text{TPDS} = \text{TS} / 7 \text{ (p.34)}$$

Donde: TA: Tránsito Anual; TM: Tránsito Mensual; TS: Tránsito semanal

2.3.3. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Es el volumen total que pasa por una sección transversal o por un segmento de una carretera, en ambos sentidos, durante un año, dividido entre el número de días en el año. Se puede obtener también para un solo sentido. (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2008, pág. 165)

2.3.4 Tránsito de diseño

Con éste se determina la cantidad de vehículos que circularán en una vía y así obtener un acumulado de vehículos y proyectar su vida útil. De manera general el Tránsito de diseño a emplear para fines de proyecto está dada por la Ecuación 2

$$\text{TD} = \text{TPDA} * \text{FCA} * \text{LD} * \text{LC} * 365 \quad (\text{Ecuación 2}) \text{ tomada de (Cal y Mayor, 2018)}$$

Donde:

TPDA = Tránsito Promedio Diario Anual Calculado

FCA = Factor de Crecimiento Anual

LD = Factor de Distribución Direccional

LC = Factor de Distribución por Carril

$$\% \text{TD} = \text{TD} / \text{Total TD} * 100$$

2.3.5. ESAL

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips. Se los denominará de aquí en adelante ESAL, que es la sigla en inglés de “Carga de Eje Equivalente Simple” “Equivalent Single Axle Load” ((AASHTO-93), 2006, pág. 21) .

2.4. Estructura de pavimento rígido

2.4.1. Pavimento rígido

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. (Fonseca, 2002, pág. 5)

2.4.2. Subrasante

Es el terreno de cimentación del pavimento. Puede ser el suelo natural, debidamente recortando y compactando, o puede ser debido a los requerimientos del diseño geométrico, cuando el suelo natural es deficiente, y el material seleccionado de relleno es de buena calidad. (Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2015, pág. 6)

2.4.3. Subbase

La subbase es una capa constituida por materiales pétreos de buena graduación, colocada sobre la subrasante. Su función principal es mejorar las condiciones de soporte del pavimento, proporcionando una superficie uniforme y estable para la colocación de la losa de concreto. (Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2015, pág. 6)

2.4.4. Juntas de pavimentos rígido

El diseño de juntas en pavimentos rígidos tiene como objetivo principal controlar la fisuración y el agrietamiento natural del concreto, los cuales se presentan tanto

durante el proceso constructivo como en la etapa de servicio. (Coronado Iturbide, 2002, pág. 95 Capítulo 7)

Asimismo, las juntas cumplen diversas funciones dentro del comportamiento estructural del pavimento, entre las que destacan:

- Controlar el agrietamiento transversal y longitudinal.
- Dividir el pavimento en secciones adecuadas para su construcción.
- Permitir los movimientos de las losas, incluyendo deformaciones por alabeo debido a efectos de carga y temperatura.
- Facilitar la transferencia de cargas entre losas adyacentes.

El sistema de juntas debe diseñarse considerando diversos factores que influyen en el desempeño del pavimento, tales como:

- Condiciones ambientales
- Sistema de transferencia de carga
- Tránsito
- Tipo de subbase
- Diseño de hombro

2.4.5. Selladores de juntas

El propósito del sellado de juntas es minimizar la infiltración de agua superficial hacia el interior de las juntas y las capas subyacentes, así como evitar la entrada de materiales incompresibles que puedan ocasionar desportillamientos y daños estructurales en el pavimento.

Este proceso consiste en realizar el aserrado de la losa entre 2 y 4 horas después de su colocación, conforme a los diámetros establecidos en el diseño. Posteriormente, se coloca un cordón de respaldo, sobre el cual se aplica el material sellante. (Coronado Iturbide, 2002, pág. 101 Capítulo 7)

2.4.6. Método de la AASTHO 93

La primera guía AASHO para el diseño de pavimentos rígidos fue publicada en 1962 bajo el título AASHO Interim Guide for Design of Pavement Structures. Posteriormente, esta fue evaluada y revisada en los años 1972 y 1981. Entre 1984 y 1985, el Subcomité de Diseño de Pavimentos junto con consultores llevó a cabo una revisión de la guía vigente, dando lugar a la publicación de la AASHTO Guide for Design of Pavement Structures en 1986, la cual incorporó importantes variaciones respecto a las versiones anteriores. Finalmente, en 1993 se publicó una nueva versión de la guía, aunque sin modificaciones significativas en lo referente al diseño de pavimentos rígidos. ((AASHTO-93), 2006, pág. 194)

El método AASHTO 93 es uno de los más utilizados y se basa en una ecuación que permite calcular el espesor de la losa de concreto considerando diferentes factores relacionados con el tránsito, las propiedades del concreto y las condiciones del pavimento. (Coronado Iturbide, 2002, pág. 57 Capítulo

$$\log_{10} W_{82} = Z_r S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log_{10} \left(\frac{M_r C_{dx} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{23.24}{(E_c/k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Donde:

W_{82} : Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas⁵, a lo largo del periodo de diseño.

Z_r : Desviación normal estándar.

S_0 : Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D : Espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

ΔPSI : Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t : Índice de serviciabilidad o servicio final.

M_r : Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz)

C_d : Coeficiente de drenaje.

J : Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

E_c : Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa.

K : Módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto

En conjunto, estas variables permiten determinar un espesor adecuado del pavimento que garantice su desempeño durante el periodo de diseño. (Coronado Iturbide, 2002, pág. 51. Capítulo 7)

2.4.7. Variables de diseño

Para el uso del método AASHTO-93 se deberá tener en cuenta las diversas características que conforman de manera unificada esta metodología:

2.4.7.1. Periodo de diseño

Es el tiempo total para el cual se diseña un pavimento en función de la proyección del tránsito y el tiempo que se considere apropiado para que las condiciones del entorno se comiencen a alterar desproporcionadamente. (Coronado Iturbide, 2002, pág. 2. Capítulo 7)

2.4.7.2. Desviación normal estándar

Es una medida del desvío de los datos con respecto al valor medio. Cuanto menor sea el desvío estándar, los datos medidos estarán más próximos al valor medio ((AASHTO-93), 2006, pág. 4).

2.4.7.3. Servicialidad

La servicialidad es una medida de la capacidad del pavimento para brindar una superficie lisa y suave al usuario. Este parámetro varía entre 0 (pavimento intransitable) a 5 (pavimento perfecto). Dicha variable se representa con la siguiente ecuación ((AASHTO-93), 2006, pág. 5)

$$\Delta PSI = P_o - P \quad \text{(Ecuación 4) tomada de (Fonseca, 2002, pág. 265)}$$

Donde:

P_o: Servicialidad Inicial.

P_t: Servicialidad Final.

2.4.7.4. Coeficiente de drenaje

El valor del coeficiente de drenaje está dado por dos variables que son:

- a) La calidad del drenaje, que viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento.
- b) Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. (Coronado Iturbide, 2002, pág. 57 Capítulo 7)

2.4.7.5. Coeficiente de transmisión de carga

Este factor se utiliza para tomar en cuenta la capacidad del pavimento de concreto de transmitir las cargas a través de los extremos de las losas (juntas o grietas), su valor depende de varios factores tales como: tipo de pavimento (en masa reforzado en las juntas, de armadura continua, etc.); el tipo de borde u hombro (de asfalto o de concreto unida al pavimento principal). La colocación de elementos de transmisión de carga (pasadores en los pavimentos con juntas, acero en los armados continuos, etc). (Coronado Iturbide, 2002, pág. 58 Capítulo 7)

2.4.7.6. Módulo de elasticidad de concreto

El Módulo de elasticidad del concreto (E_c) se puede determinar conforme el procedimiento descrito en la norma ASTM C-469, o correlacionarlo con otras características del material como es la resistencia a la compresión. (Coronado Iturbide, 2002, pág. 59 Capítulo 7)

2.4.7.7. Módulo de reacción K

El Módulo de reacción (k) de la superficie en que se apoya el pavimento de concreto ó Módulo efectivo de la subrasante, es el valor de la capacidad soporte del suelo, la cual depende del Módulo de Resiliencia de la subrasante y subbase, así como el Módulo de Elasticidad de la subbase.

2.5. Diseño geométrico

Este se concibe como el proceso de correlación entre sus elementos físicos y las características de operación de los vehículos automotores, mediante el uso de las matemáticas, la física y la geometría. Geométricamente por el proyecto de su eje en planta o alineamiento horizontal, por su perfil o alineamiento vertical y por los elementos integrantes de sus secciones transversales. (SIECA), 2004, pág. 2)

2.5.1. Velocidad de diseño

La velocidad de diseño es la velocidad es asumida debe ser consistente con la topografía, el uso de la tierra adyacente y la clasificación funcional de la carretera. Excepto para calles locales donde los controles de velocidad son incluidos intencionalmente, debe hacerse un esfuerzo para usar una velocidad de diseño que sea práctica para obtener un deseado grado de seguridad, movilidad y eficiencia bajo las restricciones de la calidad del ambiente e impactos económicos, estéticos y sociales o políticos. (SIECA), 2011, pág. 55)

2.5.2. Vehículo de diseño

Es aquel vehículo representativo, cuyas dimensiones físicas y radios de giro mínimos son mayores que la mayoría de los vehículos de su categoría, utilizándose como control para ajustar el diseño geométrico y facilitar la circulación sin restricciones (SIECA, 2011, p. 37)

2.5.3. Alineamiento horizontal

Las principales consideraciones que controlan el diseño del alineamiento horizontal son: categoría de la carretera, topografía, velocidad, distancias de visibilidad, coordinación el perfil, costo de construcción, operación y mantenimiento. Todos estos elementos deben conjugarse para un diseño sea seguro y económico, en armonía con el contorno natural y al mismo tiempo adecuado a su categoría, según la clasificación funcional para diseño. (SIECA), 2011, pág. 81)

2.5.4. Curva horizontal simple

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. (James, 2013, pág. 13)

2.5.5. Peralte

Las tasas máximas de peralte utilizables en las carreteras están controladas por varios factores: condiciones climáticas (frecuencia y cantidad de nieve y hielo); condiciones del terreno (plano o montañoso); tipo de zona (rural o urbana) y frecuencia de vehículos que viajan lento y cuya operación puede ser afectada por tasas altas de peralte. Por la consideración conjunta de estos factores se concluye que no hay ninguna tasa única de peralte. (SIECA), 2011, pág. 83)

2.5.6. Bombeo

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. (SIECA), 2011, pág. 139)

2.5.7. Curvas verticales

En términos generales existen curvas verticales en crestas 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. (SIECA), 2011, pág. 123)

2.5.8. Secciones transversales

La Secciones transversal de una carretera o calle en área urbana, muestra sus características geométricas, según un plano normal vertical a la superficie que contiene el eje de la carretera o calle. Dicha sección transversal varía 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 dependen de las funciones que cumplen y de las características del trazado y del terreno en los puntos considerados. (SIECA), 2011, pág. 137)

CAPITULO III: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Estudio topográfico

La topografía desempeña un papel fundamental en la planificación y ejecución de proyectos de carreteras, ya que proporciona información detallada sobre la configuración del terreno. Este estudio permite identificar elevaciones, pendientes, curvas y otros elementos geográficos cruciales que afectan directamente al diseño de la carretera. La información topográfica también ayuda a determinar la ubicación óptima para la traza de la carretera, minimizando cortes y rellenos innecesarios, lo que a su vez reduce los costos de construcción y el impacto ambiental.

En este capítulo se muestra el resultado del levantamiento topográfico del tramo de 1.33 kilómetros de pavimento rígido, de INCOPSA a MERCOSA ubicado en el distrito VI de la ciudad de Managua, el cual fue proporcionado por la Alcaldía de Managua. La topografía es de mucha importancia porque permite conocer las generalidades del lugar y de esta manera poder realizar el diseño geométrico del tramo.

3.1.2. Metodología

Revisar los resultados del levantamiento topográfico proporcionado por la Alcaldía de Managua, a través del Manual de Revisión de Levantamiento Topográfico del (Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI, 2008) En base a los resultados analizados permitió conocer y obtener una mayor visión de la geometría vial existente, como son los aspectos Altimétricos y Planimétricos.

3.1.3. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico del tramo se realizó con una estación total modelo Sokkia Cx105, el cual inicia en la estación 0+000 (INCOPSA) y finalizo en la estación 1+330 (MERCOSA), las cuales se detallan en la **Tabla 1**, pág. 21

Tabla 1. Coordenadas cartográficas del levantamiento

Sitio	Est.	Este (X) m	Norte (Y) m	Elev. (Z) m
INCOPSA	0+000	590973.406	1241306.640	76.104
MERCOSA	1+330	590774.597	1340057.060	75.454

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. Planimetría

A partir de los datos proporcionados por el levantamiento topográfico, se evidencia un seccionamiento detallado del camino a cada 10 metros de manera constante a lo largo de todo el tramo. Este intervalo permite una representación de alta resolución de la configuración horizontal, incluyendo lecturas precisas en banda derecha, banda izquierda y centro de línea, lo que garantiza una mayor fidelidad en la descripción de la planimetría y los elementos existentes tales como cercos, postes y especies de árboles.

En total, se registraron 3,958 puntos de control, de los cuales se presentan una muestra representativa ver **(Anexos Tablas 63-72, pág. IV-XIII)**. Para fines de ilustración del levantamiento conservado la base de datos completa en forma digital.

3.1.5. Altimetría

El estudio altimétrico establece los lineamientos metodológicos y técnicos necesarios para la toma y procesamiento de datos sobre la altura de la superficie terrestre y referentes geodésicos asociados. Este marco incluye la descripción de los objetivos del levantamiento altimétrico, la definición de la precisión requerida, así como las normas y protocolos de medición, instrumentación y control de calidad. Se especifica la utilización de equipos como niveles digitales, estaciones totales y sistemas GNSS, considerando factores de calibración, condicionantes ambientales y requerimientos para la interpretación de los modelos digitales de elevación. Adicionalmente, los términos delimitan los criterios de planificación y ejecución del proyecto, incluyendo la preparación de georreferencias, procesamiento de datos altimétricos y elaboración de informes técnicos detallados.

3.1.6. Establecimiento de BM

Para el establecimiento de los BM se tomó en cuenta la metodología planteada en el Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos, la cual indica que en el proyecto se instalaron puntos en toda la trayectoria del camino. El control vertical del proyecto se fundamenta en una red de tres Bancos de Marca (BM) de referencia localizados estratégicamente al inicio del tramo, los cuales establecen la cota de partida con alta precisión. Ante la ausencia de BM adicionales a lo largo de la ruta, se implementó una metodología de nivelación geométrica compuesta para el arrastre de cota, estableciendo una serie de puntos auxiliares (AUX) de control. Estos auxiliares funcionan como estaciones de transferencia que permiten prolongar la referencia altimétrica oficial hacia el resto del trayecto, garantizando que el diseño de la rasante mantenga la precisión técnica y el cierre topográfico exigido por las normativas de revisión vigentes.

A continuación, se muestran los instrumentos y equipos empleados por la Alcaldía Municipal de Managua en la ejecución del levantamiento topográfico del tramo INCOPSA a MERCOSA que colinda al barrio Jerusalén.

Figura 3. Instrumentos topográficos

	Estacion total Sokkia Cx105
	Trípode
	Base nivelante con plomada óptica
	Estadia de aluminio telescópica
	Prisma reflector con portaprisma
	Nivel óptico

Fuente: Elaboración propia.

En el informe proporcionado, se muestran los BM'S que conformaron la poligonal base, los cuales se muestran en la **Tabla 2**, pág.23.

Tabla 2. Red de BM y puntos auxiliares

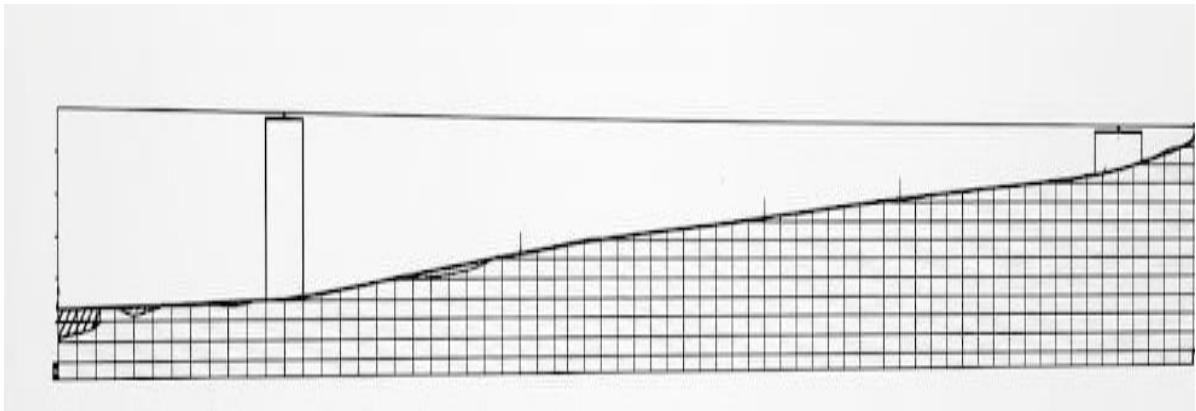
Punto	Z (Elevación)	Y (Norte)	X (Este)	Descripción
1	76.9540	1341297.3830	590971.8030	BM1
2	77.2097	1341224.6167	590974.0070	BM2
3	77.8714	1341134.2937	590945.5859	BM3
4	79.3866	1340840.2575	590914.2594	AUX-2
5	80.2554	1340734.7596	590886.1682	AUX-3
6	83.8227	1340305.8425	590830.7699	AUX-960
7	84.3197	1340178.8436	590810.4600	AUX-928
8	85.9549	1339991.4200	590763.1090	AUX-986

Fuente: Informe de Levantamiento Topográfico del Tramo INCOPSA a MERCOSA.

3.1.7. Perfil longitudinal

Con los resultados del levantamiento topográfico, se pudo formar el perfil longitudinal del tramo en análisis apoyándose en el software Civil 3D 2021, el que se presenta de forma gráfica en la **Figura 4**, pág.23

Figura 4. Perfil longitudinal

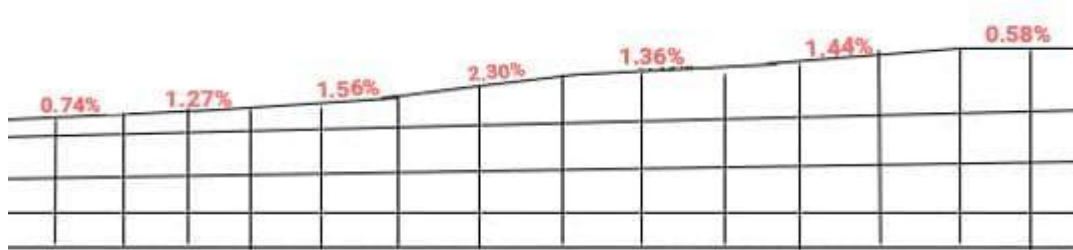


Fuente: Elaboración propia

3.1.8. Pendientes

Para la determinación de la pendiente del terreno natural, se utilizó el perfil longitudinal generado en el software civil 3D, la cual evidencia que la rasante del terreno natural es suave, con pendientes longitudinales predominantes oscilando entre el 0% y el 2%.

Figura 5. Pendientes del terreno del tramo INCOPSA a MERCOSA



Fuente: Elaboración Propia

La topografía del tramo INCOPSA a MERCOSA colindante y acceso principal al barrio Jerusalén, tomando en cuenta la (Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2004) que señala clasificación del tipo de terreno de acuerdo con las pendientes, se considera un terreno llano o plano, ya que sus pendientes máximas se encuentran en el rango menor o igual al 5% (Ver **Tabla 3**, pág. 24).

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

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA. 2004, cap. 4, p.63

3.1.9. Evaluación del levantamiento topográfico

Se presenta la valoración del estudio topográfico correspondiente, referenciando los criterios establecidos por el Manual de Estudios Topográficos del Ministerio de Transporte e Infraestructura, (Ver **Tabla 4**, pág.25). Es importante mencionar, que este levantamiento topográfico fue ejecutado por la alcaldía de Managua y que se proporcionaron una nube de puntos en archivo txt, los cuales fueron importados en el software Civil 3D para el análisis de las condiciones de la topografía del tramo en estudio.

Tabla 4. Primera evaluación del levantamiento topográfico

Tipo de Estudio y elementos de Revisión	Satisface	OBS.
Trabajos Topográficos control de gabinete		
Determinación de Coordenadas del Proceso de Georreferenciación.	Sí	
Transferimiento de datos crudos de campo en archivo.	Sí	Nube de puntos, archivo txt.
Determinación de Coordenadas Geodésicas.	Sí	

Fuente: Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos

Tabla 5. Segunda evaluación del levantamiento topográfico

Tipo de Estudio y elementos de Revisión	Satisface	OBS.
Levantamiento-Medición de la Plan altimetría transversal del camino.		
El Seccionamiento transversal del camino se realiza distanciado conforme lo establecido en los Términos de Referencia.	Sí	Datos mostrados en la tabla 63-72 (Ver anexos, pág. (IV-XIII))
El Seccionamiento transversal del camino se realiza detallando toda la infraestructura existente dentro de la franja del camino establecida en los términos de referencia.	Sí	
El montaje de los datos del seccionamiento transversal se detalla en libreta topográfica de campo con los respectivos esquemas y números de códigos de cada detalle.	Sí	
Durante el levantamiento del seccionamiento se detallan el eje del camino, orillas de borde, cunetas, cercas del derecho de vía y divisiones de propiedades, Nombres de Propietarios, árboles de grosor mayor a los 15 cm, taludes, sondeos de línea, postes del tendido eléctrico y telefónico y demás detalles existentes en la vía.	Sí	
Se está utilizando puntos auxiliares para la toma de puntos incomodos y se realizan controles de llegada en cada punto de la Línea Base en coordenadas y elevación.	Sí	

Fuente: Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos

Tabla 6. Tercera evaluación del levantamiento topográfico

Tipo de Estudio y elementos de Revisión	Satisface	OBS.
Revisión de Planos Topográficos y Resultados del diseño de la Geometría de la Vía.		
Se generan los planos topográficos de la Planimetría.	si	se entregó plano topográfico de planimetría
Revisión de la configuración topográfica de las curvas de nivel a intervalos de 0.50 m.	Sí	
Revisión de la trayectoria geométrica de la vía.	Sí	
Revisión de la existencia de la potencia de servicio de energía y comunicación	si	
Revisión de las existencias de las limitaciones de propiedades terrenos fuera del área del derecho de la vía existente	si	

Fuente: Manual de Revisión de Levantamientos Topográficos

3.2. Estudio de suelo

Los análisis con enfoque a los suelos en las vías son esenciales, ya que brindan información detallada sobre las propiedades químicas, físicas y mecánicas presente en el lecho carretero. De igual manera, posibilitan la identificación de la composición estratigráfica y la naturaleza del subsuelo, incluyendo la determinación de la capacidad de carga y la profundidad de la fundación. Este proceso culmina al revelar los datos necesarios para definir el diseño estructural del pavimento y la proporción exacta de la cimentación requerida para la construcción de la carretera.

3.2.1. Metodología

El análisis geotécnico se basó en información secundaria proporcionada por la empresa ACONSA, proveniente del estudio de sitio del laboratorio DYSCONCSA, debido a la falta de autorización para ensayos en el sitio. A partir de estos registros, se evaluaron las propiedades físicas, mecánicas y químicas del tramo carretero, así como su composición estratigráfica, profundidad de fundación y capacidad de carga; este procedimiento permitió obtener los parámetros de soporte necesarios para el diseño estructural del pavimento y la cimentación de la vía.

3.2.2. Resultados de estudio de suelo

En este capítulo se presentan los resultados del estudio de suelo, efectuado a lo largo de la vía de 1.33 km en el tramo de carretera desde INCOPSA a MERCOSA colindante y acceso principal al barrio Jerusalén del municipio de Managua. Estos datos se obtuvieron de un estudio realizado en el sitio elaborado por el laboratorio **DYSCONCSA** a solicitud de la empresa **ACONSA** para efectos de proyectar la construcción de obras de viabilidad y drenaje. Estos datos nos lo proporciono la empresa **ACONSA**, con el motivo de que no contábamos con autorización para hacer las pruebas en sitio, y tomamos como referencia el estudio de **DYSCONSA**. (Ver anexo página XV-XLVI)

3.2.3. Trabajos de campo

Consiste en tomar muestras del suelo en el tramo de estudio y los bancos de materiales para posteriormente en laboratorio determinar sus propiedades físicas-mecánicas con el fin de conocer su utilidad en el diseño.

3.2.3.1. Sondeo en Línea

Consistió en la ejecución sistemática de perforaciones en el terreno con el objeto de determinar la cantidad, extensión de los diferentes tipos de suelos y la forma como estos están dispuestos en estratos. Los trabajos de campo consistieron en la ejecución de 13 sondeos la cual se obtuvieron 28 muestras semi - alterada, con una profundidad de 1.5 metros y 13 centímetros de diámetro, distribuidos a lo largo del tramo en estudio. En todos los sondeos realizados fueron tomadas muestras de suelos encontrados, las cuales fueron trasladadas al laboratorio para su respectivo análisis.

3.2.4. Ensayos de laboratorio

Para determinar las propiedades físico-mecánicas de los suelos involucrados en el proyecto, se procesó la información técnica suministrada por la empresa DYSCONCSA. El plan de ensayos se diseñó con el fin de evaluar tanto el terreno

natural como los materiales de aporte, siguiendo los estándares de las normativas vigentes.

Los ensayos efectuados en laboratorio a las muestras extraídas de los sondeos en línea y bancos de materiales se presentan en la **Tabla 7**. Cabe mencionar que el porcentaje de humedad exclusivamente se les realizó a los especímenes del suelo del sitio en estudio.

Tabla 7. Ensayes de laboratorio

Ensayes	ASTM	Norma	AASHTO
Granulometría por tamizado	D – 422		T 27 – 88
contenido de humedad	D – 2216		T- 265
Proctor Estándar	D – 698 – 91		T 99 – 90
Proctor modificado	D – 1557		T - 180
CBR	D – 1883 – 73		T – 193

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA

Los materiales del tramo en estudio según el análisis que se realizó manualmente son materiales no plásticos por ende no se efectuó el ensaye de Limites de Atterberg.

Presentados a continuación en la **Tabla 8**, Pág. 29, se muestran los resultados de los ensayos granulométricos y la clasificación de suelos según la metodología AASHTO. Dichos análisis fueron ejecutados por la empresa DYSCONSA, bajo los requerimientos técnicos establecidos y a solicitud expresa de la empresa ACONSA.

Tabla 8. Datos Granulométrico y clasificación de suelo según AASHTO.

ESTACION	SONDEO Nº	MUESTRA Nº	PROFUND. (m)	% QUE PASA POR EL TAMIZ									CLASIFICACION	
				1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	AASHTO (IG)	DESCRIPCION DEL SUELO
0 + 000	1	1	0.00 - 0.85	100	100	97	92	88	78	68	48	23	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena
		2	0.85 - 1.50	100	97	97	96	95	91	83	69	22	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa
0 + 100	2	1	0.00 - 0.30	100	95	94	91	89	81	42	14	3	A - 1 - a(0)	Fragmento de roca, grava y arena
		2	0.30 - 1.50	100	100	100	100	100	97	92	82	37	A - 4 (0)	Suelo limoso
0 + 200	3	1	0.00 - 0.35	100	100	96	93	90	81	72	55	9	A - 3(0)	Material granular arena fina
		2	0.35 - 1.50	100	94	94	93	92	88	82	62	15	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa
0 + 300	4	1	0.00 - 0.35	100	98	98	92	89	78	65	34	9	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena
		2	0.35 - 1.50	100	100	100	100	100	100	99	88	17	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa
0 + 400	5	1	0.00 - 1.50	100	100	98	94	91	81	70	38	13	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena
0 + 500	6	1	0.00 - 0.30	100	99	98	96	94	85	71	43	13	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena
		2	0.30 - 0.90	100	100	100	100	100	99	96	78	24	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa
		3	0.90 - 1.50	100	100	100	100	100	99	97	77	9	A - 3(0)	Material granular arena fina
0 + 600	7	1	0.00 - 0.80	100	100	100	100	99	94	84	52	13	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa

		2	0.80 - 1.50	100	100	100	100	100	99	98	86	8	A - 3(0)	Material granular arena fina
0 + 700	8	1	0.00 - 0.20	100	95	92	88	84	81	76	64	26	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa
		2	0.20 - 1.50	100	100	100	100	99	98	96	81	13	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa
0 + 800	9	1	0.00 - 0.10	100	96	95	94	92	86	78	45	16	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena
		2	0.10 - 1.20	100	100	100	100	99	97	95	92	57	A - 4 (0)	Suelo limoso
		3	1.20 - 1.50	100	100	99	96	94	90	85	71	47	A - 4 (0)	Suelo limoso
0 + 900	10	1	0.00 - 0.40	100	95	93	92	91	88	83	65	19	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa
		2	0.40 - 1.50	100	100	99	98	97	92	88	76	47	A - 4 (0)	Suelo limoso
1 + 000	11	1	0.00 - 0.30	100	100	99	99	98	96	92	77	58	A - 4 (0)	Suelo limoso
		2	0.30 - 0.70	100	93	91	90	90	85	75	51	24	A - 2 - 4(0)	Grava y arena limosa o arcillosa
		3	0.70 - 1.50	100	100	100	95	94	86	67	34	12	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena
1 + 100	12	1	0.00 - 0.20	100	100	100	96	95	91	87	70	8	A - 3(0)	Material granular arena fina
		2	0.20 - 1.50	100	100	99	95	92	83	70	39	12	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena
1 + 200	13	1	0.00 - 0.25	100	100	99	94	91	80	68	38	7	A - 1 - b(0)	Fragmento de roca, grava y arena
		2	0.25 - 1.50	100	100	99	99	98	87	82	64	39	A - 4 (0)	Suelo limoso

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA

3.2.4.1. Clasificación de suelo según AASHTO M – 145

Para la clasificación del suelo se utilizó el método de la AASHTO, este método clasifica a los suelos inorgánicos en siete grupos de A-1 a A-7, de acuerdo con su composición granulométrica, su límite líquido y su índice de plasticidad.

A partir de la información del ensayo de granulometría y conociendo que los materiales ensayados son no plásticos (NP), se procedió a ser uso de la **Tabla 9** Pag.32 de clasificación de suelo en el cual se busca la primera columna de izquierda a derecha que haga que los datos obtenidos de las pruebas de suelo antes mencionado se encuentren dentro de los rangos definidos que establece la AASHTO.

Los datos puntuales que se utilizaron del análisis granulométrico para la clasificación de suelo según AASHTO son los porcentajes pasantes del tamiz N°10, 40 y 200.

Tabla 9. Clasificación de los suelos

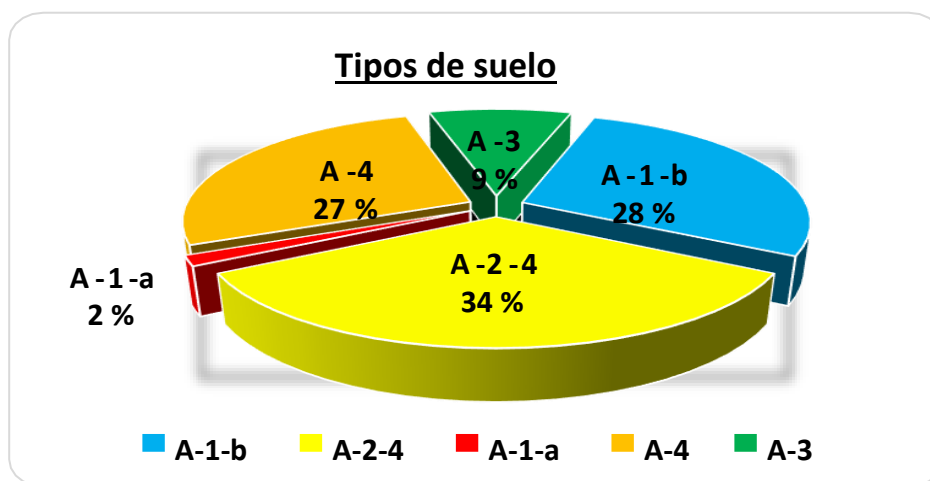
CLASIFICACIÓN AASHTO												
Clasificación general	Suelos Granulares (Max. 35% pasa el tamiz N° 200)							Suelos Limo Arcillas (Más de 35% pasa el tamiz N° 200)				
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6	
% que Pasa el tamiz: N° 10 N° 40 N° 200	50 Max. 30 Max. 15 Max.	50 Max. 25 Max.	51 Min. 10 Max.	35 Max.	35 Max.	35 Max.	35 Max.	36 Min.	36 Min.	36 Min.	36 Min.	
Características del material que pasa el tamiz N° 40	6 Max.		N.P.	40 Max.	41 Min.	40 Max.	41 Min.	40 Max.	41 Min. 10 Max.	40 Max.	41 Min.	
Límite Líquido (LL)				10 Max.	10 Max.	11 Min.	11 Min.	10 Max.		11 Min.		
Índice de Plasticidad (IP)												
Índice de Grupo	0		0	0		4 Max.		8 Max.	12 Max.	16 Max.	20 Max.	
Principales materiales constituyentes	Fragmentos de piedra, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y Arenas Limosas y Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
Calidad como terreno de fundación	Excelente a bueno					Regular a malo						
PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACION: Con los datos requeridos y disponibles de prueba, procédase de izquierda a derecha en la carta y, por proceso de eliminación se encontrará el grupo correcto. El primer grupo de la izquierda, en el cual coinciden los datos de las pruebas, será la clasificación correcta. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que el LL menos 30. (IP≤LL-30) El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que el LL menos 30.(IP>LL-30)												
Índice de Grupo (IG): $(F_{200} - 35) [(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0,01(F_{200} - 15) (IP - 10)]$; F_{200} : % que pasa el tamiz N° 200 Índice de Grupo (IG): $0,01(F_{200} - 15)(IP - 10)$; índice de Grupo para los suelos del subgrupo A – 2 – 6 y A – 2 – 7												

Fuente: Elaboración propia

3.2.4.2. Análisis de los resultados de los ensayos granulométricos

Las muestras extraídas de los sondeos manuales se clasifican en 5 tipos de suelo según AASHTO y de acuerdo con su granulometría como se muestra en la Figura 6, además se puede observar el porcentaje que representa cada tipo de suelo.

Figura 6. Tipos de suelo y su porcentaje equivalente



Fuente: Elaboración propia

De la figura 6 se concluye que el tipo de suelo que más predomina en el sitio en estudio es el A-2-4 equivalente a 34% y A-1-b (28%).

En base a los resultados obtenidos del ensaye granulométrico y según la tabla de clasificación AASHTO, se concluye que, de los 28 estratos recolectados en los sondeos, 21 son suelos granulares y se encuentran en los grupos A-3, A-1- b y A-2-4. Estos son aquellos que tienen 35% o menos del material fino. El principal material constituyente de estos tipos de suelo son gravas y arenas. Su calidad como subrasante es de excelente a buena.

También se encontraron 6 muestra que son del tipo de suelo A-4, estos son suelos limosos y no plásticos, contiene un 35 % o más de material fino que pasa por el tamiz No 200, su calidad como subrasante es de regular a malo.

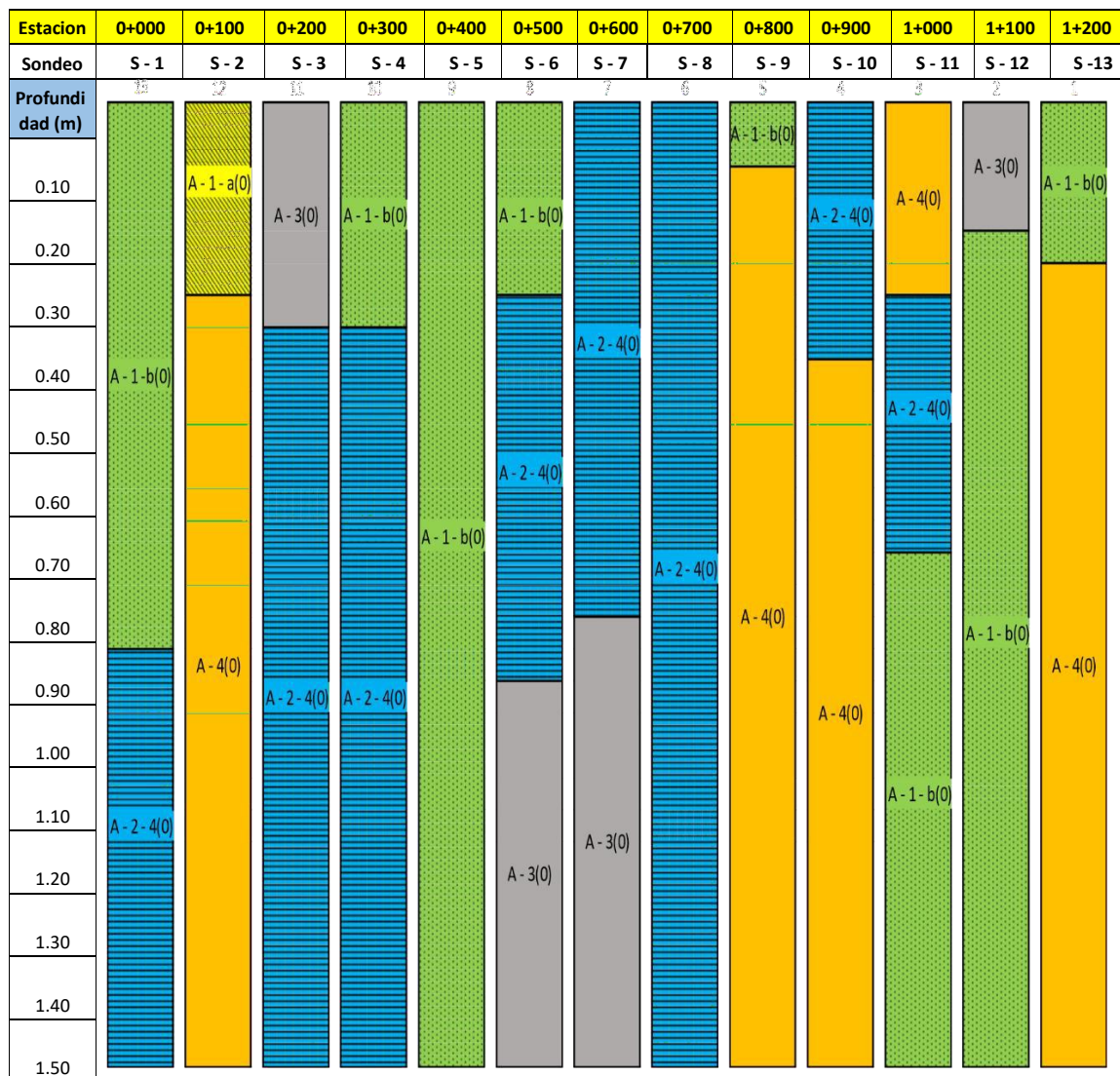
El último tipo de suelo es el A-1-a, se encontró en el sondeo N° 2 con espesor de 0.30 m, su calidad como subrasante es de excelente a buena. Debido a que con

estas características únicamente se obtuvo un estrato, no se contó con suficiente material para la realización de los demás ensayos

3.2.4.3. Perfil Estratigráfico

Para representar los tipos de suelos y su profundidad se graficó la secuencia estratigráfica del sitio en estudio.

Figura 7. Perfil Estratigráfico



Fuente: Elaboración propia

3.2.4.4. Análisis de contenido de humedad

Para poder determinar del contenido de humedad de las muestras analizadas, se aplica la ecuación 5, la cual relaciona el peso de la muestra húmeda con su peso seco tras la eliminación del agua.

$$w (\%) = \frac{(W_{\text{tara}} + W_{\text{suelo húmedo}}) - (W_{\text{tara}} + W_{\text{suelo seco}})}{(W_{\text{tara}} + W_{\text{suelo seco}}) - W_{\text{tara}}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

W = peso

Los resultados del ensaye de contenido de humedad se encuentran en **Tabla 10** pág.36, donde se observa el porcentaje humedad de cada muestra extraída de la línea de sondeo realizada en el tramo de estudio.

Al analizar los resultados obtenidos del ensayo, se aprecia que el porcentaje de humedad de los diferentes tipos de suelo es variable debido a la composición y características de estos, ejemplo de ello es que los suelos limosos son los que presentan mayor contenido de agua en comparación con los suelos granulares, esto se debe a que los materiales limosos retienen el agua por más tiempo.

Tabla 10. Resultado del Ensaye Contenido de Humedad

No. de sondeo	Estación	Profundidad (m)	No. de Muestra	Identificación de Tara	Peso de Tara (gr)	Peso de Tara + Material Húmedo (gr)	Peso de Tara + Material Seco (gr)	Peso de Material Húmedo W _H (gr)	Peso de Material Seco W _S (gr)	% de HUMEDAD
1	0 + 000	0.00 - 0.85	M-1	G - 64	48.70	248.20	225.00	199.50	176.30	13.16
		0.85 - 1.50	M-2	R - 100	54.20	286.20	263.00	232.00	208.80	11.11
2	0 + 100	0.00 - 0.30	M-1	JG1	35.60	321.30	303.50	285.70	267.90	6.64
		0.30 - 1.50	M-2	PI - 03	48.40	281.00	240.30	232.60	191.90	21.21
3	0 + 200	0.00 - 0.35	M-1	B - 50	41.40	381.00	374.60	339.60	333.20	1.92
		0.35 - 1.50	M-2	C - 175	53.90	366.20	351.90	312.30	298.00	4.80
4	0 + 300	0.00 - 0.35	M-1	W - 1	36.90	387.10	368.50	350.20	331.60	5.61
		0.35 - 1.50	M-2	B - 12 - 1	47.50	295.70	263.70	248.20	216.20	14.80
5	0 + 400	0.00 - 1.50	M-1	A - 70	41.30	284.60	264.60	243.30	223.30	8.96
6	0 + 500	0.00 - 0.30	M-1	A - 100	32.00	292.40	266.20	260.40	234.20	11.19
		0.30 - 0.90	M-2	R - 30	53.90	289.00	246.60	235.10	192.70	22.00
		0.90 - 1.50	M-3	E - YO	47.30	294.30	280.20	247.00	232.90	6.05
7	0 + 600	0.00 - 0.80	M-1	32 - A	54.10	292.40	279.80	238.30	225.70	5.58
		0.80 - 1.50	M-2	CH - 13	32.20	273.70	239.90	241.50	207.70	16.27
8	0 + 700	0.00 - 0.20	M-1	P - 12	54.20	297.10	255.30	242.90	201.10	20.79
		0.20 - 1.50	M-2	D - 33	53.60	322.80	303.90	269.20	250.30	7.55

9	0 + 800	0.00 - 0.10	M-1	B - 14	27.60	289.00	273.30	261.40	245.70	6.39
		0.10 - 1.20	M-2	A - 211	29.30	210.90	186.50	181.60	157.20	15.52
		1.20 - 1.50	M-3	K - 30	41.70	290.20	245.80	248.50	204.10	21.75
10	0 + 900	0.00 - 0.40	M-1	A - 12	41.70	290.20	265.80	248.50	224.10	10.89
		0.40 - 1.50	M-2	A - 03	41.20	246.50	204.80	205.30	163.60	25.49
11	1 + 000	0.00 - 0.30	M-1	A - 07	39.90	249.00	201.20	209.10	161.30	29.63
		0.30 - 0.70	M-2	C -180	52.70	291.40	253.90	238.70	201.20	18.64
		0.70 - 1.50	M-3	T - 1	28.60	339.70	320.20	311.10	291.60	6.69
12	1 + 100	0.00 - 0.20	M-1	CH - M	41.60	316.30	298.20	274.70	256.60	7.05
		0.20 - 1.50	M-2	A - 04	41.70	334.20	310.30	292.50	268.60	8.90
13	1 + 200	0.00 - 0.25	M-1	I - M - R	32.40	286.90	272.20	254.50	239.80	6.13
		0.25 - 1.50	M-2	SR - G	39.90	245.20	191.20	205.30	151.30	35.69

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA.

3.2.4.5. Ensayo de Compactación Proctor

Las especificaciones que se deben considerar para la realización de los ensayos Proctor según la norma AASHTO se encuentran en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Especificaciones para los Ensayes Proctor

Compactación	PROCTOR ESTANDAR (AASHTO T-99)				PROCTOR MODIFICADO (AASHTO T-180)			
Método	A	B	C	D	A	B	C	D
Volumen del molde (Cm ³)	943.3	2,124	943.3	2,124	943.3	2,124	943.3	2,124
Diámetro del molde(cm)	10.16	15.24	10.16	15.24	10.16	15.24	10.16	15.24
Altura del molde(cm)	11.64				11.64			
Altura de collarín(cm)	5.08				5.08			
Peso del pisón(kg)	2.5				4.54			
Altura de caída del pisón(cm)	30.48				45.7			
Numero de capas	3				5			
Golpes por capa	25	56	25	56	25	56	25	56
Energía de comp. (kg-cm/cm ³)	6.06	6.03	6.06	6.03	16.49	16.42	16.49	16.42
Tamaño de muestra de prueba (kg)	3	7	5	11	3	7	5	11
Material para compactar	Pasa tamiz No. 4		Pasa tamiz No. 3/4"		Pasa tamiz No. 4		Pasa tamiz No. 3/4"	
Granulometría	40% o menos retenido en tamiz No. 4(Met.B)		30% o menos retenido en tamiz No. 4(Met.D)		40% o menos retenido en tamiz No. 4(Met.B)		30% o menos retenido en tamiz No. 4(Met.D)	

Fuente: Norma de Laboratorio AASHTO (Adaptado por el autor)

3.2.4.5.1. Proctor Estándar

El método usado para el diseño de la subrasante es AASHTO T - 99 el cual indica de acuerdo con la granulometría del material ensayado, utilizar el método B cuando el 40 % o menos del material son retenidos en el tamiz No. 4.

Las siguientes ecuaciones son para determinar los valores correspondientes al ensaye Proctor estándar.

(Ecuación 6) Contenido de Humedad (**%W**):

$$\%W = \frac{W_{\text{Humedo}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{seco}}} \times 100$$

(Ecuación.7) Densidad Húmeda (**γ_h**):

$$\%W = \frac{(W_{\text{material humedo}} + W_{\text{molde del cilindro}}) - (W_{\text{molde del cilindro}})}{\text{Volumen del cilindro}}$$

(Ecuación. 8) densidad Seca (**γ_d**):

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \left(\frac{\% \text{Humedad}}{100} \right)}$$

A continuación, se muestra en la **Tabla 12** Pág. 40 los resultados que se obtuvieron del ensayo Proctor Estándar realizado al tipo de suelo A - 1 - b:

Tabla 12. Tabla de datos (Proctor Estándar)

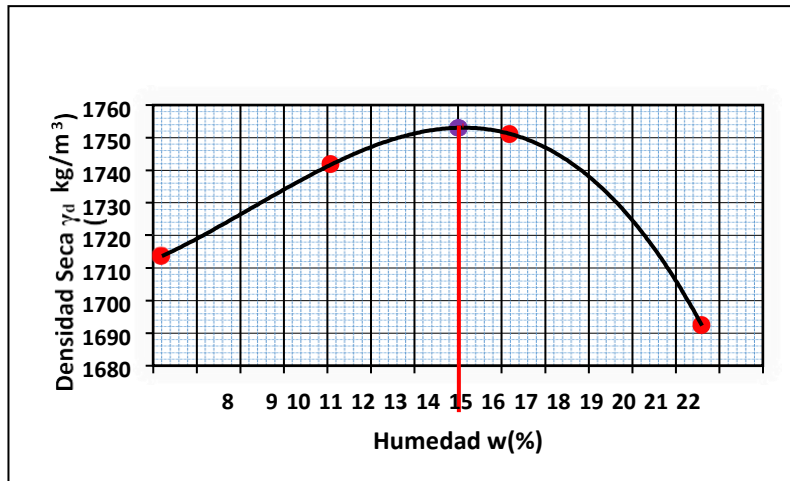
TIPO DE SUELO	A-1-b (0)			
ESPECIMEN	1	2	3	4
% de Agua Propuesta	8	12	16	20
Cantidad de Agua (ml)	360	540	720	900
Volumen del Cilindro (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Peso del Molde Cilíndrico (Kg)	6.616	6.616	6.616	6.616
Peso del Mater. + Molde (Kg)	10.511	10.718	10.888	10.902
Peso del Material (Kg)	3.895	4.102	4.272	4.286
Código de Tara	IP	A - 03	A - 11	K - 30
Peso de Tara (gr)	31.4	41.0	41.1	41.5
Peso Húmedo + Tara (gr)	323.1	322.6	403.1	446.6
Peso Seco + Tara (gr)	300.9	292.1	352.7	377.4
Peso de Material Húmedo (gr)	291.7	281.6	362.0	405.1
Peso de Material Seco (gr)	269.5	251.1	311.6	335.9
% de Humedad	8.2	12.1	16.2	20.6
Peso Volumétrico Húmedo γ_h (Kg/m ³)	1,854.8	1,953.3	2,034.3	2,041.0
Peso Volumétrico Seco γ_d (Kg/m ³)	1,713.6	1,741.8	1,751.1	1,692.3
Densidad Seca Maxima γ_{dmax} (Kg/m ³)	1,753			
Humedad Optimo (%w _{opt})	15			

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA

Luego se grafican los pesos volumétricos seco en las ordenadas (Y) y los contenidos de humedad en las abscisas (X) para obtener la curva de compactación y de ahí tomar el valor del peso volumétrico seco máximo y la humedad optima los cuales corresponden al punto más alto de la curva, estos valores serán de utilidad para el ensaye de CBR.

En Figura 8 pág. 41 se presenta la curva de compactación para el tipo de suelo A-1-b (0).

Figura 8. Curva de compactación suelo A-1-b (0)



Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA.

En la figura 8 se observa que a medida que aumenta el porcentaje de humedad incrementa la densidad seca hasta que la curva llega a su punto más alto y que para el tipo de suelo A - 1 - b (0) su densidad seca máxima es de **1,753 kg/m³** y el porcentaje de humedad óptimo es el **15%** del peso del material.

Los resultados y graficas de las muestras restantes se encuentran en anexo (**ver anexos, pág. XV-XVII Tablas 73-75 y Figura 30-32**).

3.2.4.6. Relación de soporte de california (C.B.R)

El método CBR para diseño de pavimentos, fue uno de los primeros en utilizarse y se basa principalmente en que a menor valor de CBR de la subrasante es necesario colocar mayores espesores en la estructura de pavimento para protegerlo de la frecuencia de las cargas del tránsito. (Iturbide, 2002, Cap.4, p.5).

En laboratorio se registraron las lecturas de carga a diferentes niveles de penetración. (**Ver anexos, pág. XVIII Tabla 76**). Los resultados de estrés (Carga) igual a la que producirá al futuro pavimento, frente a la profundidad de penetración se grafican para determinar el CBR para cada espécimen. Para cada muestra de suelo, se calcula el valor de CBR para penetración del pistón de (0.1") (2.5mm) y (0.2") (5.0mm) con las siguientes expresiones:

$$CBR\ 0.1" = \frac{Carga\ unitaria\ del\ ensayo}{Carga\ unitaria\ patron} \times 100 \quad (\text{Ecuación. 9})$$

$$CBR\ 0.2" = \frac{Carga\ unitaria\ del\ ensayo}{Carga\ unitaria\ patron} \times 100 \quad (\text{Ecuación. 10})$$

Los valores de la carga unitaria patrón que deben utilizarse para las ecuaciones Ec.9 y Ec.10 se encuentran en **Tabla 13**.

Tablas 13. Valores de la Carga Unitaria Patrón

Penetración			Esfuerzo Unitario Patrón		
Milímetros (mm)	Centímetros (cm)	Pulgadas (Pulg)	Kg/cm ³	Mpa	PSI
2.50	0.250	0.10	70.31	6.90	1,000
5.00	0.500	0.20	105.46	10.30	1,500
7.50	0.750	0.30	133.58	13.00	1,900
10.00	0.100	0.40	161.71	16.00	2,300
12.70	1.270	0.50	182.80	18.00	2,600

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA.

El ensaye CBR se realizó a cuatro tipos de suelo encontrados según la clasificación de la AASHTO, con el fin de conocer la capacidad de soporte del suelo al 95% de compactación. Los resultados que se obtuvieron de la prueba de CBR al 95% de compactación para cada tipo de suelo se presentan en la **Tabla 14**:

Tabla 14. Determinación del CBR en laboratorio

Clasificación del suelo según AASHTO	C.B.R al 95%
A – 4	7.8
A - 2 – 4	17.5
A - 1 – b	23.7
A – 3	30.1

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA.

Los datos del ensayo Relación de Soporte de California, realizado a los cuatro tipos de suelo se muestran en **anexos, pág. XIX- XXXV, Tablas 77-92**

3.2.4.7. Estudio de los materiales de bancos de préstamo.

Los materiales de suelo a usarse en el tramo para la subbase (si lo amerita) provienen de dos bancos de materiales de préstamo, los cuales son el “Banco Los Martínez” (material selecto) ubicado al costado Oeste del Barrio las Brisas y el banco “La suburbana” (escoria volcánica u hormigón rojo) ubicado en la Pista Suburbana. Al igual que en la subrasante se inició los estudios de banco con granulometría hasta llegar a CBR con la diferencia de que se realizó el Proctor modificado.

3.2.4.7.1. Análisis granulométrico de los bancos de materiales “Los Martínez”

En la **Tabla 15** se presentan los resultados obtenidos del ensaye granulométrico (% que pasan los tamices) del material selecto, además se comparan estos resultados con la Norma NIC 2000 para conocer si el material puede ser utilizado para subbase.

Tabla 15. Granulometría banco materiales “Los Martínez”

Tamaño del tamiz		Material selecto (% que pasa)	Porcentaje en peso que pasa el tamiz designado					
			Designación de la graduación					
			A	B	C	D	E	F
			Sub-base	Sub-base	base	base	base	superficie
63 mm	2 1/2"	100%	100 (1)					
50 mm	2"	100%	97-100 (1)	100 (1)	100 (1)			
37.5 mm	1 1/2"	100%		97-100 (1)	97-100 (1)	100 (1)		
25.0 mm	1"	99%	65-79(6)			97-100	100 (1)	100 (1)
19.0 mm	3/4"	98%			67-81(6)		97-100	97-100 (1)
12.5 mm	1/2"	95%	45-59(7)					
9.5 mm	3/8"	93%				56-70(7)	69-79(6)	
4.75 mm	No.4	78%	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(8)	47-59(7)	41-71(7)
425 µm	No.40	25%	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)	12-28(5)
75 µm	No.200	7%	4.0-8.0(3)	0.0-12.0(4)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	9-16(4)

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA, bajo estándares de la norma NIC-2000, Sec103.10. Págs. 520-521

De la **Tabla 15** se concluye que los % que pasan los tamices no cumple con las especificaciones de graduación que exige la NIC-2000, para los materiales a

emplearse como agregados de subbase. En **anexos, pág. XXXVIII, Tabla 93** se presenta el análisis granulométrico.

3.2.4.7.2. Análisis granulométrico de los bancos de materiales “La suburbana”

En la **Tabla 16**, se indican los resultados obtenidos del ensaye granulométrico (% que pasan los tamices) del hormigón rojo, además se comparan estos resultados con la Norma NIC 2000 para conocer si el material puede ser utilizado para subbase.

Tabla 16. Granulometría banco materiales “La Suburbana”

Tamaño del tamiz		Hormigón (% que pasa)	Porcentaje en peso que pasa el tamiz designado					
			Designación de la graduación					
			A	B	C	D	E	F
			Sub-base	Sub-base	base	base	base	superficie
63mm	2 1/2"	100%	100 (1)					
50mm	2"	100%	97-100 (1)	100 (1)	100 (1)			
37.5mm	1 1/2"	100%		97-100 (1)	97-100 (1)	100 (1)		
25.0mm	1"	98%	65-79(6)			97-100 (1)	100 (1)	100 (1)
19.0mm	3/4"	96%			67-81(6)		97-100 (1)	97-100 (1)
12.5mm	1/2"	91%	45-59(7)					
9.5mm	3/8"	82%				56-70(7)	69-79(6)	
4.75mm	No.4	56%	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(8)	47-59(7)	41-71(7)
425um	No.40	8%	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)	12-28(5)
75um	No.200	2%	4.0-8.0(3)	0.0-12.0(4)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	4.0-8.0(3)	9-16(4)

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA, bajo estándares de la norma NIC-2000, Sec103.10. Págs. 520-521

Puede observarse que el material ensayado cumple con las especificaciones de graduación que exige la NIC-2000 como material a emplearse como agregado de subbase tipo B. En **anexos, pág. XXXIX, Tabla 94** se presenta el análisis granulométrico.

3.2.4.7.3. Mezcla de los materiales de banco

A través del ensaye de granulometría realizado a ambos bancos, se determinó que solo uno de ellos cumple por sí solo, para ser utilizado como material de subbase, por lo que, para mejorar la calidad del material se realizó la mezcla de ambos la cual será distribuida de la siguiente manera: 50% de material selecto y 50% de hormigón rojo. EL análisis granulométrico de la mezcla da como resultado una buena solución para la utilización como material de subbase.

En **anexos, pág. XL Tabla 95** se presenta de manera detallada los datos del ensaye de granulometría, que se obtuvieron de la mezcla de los materiales de banco.

Tabla 17. Granulometría de la mezcla de ambos materiales

Tamaño del tamiz		Mezcla (% que pasa)	Porcentaje en peso que pasa el tamiz designado					
			Designación de la graduación					
			A	B	C	D	E	F
			Sub-base	Sub-base	base	base	base	superficie
63mm	2 1/2"	100%	100 (1)					
50mm	2"	100%	97-100(1)	100 (1)	100 (1)			
37.5mm	1 1/2"	100%		97-100 (1)	97-100 (1)	100 (1)		
25.0mm	1"	99%	65-79(6)			97-100 (1)	100 (1)	100 (1)
19.0mm	3/4"	98%			67-81(6)		97-100 (1)	97-100 (1)
12.5mm	1/2"	96%	45-59(7)					
9.5mm	3/8"	91%				56-70(7)	69-79(6)	
4.75mm	No.4	73%	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(8)	47-59(7)	41-71(7)
425um	No.40	22%	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)	12-28(5)
75um	No.200	6%	4.0-8.0(3)	0.0- 12.0(4)	4.0- 8.0(3)	4.0- 8.0(3)	4.0- 8.0(3)	9-16(4)

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA, bajo estándares de la norma NIC-2000, Sec103.10. Págs. 520-521

La mezcla de materiales de ambos bancos cumple con los requisitos de graduación exigidos para el uso de materiales en subbase tipo B, como se puede observar en la **Tabla 17**.

En la **Tabla 18**, pág. 46 se presenta la clasificación de suelo según AASHTO de los materiales de bancos ensayados.

Tabla 18. Clasificación de suelos de banco.

Suelos	% que pasa (Tamiz N° 200)	Clasificación
hormigón rojo	2	A-1-a (0)
Los Martínez	7	A-1-b (0)
Mezcla 50-50	6	A-1-b (0)

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA

Según la clasificación de suelo AASHTO, el hormigón rojo es tipo de suelo A-1-a, el material selecto suelo A-1-b y la mezcla 50% - 50% A-1-b. El porcentaje que pasa por el tamiz No. 200 < 35% lo que significa que son materiales granulares.

3.2.4.8. Límites de Atterberg y pesos volumétricos de la mezcla.

En **Tabla 19** se presenta los pesos volumétricos de la mezcla de los materiales de banco, esto con el fin de presentar los datos necesarios para la determinación del volumen tanto de acarreo de materiales como el corte de estos que se ejecutarán en cada uno de los bancos correspondientes, estos datos serán útil al momento de ejecutar la obra en el acarreo de los materiales desde su banco.

Cabe recalcar que los materiales de banco ensayados son **no plásticos**, por ello su índice de plasticidad es cero como se indica en la **Tabla 19**.

Tabla 19. Límites de Atterberg y pesos volumétricos de la mezcla.

		SUBBASE
Límite líquido	NP	35 Max
Índice de plasticidad	NP	12 Max
Índice de grupo	0	
Peso volumétrico seco suelto (kg/m ³)	1,310.40	
Peso volumétrico seco compacto (kg/m ³)	1,455.30	

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA.

Según la NIC 2000 para que un material estabilizado mecánicamente pueda ser utilizado como subbase debe cumplir que el límite líquido sea 35 máximo y índice de plasticidad 12 máximo. (p.530) Las mezclas de materiales de banco son no plásticos, por ende, cumplen con la indicado en la norma (NIC, 2000), es decir estos materiales pueden ser utilizado como subbase.

3.2.4.8.1. Proctor modificado de la mezcla 50% - 50%

Se utilizó Proctor modificado para la mezcla de los bancos de materiales, ya que es el material que se pretende utilizar en el diseño de la subbase si se requiere.

Los valores obtenidos del ensaye Proctor modificado son densidad seca máxima 1,736 kg/m³ y humedad óptima 12.80 %. Estos valores representan la característica adecuada del suelo para obtener un eficiente grado de compactación. **(Ver anexos, Tabla 96 pág. XLI)**

3.2.4.8.2 Relación de soporte de California (CBR)

Para este ensaye se utilizó la humedad óptima (**12.80%**) encontrada en el ensaye de Proctor modificado realizado a la mezcla de los bancos.

Tabla 20: Resultado del CBR de la mezcla de los bancos

% de compactación	Valor de CBR %	Densidad Seca Máxima (kg/m ³)	Humedad Óptima %
90	35.5	1,736	12.80
95	61.5	1,736	12.80
100	86	1,736	12.80

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA.

La combinación de ambos materiales de bancos en iguales proporciones dio como resultado un valor de CBR de **61.5%** al **95%** de compactación. Los datos y resultados del ensaye de CBR, además las gráficas obtenidas de la mezcla de los materiales de banco se presentan en **Anexos, pág. XLII-XLVI**.

La mezcla de los materiales de banco al 95% de compactación se ajusta para ser utilizado como fuente de material para capa de subbase, debido a que su CBR es de 61.5% que es mayor al 40% el cual es el mínimo permitido por la NIC 2000. (NIC 2000, sección 1003.23, p.530).

3.2.5. Selección del CBR de diseño

Se presentará el cálculo para el CBR de diseño, la cual la conforman cuatro tipos de suelo que son el A - 4, A - 2 - 4, A - 1- b, A - 3.

Tabla 21. Clasificación de suelo y CBR de la subrasante

Estación	Suelo Subrasante (original)	
	C clasificación	C B R (%)
0 + 000	A-1-b	23.7
0 + 100	A-1-b	23.7
0 + 200	A-3	30.1
0 + 300	A-1-b	23.7
0 + 400	A-1-b	23.7
0 + 500	A-1-b	23.7
0 + 600	A-2-4	17.5
0 + 700	A-2-4	17.5
0 + 800	A-4	7.8
0 + 900	A-2-4	17.5
1 + 000	A-4	7.8
1 + 100	A-3	30.1
1 + 200	A-1-b	23.7

Fuente: Reporte de ensayo de suelos de la empresa DYSCONCSA, proporcionado por la empresa ACONSA.

El criterio que se utiliza para seleccionar el CBR adecuado es el establecido por Instituto de Asfalto que recomienda tomar un valor total que es el 60%,75% o el 87.5% de los valores individuales que sean mayores o iguales que él, de acuerdo

con el tránsito que se espera que circule por el pavimento, tal como se indica en la **Tabla 22**

Tabla 22. Criterio del Instituto de Asfalto para determinar CBR de Diseño.

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

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 1,993. Pág.10. Cap.2

Una metodología ampliamente reconocida para calcular la resistencia de diseño se basa en las directrices establecidas por el Instituto del Asfalto. Este enfoque sugiere seleccionar un percentil específico, según el nivel de tráfico proyectado para la superficie del pavimento, como se detalla en la **Tabla 22** pág. 49 se fijó en el percentil de 87.5% porque el ESAL de diseño proyectado para el tramo en estudio fue de 2,666,076.00 Kips, como se puede observar en la **Tabla 43** pág. 73

En la **Tabla 23** se reflejan los valores de CBR del suelo de la subrasante original, se ordenan de menor a mayor y se determina el número y el porcentaje de valores igual o mayores de cada uno.

Tabla 23. Valores para determinar CBR de Diseño de subrasante original.

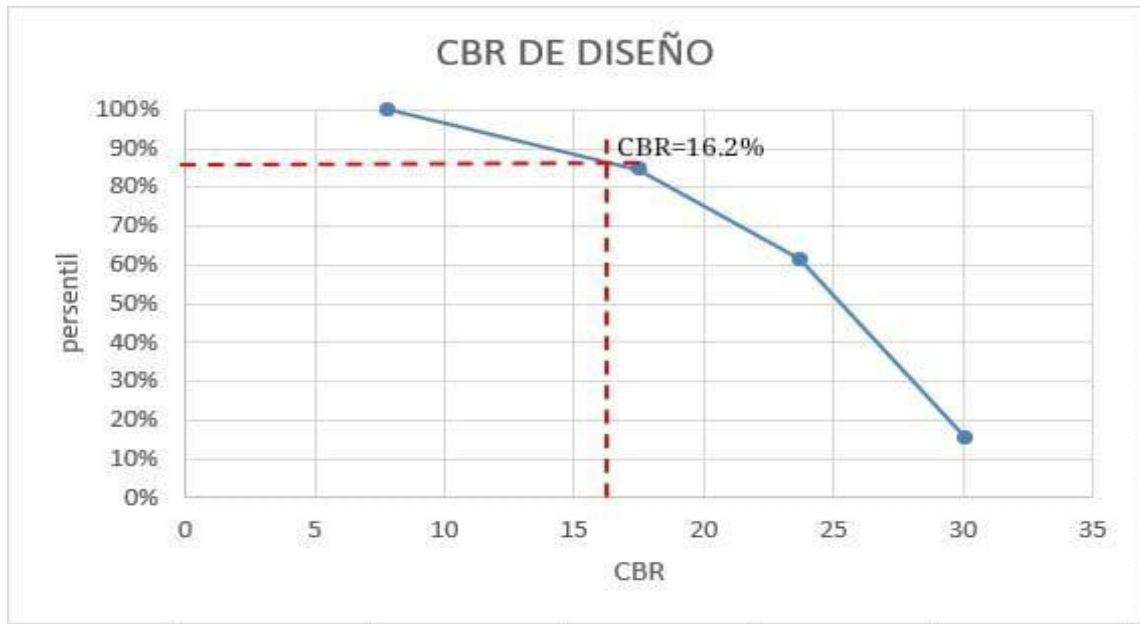
Tipo de suelo	CBR	Frecuencia	N° de valores iguales o mayores	% de valores iguales o mayores
A - 4	7.8	2	13	100%
A - 2 - 4	17.5	3	11	84.62%
A - 1 - b	23.7	6	8	61.54%
A - 3	30.1	2	2	15.38%
		$\Sigma = 13$		

Fuente: Elaboración propia

Se procede a realizar lo siguiente pasos para determinar el CBR de Diseño:

- Con los valores obtenidos del CBR y el porcentaje de valores iguales o mayores se realizará la gráfica para la determinación del CBR de diseño para la subrasante original.
- De acuerdo con la curva resultante se determinará el CBR para el percentil elegido que para este caso es el 87.5% de acuerdo con la **Tabla. 22** pág. 49.

Figura 9. Determinación del CBR de Diseño de subrasante original



Fuente: Elaboración propia

3.2.6. Resumen de estudio de suelo

En la **Tabla 24 y 25** pág. 51 se presenta un resumen de los tipos de suelos identificados en la zona del proyecto, detallando las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante mediante la clasificación de la AASHTO la cual muestra las relaciones de humedad-densidad y sus valores de capacidad de soporte y CBR. Así mismo se integran los resultados de la evaluación de los bancos de préstamo (Los Martines y La Suburbana).

Tabla 24. Propiedades física y mecánica de los suelos analizados

Clasificación AASHTO	Descripción del suelo	Calidad de terreno	Clasificación SUCS	Densidad Máxima seca(kg/m³)	Humedad Óptima (%)	CBR 90%	CBR 95%	CBR 100%
A-1-b	fragmento de roca grava y arena	Excelente a bueno	SM	1,753	15	1.70%	23.70%	50.60%
A-4	suelo limoso	Regular	ML	1,389	27	2%	7.80%	23.40%
A-2-4(0)	Grava y arena limosa o arcilla	Excelente a bueno	SM	1,634.10	16.75	5.30%	17.50%	44.60%
A-3	Material granular arena fina	Excelente a bueno	SP	1,702.00	16.6	16%	30.10%	48.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Resultados de materiales de banco Los martines y La suburbana

Banco	Material	Clasificación	CBR 90%	CBR 95%	CBR 100%	clasificación (subbase tipo A)	clasificación (subbase tipo B)
Material de banco "los martines"	Selecto	A-1-a (0)	N/E	N/E	N%E	X	X
Material de banco "suburbana"	hormigón rojo	A-1-b (0)	N/E	N/E	N/E		CUMPLE
Mezcla 50-50	Selecto - Hormigón rojo	A-1-b (0)	35.50%	61.50%	86%		CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

3.3. Estudio de tránsito

Los análisis de tránsito desempeñan un papel crucial en el diseño de infraestructuras de transporte, especialmente en la planificación de estructuras de rodamiento como pavimentos. Estos estudios cuantifican el volumen, composición y distribución del tráfico, proporcionando una visión integral de la carga que soportará la vía. Además, se evalúan los patrones de carga, considerando tanto las cargas axiales como laterales, así como los efectos del clima.

Proyectar el crecimiento futuro del tráfico es esencial para ajustar el diseño a las demandas venideras. Asimismo, se examina el estado actual del pavimento para determinar la necesidad de rehabilitaciones. Los datos recopilados permiten seleccionar materiales y dimensionar la estructura del pavimento de manera adecuada. La seguridad vial también es una prioridad, considerando velocidades de diseño, visibilidad y señalización.

Además de garantizar la durabilidad y seguridad, estos análisis también abordan aspectos ambientales, evaluando el impacto del tráfico en emisiones y consumo de combustible. En resumen, la información derivada de los estudios de tránsito es esencial para un diseño integral y sostenible de las estructuras viales, asegurando su eficacia tanto en el presente como en el futuro.

3.3.1. Metodología

La metodología empleada consistió en un aforo vehicular manual, realizado durante 3 días consecutivo (lunes, martes, miércoles), del 21 al 23 de julio de año 2025, cubriendo un periodo de 12 horas continuas por día (6 a.m. a 6 p.m.), utilizando el formato estándar de clasificación vehicular establecido por la división de planificación vial de Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) **(Ver anexo, Pág. XLVIII, Figura 66)**

3.3.2. Ubicación de la estación de conteo

El levantamiento de datos de campo se realizó en el tramo comprendido entre la empresa INCOPSA a la empresa MERCOSA colindante y acceso principal al barrio Jerusalén del distrito IV de la ciudad de Managua, codificado por el MTI como tramo NIC-7, ECD, 701B: Las Banderas – Emp Teustepe. La cual se ubicó al inicio del tramo en la estación 0+000 ya que esta vía se usa como alterna para salir a la carretera principal además sirve como ruta de transporte de los barrios colindantes. A continuación, en la Figura 10, se presenta la ubicación exacta del punto de inicio establecido para la estación de conteo de tránsito vehicular.

Figura 10. Ubicación de la estación de conteo de aforo manual



Fuente: Elaboración propia

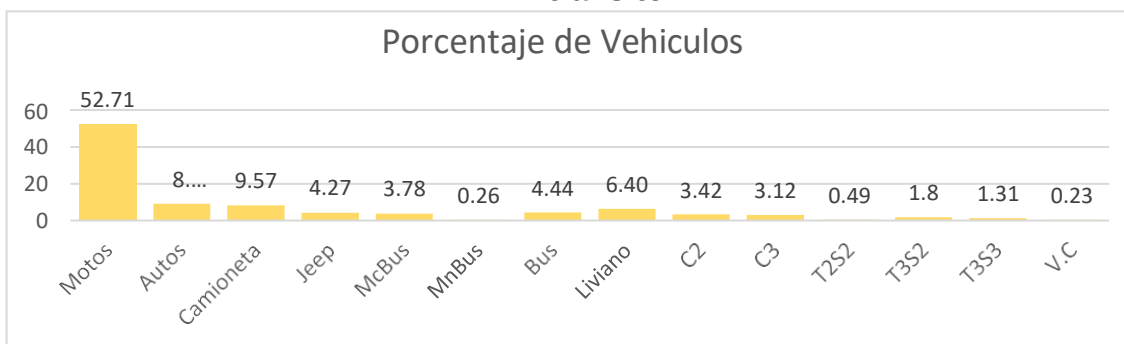
Tabla 26. Aforo vehicular

Tramo: INCOPSA-MERCOSA: Est 0+000															
Días	Motos	Vehículos de pasajeros						Vehículos de carga						V. P	Total
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus30+ s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3	V.C	
Lunes	545	94	105	35	30	2	40	50	30	30	6	18	16	2	1,003
Martes	520	85	95	50	45	2	45	66	35	35	3	21	15	2	1,019
Miércoles	537	70	91	45	40	4	50	78	39	29	6	16	10	3	1,018
Total	1602	249	291	130	115	8	135	194	104	95	15	55	40	7	3,040
TPD (12horas)	534	83	97	43	38	3	45	65	35	32	5	18	13	2	1,013
%TPD (12horas)	52.71	8.18	9.57	4.27	3.78	0.26	4.44	6.40	3.44	3.12	0.49	1.8	1.31	0.23	100
% Vehículo Liviano							78.77	% Vehículos Pesados						21.23	

Fuente: Elaboración propia

De la **Tabla 26** del aforo vehicular se concluye que el TPD2025 es de 1,013 vehículos por día (vpd) y que la tipología que más predomina son los vehículos livianos con 78.77%(798vpd) y los vehículos pesados equivalen al 21.23%(215vpd).

Figura 11. Porcentaje por tipo de vehículos registrado en el aforo de tránsito



Fuente: Elaboración propia

Según la Figura 11, se observa que el tipo de vehículo más frecuente en la zona son las motocicletas, las cuales representan el 52.71% del total (534 VPD), debido a que constituyen el principal medio de transporte utilizado por los residentes del área para desplazarse. En cuanto a los vehículos de carga, los de tipo liviano con capacidad entre 2 y 5 toneladas son los más comunes, con una participación del 6.40% (65 VPD).

3.3.3. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Para calcular el TPDA del tramo analizado, se emplearán los factores de ajuste proporcionados en el Anuario de Aforo de Tráfico del MTI, edición 2020. Dicho anuario aplica una metodología basada en la correlación entre estaciones de conteo de corta duración y estaciones con registros de cobertura más amplia.

Según el Anuario de Aforo de Tráfico (MTI, 2020, págs. 9, Cap. 2) el concepto de dependencia consiste en identificar qué estación de mayor cobertura se asocia a una estación de conteo de corta duración o sumario, basándose en la similitud de los patrones de variación del flujo vehicular entre ambas.

3.3.4. Identificación de vectores de correspondencia

En el análisis de todas las estaciones, se procede a la identificación de vectores con incidencia, abarcando diversos rangos de variación en las características del tráfico. Entre estos, se destaca el Vector Geográfico (R) y el Volumen Total del Tráfico (V) como elementos fundamentales.

En la **Tabla 27**, pág. 56, se detalla la clasificación específica del vector geográfico para el tramo de INCOPSA a MERCOSA colindante y acceso principal al barrio Jerusalén. Este tramo específico se designa como un vector R2, indicando su ubicación en la región del pacifico debido a su pertenencia al departamento de Managua.

La identificación precisa de estos vectores nos permite no solo comprender la distribución y el flujo del tráfico, sino también diseñar estrategias de planificación urbana y desarrollo de infraestructura que respondan eficazmente a las necesidades de movilidad de la comunidad.

Tabla 27. Vectores geográficos

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

Fuente:(MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 7).

De acuerdo con las pautas establecidas en el (MTI, 2020) el vector volumen se clasifica de manera específica en función de su magnitud diaria. Cuando dicho vector se sitúa en el rango superior a 5,000 vehículos por día, recibe la designación de V1; en el intervalo comprendido entre 300 y 5,000 vehículos diarios, se cataloga como V2; y, por último, si la cifra es inferior a 300 vehículos diarios, se etiqueta como V3.

En el contexto del tramo bajo estudio, el vector volumen se identifica como V2. Este hallazgo se fundamenta en los resultados del recuento vehicular, que exhiben una cantidad de vehículos en el rango de 300-5000 por día (ver detalles en la **Tabla 28**, pág. 56). Este análisis categoriza de manera precisa el volumen de tráfico, proporcionando información valiosa para la comprensión y evaluación del flujo vehicular en el área de estudio.

Tabla 28. Vectores de volumen.

Vehículos por día	Vector
Mayor a 5000	V1
300 – 5000	V2
Menor a 300	V3

Fuente: Anuario de Aforo de Tráfico del MTI.

3.3.5. Selección de la Estación de Mayor Cobertura

Para la elección de la estación clave en la determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA), se ha seleccionado la estación 701B (Las banderas – Empalme Teustepe) es la que se encuentra en mayor proximidad al tramo comprendido entre INCOPSA a MERCOSA. Cabe destacar que esta estación, de la cual se dispone de datos históricos, mantiene una relación de dependencia con la Estación de Mayor Cobertura (EMC) 101B, ubicada en la carretera Zona Franca – La Garita, como se muestra en la Figura 12

Figura 12. Dependencia de estaciones 2020

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
101B Zona Franca - La Garita	NIC-3	317	ECD	Quebrada Honda - Ent. El Guayacán
	NIC-7	701B	ECD	Las Banderas - Emp. Teustepe

Fuente: Anuario de aforo de tráfico 2020, pag.47

La estación de referencia para los factores de ajuste aplicados a los conteos de tránsito del tramo Las banderas – Empalme Teustepe es la Estación de Mayor Cobertura EMC 101B, ubicada en la carretera Zona Franca – La Garita. Para la proyección del tránsito, se utilizarán los factores de ajuste correspondientes al segundo cuatrimestre (mayo – agosto) del año, ya que el conteo fue realizado en el mes de Julio del 2025. **(ver Figura 13).**

**Figura 13. Factores de ajustes del segundo cuatrimestre de año Mayo -
Agosto de EMC 101B.**

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3	Tx- Sx<=4	Tx- Sx=>5	Cx- Rx<=4	Cx- Rx=>5	V.A	V.C	Otros
Factor Día	1,26	1,33	1,26	1,27	1,30	1,48	1,20	1,28	1,49	1,39	1,00	1,62	1,00	1,00	1,00	1,00	1,73
Factor Semana	0,91	0,95	0,95	0,92	0,86	0,87	0,93	0,87	0,87	0,87	1,00	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89
Factor Fin de Semana	1,35	1,16	1,14	1,26	1,72	1,58	1,25	1,63	1,62	1,59	1,00	1,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,44
Factor Expansión a TPDA	1,04	1,12	1,16	1,16	0,98	1,08	1,11	0,99	1,10	1,10	28,76	1,08	1,00	1,00	1,62	4,20	1,64

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020, Pág.355.

3.3.6. Cálculo del TPDA

Para determinar el TPDA del año base (2025), se partió de la **Tabla 26** (Pág. 54), cuyos valores se les aplicó los factores derivados de la EMC 101B Figura 13 siguiendo la Ecuación 11.

$$TPDA = TP(D)_{12hrs} \times F_D \times F_s \times F_E \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

TPDA: Tránsito Promedio Diario Anual.

TP(D)_{12hrs}: Tránsito Promedio Diurno de 12 horas.

F_D: Factor día.

F_s: Factor semana

F_E: Factor expansión.

Por Ejemplo, para moto:

$$TPDA_{\text{motos}} = 534 \times 1.26 \times 0.91 \times 1.04 = 637 \text{ motos/día}$$

En la **Tabla 29** se muestran los resultados obtenidos del TPDA 2025 a continuación,

Tabla 29. Proyección de tránsito promedio diurno (TPD) a tránsito promedio diario anual (TPDA2025)

Tramo: De carretera de INCOPSA A MERCOSA barrio Jerusalén Mes/año julio 2025															
Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)															Equipo Pesado
Grupos	Motos	vehículos de pasajeros						Vehículos de carga						V.C	Total
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 30+ s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3		
TP(D)	534	83	97	43	38	3	45	65	35	32	5	18	13	2	1,013
Factor Dia	1,26	1,33	1,27	1,26	1,35	1,48	1,20	1,28	1,49	1,39	1,01	1,00	1,01	1,01	
Factor Semana	0,91	0,95	0,92	0,95	0,86	0,87	0,93	0,87	0,87	0,87	1,01	1,00	1,01	1,01	
Factor expansión	1,04	1,12	1,16	1,16	0,98	1,08	1,11	0,99	1,10	1,10	1,01	1,00	1,01	1,01	
TPDA	637	117	131	60	43	4	56	72	50	43	5	18	13	2	1251
% TPDA	50.91	9.45	10.47	4.79	3.43	0.31	4.47	5.75	3.99	3.43	0.39	1.43	1.03	0.15	100
% Vehículos Livianos 79.36							% Vehículos Pesados 20.64							100	

Fuente: Elaboración propia

De la **Tabla 29** se concluye que el TPDA2025 para el tramo en estudio es aproximadamente de 1,251 vehículos por día, en el cual el 79.36% es equivalente a vehículos livianos y el 20.64% a vehículos pesados, estos datos nos indican que el tramo está conformado en su mayoría por vehículos livianos.

En la **Tabla 30**, página 60 se evidencia una sutil variación en los porcentajes de vehículos livianos y pesados en el Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de la estación de mayor cobertura 101B Zona Franca – La Garita. Esta estación exhibe un 78.3% de vehículos livianos y un 21.6% de vehículos pesados. En contraste con el tramo de INCOPSA a MERCOSA, mediante el aforo y estudio realizado, se observa que presenta porcentajes levemente diferentes, con un 79.36% para vehículos livianos y un 20.64% para vehículos pesados, (consulte la **Tabla 29**, pág. 59).

Tabla 30. Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura.

EST	NOMBRE DEL TRAMO	TPDA	Total, pesados	Σ Tx-Sx y Cx-Rx	% de Livianos	% de Pesados	% Tx-Sx y Cx-Rx y Vehículos de carga
1080	Zona Franca – La Garita	24523	5291	956	78.3%	21.6%	18.1%
1205	Emp. Chichigalpa – Rotonda Chinandega	10585	2614	934	75.0%	24.7%	35.7%
200	Entrada al INCAE – El Crucero	9403	1183	283	87.3%	12.6%	23.9%
401	Masaya – Granada	8882	1074	69	87.8%	12.1%	6.4%
1802	San Marcos – Masatepe	9392	830	69	91.1%	8.8%	8.3%
107	Sébaco – Emp. San Isidro	7877	1797	463	77.0%	22.8%	25.8%
300	Sébaco – Quebrada Onda	6270	1459	200	76.5%	23.3%	13.7%
2404	Chinandega – Corinto	5471	1754	1110	67.7%	32.1%	63.3%
2803	Nagarote – La Paz Centro	6058	2227	1106	62.8%	36.8%	49.7%
2400	Chinandega (Rotonda) - Ranchería	4019	686	166	81.3%	17.1%	24.2%
700	Emp. San Francisco - Tecolostote	2024	638	96	68.3%	31.5%	15.0%

Fuente: (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 13)

3.3.7. Tasa de crecimiento

Para obtener proyecciones de tránsito realistas, se descartaron tasas de crecimiento negativas o superiores al 10% como criterio para excluir valores atípicos (AASHTO, 2011) (Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2011) (Navarro Hudiel; Acuña Mendoza, 2021).

La determinación de la tasa de crecimiento vehicular constituye un parámetro complejo que no solo se sustenta en los registros estadísticos provenientes de conteos vehiculares, sino que también se encuentra influido por factores socioeconómicos fundamentales, como el Producto Interno Bruto (PIB) y el crecimiento poblacional en la región. En la evaluación y proyección del crecimiento del tránsito, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de diversas tasas de crecimiento.

Este proceso incluyó la aplicación de la Ecuación 13 (consultar la página 61), la cual sirvió como herramienta central en la modelación de las proyecciones. Este enfoque integral garantiza que se hayan considerado y ponderado adecuadamente los diversos elementos que influyen en la tasa de crecimiento vehicular, proporcionando así resultados más precisos y contextualizados para la planificación y gestión del tráfico.

3.3.7.1. Tasa de crecimiento vehicular

Es crucial destacar que la determinación de la tasa de crecimiento se basó en la selección de valores procedentes de registros históricos de conteos vehiculares de la estación que mejor reflejaba similitudes en porcentaje de composición vehicular y características socioeconómicas con el tramo bajo estudio, específicamente el acceso de INCOPSA a MERCOSA colindante y acceso principal al barrio Jerusalén del distrito VI de managua. Esta estación, identificada como la Estación de Conteo 701B (Las banderas – Empalme Teustepe) 101B (NIC-1), tiene su registro histórico detallado en la versión del anuario estadístico del (MTI, 2020) Para el cálculo de las tasas de crecimientos en periodos discontinuos se utilizará la ecuación 12, este enfoque específico asegura una metodología precisa y representativa al incorporar datos relevantes de la estación más análoga al tramo de interés, sin embargo, en caso de que sean datos consecutivos no se utilizará el menos 1, ni se multiplicará por 100, por tanto, se utilizará la ecuación 13.

(Ecuación 12). Tasa de crecimiento para periodos discontinuos.

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} - 1 \right] * 100 \quad (\text{Ecuacion.12})$$

(Ecuación 13). Tasa de crecimiento para periodos consecutivos.

$$TC = \left[\left(\frac{TPDA_i}{TPDA_0} \right)^{1/n} \right] \quad (\text{Ecuacion.13})$$

Adicionalmente, tras obtener la serie de tasas de un año con respecto al siguiente, se avanza hacia el cálculo de la tasa de crecimiento definitiva mediante la aplicación de la siguiente ecuación.

(Ecuación 14). Tasa de crecimiento final

$$Tf = [(TC_1 * TC_2 * ... * TC_n)^{1/n} - 1] \quad (\text{Ecuacion.14})$$

La variabilidad significativa en las tasas de crecimiento, derivada de la dispersión en los valores estadísticos y la ausencia de un análisis constante, ha generado fluctuaciones notables, incluyendo datos negativos y tasas que superan el 10%. En vista de esta situación, la ecuación no brinda una determinación concluyente para la selección definitiva de la tasa.

Tabla 31. Histórico de TPDA, Est 701B (Las banderas – Empalme Teustepe)

AÑO	TPDA	TC
1998	1.572	
2001	2.055	9.3%
2004	2.462	6.2%
2005	2.574	1.04%
2007	2.855	5.3%
2009	3.163	5.2%
2011	3.431	4.1%
2016	4.668	6.3%
2019	5.668	6.6%
2020	3.370	-0.40%
Tasa seleccionada		5.50%

Fuente: (MTI, Anuario de aforos de tráfico año 2020, pág. 94)

3.3.7.2. Tasa de crecimiento poblacional

El Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE) publica anualmente anuarios estadísticos que abarcan información detallada de los principales sectores del país. Para este análisis, se ha seleccionado la serie histórica de datos demográficos que abarca desde el año 2014 hasta el 2024. A continuación, se

procede a exponer el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional, haciendo uso de la Ecuación 13 (pág. 61):

$$TC = \left[\left(\frac{6,262,703}{6,198,154} \right)^{1/(2014-2015)} \right] = 1.01$$

Los resultados de este análisis se presentan de manera detallada en la **Tabla 32**, pág. 63, revelando una tasa final de crecimiento poblacional calculada en un 1.01%.

Tabla 32. Histórico de población estimada en Nicaragua (2014- 2024)

AÑO	Población	TC
2014	6,198,154	
2015	6,262,703	1.01
2016	6,327,927	1.01
2017	6,393,824	1.01
2018	6,460,411	1.01
2019	6,527,691	1.01
2020	6,595,674	1.01
2021	6,664,364	1.01
2022	6,733,763	1.01
2023	6,803,886	1.01
2024	6,874,748	1.01
Promedio		1.01%

Fuente: Adaptado de Anuario Estadístico (p. 30), por INIDE, Edición 2023.

Con una **tasa de crecimiento poblacional final del 1.01%**, de acuerdo con la Ecuación 14:

$$Tf = [(1.01 \cdot 1.01 \cdot 1.01 \cdot 1.01 \cdots 1.01)^{1/10} - 1] = 1.01\%$$

3.3.7.3. Tasa de crecimiento producto interno bruto (PIB)

El Banco Central de Nicaragua, a través de su anuario de estadísticas macroeconómicas 2023, ofrece una visión integral de los valores históricos del (PIB) con un enfoque especializado en la producción. En el contexto, hemos dirigido nuestra atención hacia la serie temporal de registros del PIB, abarcando un periodo extenso desde el año 2014 hasta el 2024.

Es imperativo aclarar que, para este análisis, no se calcularon las tasas a partir de los valores anuales del PIB, sino que se extrajeron directamente las tasas oficiales del PIB a precios constantes (real GDP growth %) publicadas en el Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2024 del Banco Central de Nicaragua (BCN, 2025, pág. 7) Esto garantizó el uso de indicadores reales ya deflactados por dicha entidad rectora.

Tabla 33. Tasa de crecimiento del PIB (2014-2024)	
AÑO	TC
2014	
2015	4.80%
2016	4.60%
2017	4.60%
2018	-3.40 %
2019	-2.90%
2020	-2.2%
2021	10.50%
2022	3.60%
2023	4.40%
2024	3.60%
tasa seleccionada	4.26%

Fuente: Tomado de Anuario de Estadísticas Macroeconómicas (pág. 7), por BCN, Edición 2024.

3.3.7.4. Selección de la tasa de crecimiento

Tabla 34. Resumen y cálculo de la tasa de diseño

Indicador	Tasa Promedio Anual
Crecimiento Poblacional	1.01%
Crecimiento Económico (PIB)	4.26%
Crecimiento Vehicular	5.50%
TASA DE CRECIMIENTO (TC)	3.59%

Fuente: Elaboración propia

(Ecuación 15)

$$TC = \frac{TC_{TPDA} + TC_{PIB} + TC_{POB}}{n}$$

$$TC = \frac{1.01 + 4.26 + 5.50}{3} = 3.59\%$$

La tasa de crecimiento vehicular definida para el tramo bajo estudio ha sido fijada en un promedio de 3.59%, es aceptable, ya que está bajo la tasa de crecimiento del TPDA presente en el anuario del Ministerio de Transporte e Infraestructura del año 2020.

3.3.8. Proyección de Tránsito

3.3.8.1. Periodo de Diseño

Basándonos en las características particulares del tramo y el volumen de tránsito actual, la carretera bajo estudio se clasifica, según su función vial, como Colectora Suburbana. Esta categorización se justifica por su ubicación estratégica dentro del área suburbana del municipio de Managua, registrando un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 1,251 vehículos por día (vpd) para el año 2025. En consecuencia, se ha seleccionado un período de diseño de 20 años, alineándonos con las directrices técnicas de la (Secretaría de Integración Económica Centroamericana

(SIECA), 2004) para este tipo de vías, garantizando así una vida útil adecuada para las proyecciones de crecimiento esperado en la capital.

Tabla 35. Periodo de diseño según el tipo de 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 geométrico de las carreteras regionales, (Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2004, págs. 3, cap 7)

Utilizando la (Ecuación 16)

$$TPDA_n = TPDA_{actual} \times (1 + TC)^n \quad (\text{Ecuación 16})$$

con:

- TPDA 2025: Motos VPD
- TC: 3.59%
- Periodo: 20 años

Ejemplo:

$$TPDA_n = 637 \times (1 + 0.0359)^{20} = 1289.72$$

Tabla 36. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

Proyección TPDA 2025 a TPDA 2045 del tramo De carretera de INCOPSA A MERCOSA barrio Jerusalén															
Años	Motos	Vehículos de pasajeros						Vehículos de carga						Equipo Pesado	TPDA
		Autos	Cam	Jeep	McBus	MnBus	Bus	Liviano	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3	V.C	
					<15 s.	15-30 s.	30+ s.	2-5 ton.							
2025	637	117	131	60	43	4	56	72	50	43	5	18	13	2	1251
2045	1290	237	265	121	87	8	113	147	101	87	10	36	26	4	2532

Fuente: Elaboración propia.

Según la **Tabla 37** el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras (SIECA, 2004) ubica el tráfico proyectado en el rango de 500 a 3,000 vehículos diarios. Por lo tanto, la vía se clasifica oficialmente como **Carretera colectora suburbana (CS)**.

Tabla 37. Clasificación funcional de las carreteras regionales, volúmenes de tránsito, número de carriles y tipo de superficie de rodamiento.

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

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA. 2004 pág. 87

3.3.9. Tránsito de diseño

3.3.9.1. Factor de crecimiento

El factor de crecimiento determinado en función de la tasa de crecimiento vehicular fue calculado mediante la aplicación de la ecuación 17 (consultar página 67). Los resultados precisos de este cálculo se detallan de manera específica en la **Tabla 38** con un resultado de

(Ecuación 17) Factor de crecimiento

$$FCA = \frac{(1+TC)^{n-1}}{TC} \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$FCA = \frac{(1+3.59)^{20-1}}{3.59} = 28.54$$

Tabla 38. Factor de crecimiento

TC	Factor de Crecimiento
3.59	28.54

Fuente: Elaboración propia

3.3.9.2. Factor Distribución por dirección (LD)

Para el segmento en análisis, el factor de reparto direccional fue elegido en función de la cantidad de carriles, los cuales ascienden a dos en este escenario particular. La distribución más común implica que el tráfico se divida de manera equitativa, con un 50% en cada dirección, motivo por el cual se ha adoptado el valor de 0.5, tal como se refleja en la **Tabla 39**.

Tabla 39. Factor de distribución por dirección

Número de Carriles en ambas direcciones	LD
2	50
4	45
6 o más	40

Fuente: Manual Centroamericano para el Diseño de pavimento 2002, cap.3, p.28.

3.3.9.3. Factor de distribución por carril (LC)

En la **Tabla 40**, se presenta el coeficiente de reparto por carril elegido para el tramo de INCONSA a MERCOSA que colinda al barrio Jerusalén, en función del número de carriles en una sola dirección, el cual en este caso se registra con un valor de 1.

Tabla 40. Factor de Distribución por carril

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

Fuente: Guía para el diseño de estructura de pavimento AASHTO 93, pág. 58

3.3.9.4 Cálculo de tránsito de diseño

En la **Tabla 41** pág. 69, se presentan las cifras de tránsito de diseño para cada categoría de vehículo, derivadas del cálculo mediante la ecuación 2 (consultar página 11).

Se presenta un ejemplo de aplicación de la Ecuación 2 pág. 11 para el caso de las motos:

$$TD = TPDA * FCA * LD * LC * 365$$

$$TD \text{ motos} = 637 * 28.54 * 0.5 * 1 * 365$$

$$TD \text{ motos} = 3317846.35$$

Tabla 41. Tránsito de diseño
CÁLCULO DE TRÁNSITO DE DISEÑO (TD)

Tipo de Vehículo	TPDA 2025	FC	LD	LC	TD
Motos	637	28.54	0.5	1	3317846.35
Autos	117	28.54	0.5	1	609400.35
Camioneta	131	28.54	0.5	1	682320.05
Jeep	60	28.54	0.5	1	312513
Micro Bus	43	28.54	0.5	1	223967.65
Mini Bus	4	28.54	0.5	1	20834.2
Bus	56	28.54	0.5	1	291678.8
Camión Ligero	72	28.54	0.5	1	375015.6
C2	50	28.54	0.5	1	260427.5
C3	43	28.54	0.5	1	223967.65
T2S2	5	28.54	0.5	1	26042.75
T3S2	18	28.54	0.5	1	93753.9
T3S3	13	28.54	0.5	1	67711.15
V.C	2	28.54	0.5	1	10417.1
Total					6,515,896.05

Fuente: Elaboración propia

El análisis integra minuciosamente los factores de tránsito establecidos con anterioridad, dando como resultado un total de 6,515,896.05 vehículos proyectados para cumplir con el período de diseño de 20 años.

3.3.10. ESAL de diseño

Según el Manual Centroamericano para el Diseño de Pavimentos de Iturbide (2002), las cargas que actúan sobre un pavimento generan distintas tensiones y deformaciones, y la respuesta del pavimento depende tanto del espesor como del tipo de material. Por esta razón, un mismo tipo de carga puede causar efectos diferentes según las características estructurales del pavimento, lo que implica que las fallas se manifestarán de manera distinta según la intensidad de la carga y las propiedades del pavimento (Cap. 3, p. 3).

Para reflejar estas diferencias en el diseño, el tránsito vehicular se convierte en un número equivalente de ejes de una carga estándar. Esta carga uniformada, establecida por AASHTO, corresponde a 80 kN (18 kips o 18,000 libras). La conversión se realiza mediante los factores equivalentes de carga (LEF, Load Equivalente Factor), de manera que el tránsito mixto de diferentes vehículos se traduzca en un volumen de carga uniforme que produzca un daño equivalente en el pavimento.

3.3.10.1. Cargas permisibles por tipo de vehículo

El Ministerio de Transporte e Infraestructura Vial (MTI) de Nicaragua presenta en sus tablas las cargas permisibles para vehículos de carga tipo C2 y para vehículos livianos (**ver Anexos, pág. LIII, LIV Tablas 105-106**), clasificando los ejes de cada tipo de vehículo junto con su peso correspondiente.

Los valores proporcionados en toneladas (ton) se convertirán posteriormente a kips, con el objetivo de calcular el Factor de Equivalencia de Carga (F. ESALs), que permite determinar el efecto equivalente de cada eje sobre la estructura del pavimento.

3.3.10.2. Factor de Equivalencia de Carga (F. ESAL's)

Los factores equivalentes de carga son indicadores numéricos que reflejan el impacto que produce un eje o vehículo específico sobre la estructura del pavimento. En el método AASHTO, estos factores se calculan considerando cuatro elementos principales: el tipo de eje (sencillo, tandem o tridem), la serviciabilidad final del pavimento (índices típicos: 2, 2.5 o 3), la carga por eje y el número estructural (SN) de la sección de pavimento. Conociendo la "Serviciabilidad final cuyo valor es 2.5 para pavimento rígido" según AASHTO, el espesor del pavimento asumido de 7 pulgadas y los pesos (pesos por eje del vehículo en Kips), se adquiere los factores de equivalencia de carga en las tablas de la AASHTO 93, para eje sencillo, doble y triple. **(Ver anexos, Tabla 108-110, pág. LV-LVII).**

Si la carga permisible no se encuentra en la tabla de valores se realiza una interpolación aplicando la Ecuación 18 Pág. 71 para obtener el factor equivalente, como se realizó para el caso de los autos con los datos que se muestran en la **Tabla 42**.

Tabla 42. Datos para conocer factor equivalente de carga del automóvil.

Carga por eje (kips)	Factor equivalente de carga
2	0.0002
2.2	X
4	0.002

Fuente: Elaboración propia

(Ecuación 18). Cálculo de interpolación

$$y = \frac{(x-x_1)y_2 + (x_2-x)y_1}{(x_2-x_1)} = \quad \text{(Ecuación 18)}$$

$$y : \frac{(2.2 \text{ KIP} - 2 \text{ KIP})0.002 \text{ KIP} + (4 \text{ Kip} - 2.2 \text{ Kip})0.0002}{(4 \text{ Kip} - 2 \text{ Kip})}$$

$$y: 0.00038$$

El Coeficiente ESAL, fijado en 0.00038, corresponde a uno de los dos ejes que conforman la estructura vehicular de un automóvil. Este valor es crucial para cuantificar la carga y la afectación potencial en el pavimento, brindando una medida precisa de la contribución del vehículo al desgaste de la superficie de la carretera.

3.3.10.3. Cálculo de ESAL's de diseño

$$ESAL_{DISEÑO} = TD * F. ESAL'S \quad (Ecuación 19)$$

Donde:

F. ESAL's = Factor Equivalente de Carga según el peso por eje del vehículo

TD = Transito de Diseño calculado

Se procede a realizar un ejemplo del cálculo de ESAL's de Diseño para el caso de los autos:

$$ESAL_{DISEÑO AUTOS} = TD_{Autos} * F. ESAL's$$

$$ESAL_{DISEÑO AUTOS} = 609400.35 * 0.00038$$

$$ESAL_{DISEÑO AUTOS} = 231.$$

El ESAL's por eje para el automóvil es 231, dado que en este caso son dos ejes el valor total es 462

Tabla 43. ESAL's de diseño

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES (ESAL)						
Espesor de losa propuesto (D)		7pulg		Servicialidad final (Pf)		2.5
Tipo de Vehículo	W por ejes (libras)	W por ejes (Kips)	Tipo de eje	TD	F. ESAL	ESAL Diseño
Motos	0	0	Simple	3298081.6	-----	-----
	0	0	Simple		-----	-----
Autos	2200	2.2	SIMPLE	609400.35	0.00038	231
	2200	2.2	SIMPLE		0.00038	231
Camioneta	2200	2.2	SIMPLE	682320.05	0.00038	259
	2200	2.2	SIMPLE		0.00038	259
Jeep	2200	2.2	SIMPLE	312513	0.00038	118
	4400	4.4	SIMPLE		0.00038	118
Micro Bus	4400	4.4	SIMPLE	223967.65	0.00038	85
	8800	8.8	SIMPLE		0.0566	12676
Mini Bus	8800	8.8	SIMPLE	20834.2	0.0566	1179
	17600	17.6	SIMPLE		0.9246	17326
Bus	11000	11	SIMPLE	291678.8	0.139	40543
	22000	22	SIMPLE		2.2	641693
Camión Ligero	8800	8.8	SIMPLE	375015.6	0.0566	21225
	17600	17.6	SIMPLE		0.9246	346739
C2	11000	11	SIMPLE	260427.5	0.139	36199
	22000	22	SIMPLE		2.2	572940
C3	11000	11	SIMPLE	223967	0.139	31131
	36300	36.3	DOBLE		1.43	320272
T2S2	11000	11	SIMPLE	26042.75	0.139	3619
	19800	19.8	SIMPLE		1.468	38230
	35200	35.2	DOBLE		1.43	37241
T3S2	11000	11	SIMPLE	93753.9	0.139	13031
	35200	35.2	DOBLE		1.43	134068
	35200	35.2	DOBLE		1.43	134068
T3S3	11000	11	SIMPLE	67711.15	0.139	9411
	35200	35.2	DOBLE		1.43	96826
	44000	44	TRIPLE		1.65	111723
V.C	11000	11	SIMPLE	10417.1	0.139	1447
	19800	19.8	SIMPLE		1.468	15292
	35200	35.2	DOBLE		1.43	14896
ESAL DE DISEÑO =					2,666,076.00	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 43, se concluye que el ESAL's de diseño total de la vía en estudio es aproximadamente 2,666,076.00 ejes equivalentes. Los vehículos pesados que inciden más en el cálculo del ESAL's son los siguientes: El C2 con 25.72%, y el Bus con 22.62% con estos datos podemos apreciar que tipo de vehículo son los que causa mayores daños en la estructura (**Ver anexo, pág. LVIII, Tabla 111**)

3.4. Diseño de Pavimento rígido

El método de diseño que se utiliza para el diseño de pavimento es AASHTO 93, este asume que un pavimento recién construido comienza a dar un servicio de alto nivel. A medida que transcurre el tiempo, y con él las repeticiones de carga de tránsito, el nivel de servicio baja. El método impone un nivel de servicio final que se debe alcanzar al concluir el periodo de diseño.

En este capítulo se determina los espesores de las diferentes capas de la estructura del pavimento, acorde con las necesidades y condiciones existentes en el sitio. El diseño se realiza con el fin de proporcionar una estructura que cumpla con el objetivo principal de brindar una superficie, sobre la que se pueda desplazarse con un nivel de servicio y soporte de cargas adecuado durante un período de diseño determinado.

3.4.1. Metodología

La metodología para el diseño estructural del pavimento consiste en la determinación de los espesores óptimos de las capas (rodadura, base y subbase) mediante la correlación del tránsito proyectado (ejes equivalentes acumulados derivados del TPDA) y la capacidad de soporte del suelo de fundación (módulo de resiliencia o CBR obtenido de los datos de DYSCONCSA). Este análisis se realiza bajo los lineamientos y ecuaciones de la normativa AASHTO, evaluando factores de confiabilidad, serviciabilidad y coeficientes estructurales de los materiales, lo que permite garantizar un comportamiento estructural adecuado ante las cargas vehiculares previstas durante el período de diseño del proyecto.

3.4.2. Variables por considerar en el método AASHTO 93

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura

del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio. Para la definición de los espesores se debe en primera instancia, definir ciertas variables de entrada, que se presentan a continuación:

3.4.2.1. Período de diseño

Dado a la caracterización vial, y los criterios de la (Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2004) detallado en el estudio de tránsito Pag.66, se adoptó un periodo de diseño de 20 años para una vía tipo colector suburbana.

3.4.2.2. Ejes simples equivalentes de 80 KN.

En este método se requiere la transformación a ejes simples equivalentes de 82 KN (8.2 Toneladas Métrica o 18,000 libras), los ejes de diferentes pesos que circularán por el pavimento durante su periodo de diseño. De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio de tránsito **Tabla 43**, pág. 73, que muestra que en el tramo en estudio se espera que durante el periodo de diseño se obtenga un total de 2,666,076.00 ejes equivalentes de 18,000 libras o 8.2 toneladas métricas. Según el número de carril de la vía se determina el porcentaje de ejes equivalentes que circula en el carril de diseño, como se muestran en la **Tabla 44**.

Tabla 44. Porcentaje de ejes equivalentes.

Número de carriles en una dirección	Porcentaje de ejes simples equivalentes de 82 KN en el carril de diseño
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, pág. 54 cap.7

Dado que el tramo analizado cuenta con un solo carril por sentido de circulación, se considera que el 100 % de los ejes equivalentes actúan sobre el carril de diseño.

3.4.2.3. Confiabilidad (R)

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un pavimento mantenga un desempeño adecuado a lo largo de su vida útil o período de diseño, soportando las

condiciones de tránsito y los efectos ambientales previstos durante ese tiempo. Para este diseño el nivel de confiabilidad se determina a partir de la clasificación vial establecida, donde según los criterios de la **Tabla 45** la vía se clasifica como una carretera colectora suburbana.

Tabla 45. Niveles de confiabilidad R en función del tipo de carretera

Tipo de carretera	(%) Niveles de confiabilidad R	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85 - 99.9	80 - 99.9
Troncales	80 – 99	75 - 95
Colectoras	80 – 95	50 - 80

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, pág. 56, Cap. 7.

Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad **R** del **95%**, que corresponde a un valor que se encuentra dentro del rango para una Carretera Colectora Suburbana.

3.4.2.4. Desviación Estándar (So).

Se define como la variabilidad existente en la estimación del comportamiento de los niveles de servicio del tránsito, considerando las imprecisiones propias del proceso de predicción. La Guía de Diseño de AASHTO edición 1993, sugiere utilizar para **So** valores comprendidos dentro de los intervalos que se muestran en la **Tabla 46**.

Tabla 46. Valores Desviación Estándar (So)

Tipo de pavimento	Rango (So)
Para pavimentos flexibles	0.40 -0.50
para pavimento rígidos	0.30 - 0.40

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, Pag 56; Cap. 7.

El valor de la “desviación estándar **So**”, a utilizar en el diseño será de **0.40** para pavimentos rígido, valor recomendado por AASHTO para tomar en consideración la varianza del tráfico futuro proyectado.

3.4.2.5. Serviciabilidad.

La serviciabilidad de un pavimento es la capacidad que tiene para funcionar correctamente según el tipo y volumen de tránsito para el que fue diseñado. Este desempeño se mide con un índice que va de 0, que indica malas condiciones, a 5, que indica condiciones ideales.

Tabla 47. Escala de Serviciabilidad.

Índice de Servicio	Clasificación
5	Excelente
4	Muy Bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93, Pag 4, Cap. 7.

a) **Serviciabilidad Inicial (Po):** Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción de este. Los valores recomendados por AASHTO para este parámetro son:

- Para pavimento de Concreto = 4.5
- Para pavimento de Asfalto = 4.2

b) **Serviciabilidad Final (Pt):** La serviciabilidad final tiene que ver con la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil.

Los valores de serviciabilidad Final Pt recomendados por la AASHTO son 2.0 o 2.5. Cuando la Serviciabilidad de la sección alcanza un nivel terminal o mínimo permisible debe ser recarpeteado o reconstruido.

Para el diseño de pavimento rígido se utilizará un **Po** de **4.5** al momento de su construcción y se espera que al cumplir su vida útil se obtenga un **Pt** de **2.5**. La diferencia entre ambos índices se define como Pérdida de serviciabilidad.

(Ecuación.20) pérdida de serviciabilidad

(Δ PSI):

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (\text{Ecuación.20})$$

$$\Delta PSI = 4.5 - 2.5$$

$$\Delta PSI = 2.0$$

De acuerdo con los datos escogidos se espera que el pavimento Rígido tenga una pérdida de Serviciabilidad (Δ PSI) de **2.0**

3.4.2.6. Consideraciones de drenaje en el diseño del pavimento.

Un buen drenaje mantiene la capacidad portante de la subrasante (mantiene el módulo de resiliencia cuando la humedad es estable), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas de soporte de menor espesor. (Coronado Iturbide, 2002, pág. 3),

Iturbide indica que el valor del coeficiente del drenaje está dado por dos variables que son:

- a) La calidad del drenaje, que viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento.
- b) Exposición a la saturación, que es el porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje. (2002, cap.7, p.7)

En la **Tabla 48** se observa que, a medida que mejora la calidad del drenaje, disminuye el tiempo requerido para la remoción del agua; es decir, las calidades de drenaje se definen en función del tiempo de drenaje.

Tabla 48. Capacidad del drenaje para remover la humedad.

Calidad del drenaje	Tiempo de drenaje:	
	50% de saturación	85% de saturación
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	De 10 a 15 horas
Malo	No drena	Mayor de 15 horas

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimentos, AASHTO 1,993, pág. 57, Cap. 7.

Con la calidad de drenaje y el porcentaje de tiempo en que el pavimento va a estar expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación, se selecciona el coeficiente de drenaje (Cd) llegándose a los valores de la **Tabla 49**.

Tabla 49. Coeficiente de drenaje para Pavimentos Rígidos.

Calidad del drenaje	P= % del tiempo en que la estructura de pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	Menos 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mas 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.1
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.9
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.8
Muy Pobre	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.7

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimentos, AASHTO 1,993. Pag 58; Cap. 7

En el diseño se estima que la calidad del drenaje será buena; además, considerando que el ensayo CBR se realizó bajo las condiciones más desfavorables de saturación del suelo, mediante la inmersión de las muestras en agua durante 96 horas, se adopta un coeficiente de drenaje (Cd) igual a 1.

3.4.2.7. Transferencia de carga

La transferencia de carga es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transferir fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objetivo de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento, mientras mejor sea la transferencia de cargas mejor será el comportamiento de las losas del pavimento.

En la **Tabla 50** se definen los rangos del coeficiente de transmisión de carga para las diferentes condiciones estructurales analizadas.

Tabla 50. Valores de Coeficiente de transmisión de carga (J).

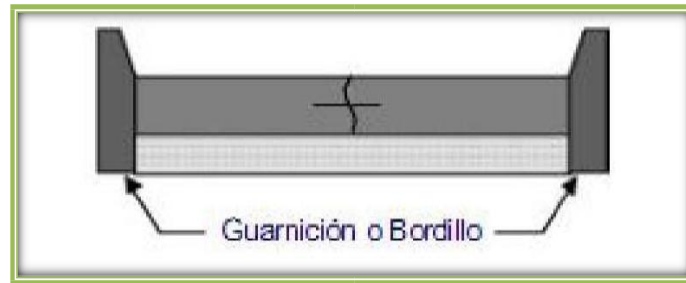
Tipo de Pavimento	Hombro	
	Elemento de transmisión de carga	
	Concreto hidráulico	
	SI	No
No reforzado o reforzado con juntas	2.5 - 3.2	3.6 - 4.2
Reforzado continuo	2.3 - 3.9	

Fuente: Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO 93. Pag 59; Cap. 7

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio de tránsito **Tabla 26** pág.54 el tráfico pesado en el tramo representa el **21.23%** del tráfico total. Asimismo, de acuerdo con lo establecido en la **Tabla 43** pág.73 el ESAL's de diseño total de la vía es **2,666,076.00** por ende, no se cumple con los requisitos para la utilización de pasa juntas que indican que: el tráfico pesado sea mayor al **25%** del tráfico total y el ESAL's sea mayor de **5 millones**.

Con base en lo anteriormente analizado, se concluye que el pavimento a diseñar corresponde a un pavimento rígido de losas sin refuerzo, por lo que no se contempla el uso de pasadores (dovelas o pasajuntas) en las juntas transversales. Asimismo, se considera la protección del borde mediante la construcción de hombros. En consecuencia, el valor del coeficiente J adoptado para el diseño es 3.20.

Figura 14. Tipo de Soporte Lateral Propuesto.



Fuente: Elaboración Propia

3.4.2.8. Propiedades del Concreto.

Las propiedades del concreto que influyen de manera determinante en el diseño de los pavimentos de concreto y en su comportamiento a lo largo de su vida útil son principalmente dos:

- La resistencia a la tensión por flexión ($S'c$), conocida como Módulo de Ruptura (MR).
- Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c).

3.4.2.8.1. Módulo de Ruptura (MR) del concreto.

Este valor corresponde al módulo de elasticidad de los materiales utilizados en la construcción de la subrasante, tanto en su estado natural como cuando han sido mejorados, y constituye un parámetro representativo de la calidad de dichos materiales.

El (Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), 2008), en el Manual para la Revisión de Diseño de Pavimentos, señala que, dado que los pavimentos de concreto trabajan predominantemente a flexión, es recomendable que la especificación de la resistencia del material sea coherente con este tipo de solicitación. Por tal motivo, el diseño se basa en la resistencia del concreto a la flexión, denominada resistencia a la tensión por flexión ($S'c$) o Módulo de Ruptura (MR), la cual se especifica generalmente a los 28 días de edad. En el caso de los

pavimentos de concreto hidráulico, se establecen como requisitos mínimos: $MR \geq 40 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c \geq 280 \text{ kg/cm}^2$ (p. 73).

La resistencia a la compresión del concreto ($f'c$) seleccionada para el presente diseño es de 4,000 psi, equivalente a 281 kg/cm^2 , valor que se considera adecuado en función de las características del concreto utilizado en el país. Asimismo, dicha resistencia permite adoptar un valor significativo de la resistencia a la tensión por flexión, garantizando un comportamiento estructural satisfactorio del pavimento de concreto.

Nota: 1 kg/cm^2 equivale a $14.223 \text{ psi (lb/pulg}^2\text{)}$.

Conociendo que la resistencia a la compresión del concreto ($f'c$) es de 4,000 psi,

el Módulo de Ruptura (MR) se determina mediante la Ecuación 21, según lo establecido en la guía AASHTO.

$$MR = C \sqrt{f'c} \quad (\text{Ecuacion.21})$$

Donde el valor de C varía entre 7.5 y 12. La AASHTO para Diseño de pavimento rígido recomienda utilizar un valor de 10. (AASHTO , 1993, págs. II-16)

En donde:

MR = Módulo de Ruptura del concreto, PSI

$f'c$ = Resistencia a compresión, PSI.

Solución de la ecuación 21

$$MR = 10 \times \sqrt{f'c}$$

$$MR = 10 \times \sqrt{4000} \text{ PSI}$$

$$MR = 632.46 \text{ PSI} \times 0.070307$$

$$MR = 44.466 \text{ kg/cm}^2$$

$MR = 44.466 \text{ kg/cm}^2 > 40 \text{ kg/cm}^2$ ok Cumple según el criterio

3.4.2.8.2. Módulo de Elasticidad del Concreto de la losa (E_c).

El Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c) mide la rigidez del concreto, es decir, cuánto se deforma bajo carga. Es un parámetro clave en el diseño de pavimentos rígidos porque determina cómo se distribuyen las cargas entre las losas y sobre la subrasante. Se calcula a partir de la resistencia a la compresión del concreto (f'_c) y ayuda a definir el espesor de las losas y su comportamiento frente al tráfico.

Para su determinación podemos recurrir a la siguiente Ecuación:

$$E_c = 57,000 \times \sqrt{f'_c} \quad (\text{Ecuación. 22})$$

En donde:

E_c = Módulo de Elasticidad del concreto, PSI.

f'_c = Resistencia a compresión, PSI.

$$E_c = 57,000 \times \sqrt{4000}$$

$$E_c = 3,604,996.53 \text{ psi}$$

Para el presente diseño, el Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c) se determinó en 3,604,996.53 psi, equivalente a 253,462.46 kg/cm², valor que refleja la rigidez del concreto y su capacidad para soportar cargas sin deformarse excesivamente.

3.4.2.9. Cálculo del módulo de reacción de la subrasante (K) de diseño.

La resistencia de la subrasante es considerada dentro del método por medio del módulo de reacción del suelo K que se puede obtener directamente mediante la prueba de placa. El módulo de reacción del suelo corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportara el cuerpo del pavimento. El valor de K representa el soporte (terreno natural y terraplén si lo hay) y se puede incrementar al tomar contribución de la subbase.

La capacidad estructural de la subrasante se expresa mediante el módulo de reacción K , el cual representa la resistencia del suelo ante la aplicación de cargas.

Aunque este parámetro puede determinarse directamente mediante ensayos de placa de carga, debido a la complejidad y costo de dicha prueba, en el presente estudio se estimó el valor de K a partir de la correlación con el CBR de diseño obtenido en el laboratorio. En esta sección se desarrollan los cálculos correspondientes del módulo de reacción, tomando como base los valores de CBR determinados para la condición crítica del proyecto.

3.4.2.9.1. Módulo de reacción de la subrasante Original.

El CBR de diseño obtenido del estudio de suelos para la estación crítica fue de 16.2%, correspondiente a una clasificación A-1-b según AASHTO, Para determinar el módulo de reacción de la subrasante (K), se empleó la correlación mostrada en **Anexos, pág. LIX, Figura 69**, Al ingresar el valor de CBR = 16.2% en dicha gráfica, se obtuvo un módulo de reacción aproximado de 65 MPa/m. Posteriormente, para cumplir con los requerimientos del método AASHTO-93, se realizó la conversión de unidades al sistema inglés (**pci**). Para ello, se tomó como base que 1 MPa/m equivale a 3.684 pci, aplicando la Ecuación 23, Pág. 84

(Ecuación 23)

$$K(\text{pci}) = k \text{ (MPa / m)} \times 3.684$$

$$K(\text{pci}) = 65 \times 3.684 = 239.46 \text{ pci}$$

Utilizando en **Anexos, pág. LX Tabla 112**, además conociendo el k del suelo (239.46 pci) se procedió a interpolar para determinar el incremento del módulo de reacción, con un “espesor de subbase propuesto de 6 pulgadas” espesor. (Coronado Iturbide, 2002, pág. 75), indica que este dato puede utilizarse para tipo de subbase granular.

De la interpolación se obtuvo el módulo de reacción compuesto por efecto combinado de subrasante y subbase de **269.46 pci** o **73.15 Mpa/m**. (**Ver anexos, pág. LX, tabla 113**)

3.4.3. Cálculo del espesor de la losa

En este trabajo monográfico se utilizará el programa de la AASHTO 93 para determinar el espesor de losa de pavimento rígido.

Se realizó el cálculo del espesor de la losa de dos maneras:

- Con subrasante original ($K= 239.46$ pci)
- Proponiendo una subbase granular de 6 pulgadas ($K=269.46$ pci)

A continuación, se presenta el cálculo de espesor del pavimento rígido con subrasante original **tabla 51**.

Tabla 51. Valores de las variables para el Diseño de Pavimento Rígido.

Datos Para Utilizar en AASTHO 93.	
Número de Ejes Equivalentes (ESAL's)	2,666,076.00
Confiabilidad (R)	95%
Desviación Estándar (So)	0.40
Capacidad de Servicio Inicial (Po)	4.5
Capacidad de Servicio Final (Pt)	2.5
Coeficiente de Drenaje (Cd)	1
Coeficiente de transmisión de carga (J)	3.2
Módulo de Ruptura (S'c).	632.46 PSI
Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec)	3,604,996.53 PSI
Módulo de reacción (K) de la subrasante	239.46 pci

Fuente: Elaboración propia

3.4.3.1. Cálculo de espesor de pavimento rígido con el programa AASHTO-93.

Figura 15. Cálculo de espesor de losa con subrasante original

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' window. It contains several input fields and sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' and 'Pavimento rígido' (selected).
- Confiability (R) and Standard Deviation (So):** A dropdown menu for '95 % Zr=-1.645' and a text field for 'So' with value '0.40'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text fields for 'PSI inicial' (4.5) and 'PSI final' (2.5).
- Módulo de reacción de la subrasante:** A text field for 'k' with value '239.46' and unit 'pci'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi):** Text field with value '3604996'.
 - Módulo de rotura del concreto - Sc (psi):** Text field with value '632.46'.
 - Coeficiente de transmisión de carga - (J):** Text field with value '3.2'.
 - Coeficiente de drenaje - (Cd):** Text field with value '1'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular D' (selected) and 'Calcular W18'.
- W18 =** Text field with value '2666076'.
- Espesor de losa (plg):** Text field for 'D = ' with value '8.7'.
- Buttons:** 'Calcular' and 'Salir'.

Fuente: Elaboración Propia, tomado del programa de la AASHTO 93

Para el tramo de INCOPSA a MERCOSA el cálculo del espesor de losa con un módulo de reacción $K=239.46$ pci, la cual el software AASHTO-93 determinó un espesor de losa de 8.7 pulgadas.

Con el propósito de auditar el comportamiento del algoritmo del software y evaluar posibles variaciones o diferencias entre el cálculo digital y el método gráfico tradicional, se procedió a realizar la validación manual de la ecuación de diseño. El desarrollo de este procedimiento, plasmado a través del trazado de las líneas de liga utilizando los mismos parámetros de entrada se detalla en **Anexo E Pág. LXI-LXII, Figura 70-71**). Al contrastar ambos métodos, se comprobó que el análisis gráfico en el nomograma arroja un valor cercano con las 8.7 pulgadas del programa, demostrando una diferencia marginal o nula entre la modelación matemática y la resolución analítica manual.

Los resultados del cálculo de espesor de losa la cual se propuso una subbase granular de 6 plg con un módulo de reacción de $K=269.46$ pci (**Ver Anexos, pág. XLIII, figura 72**)

3.4.3.2. Interpretación de resultados del espesor de losa.

Con base en la caracterización geotécnica del suelo natural y aplicando la metodología AASHTO 93 para pavimentos rígidos, se determinó el espesor estructural de la losa de concreto que garantiza un comportamiento adecuado del pavimento durante su vida útil de diseño. El análisis consideró un tránsito acumulado de 2,666,076.00 ejes equivalentes (W18), así como parámetros representativos de la subrasante, subbase y material de concreto.

Del estudio de suelos se obtuvo un CBR de diseño de 16.2%, valor que refleja una subrasante con capacidad de soporte intermedia. Mediante la correlación técnica entre CBR y módulo de reacción. Esta mejora contribuye a una adecuada distribución de esfuerzos y mayor estabilidad del sistema suelo–pavimento.

Como resultado del análisis, se obtuvo un espesor de losa de 8.7 pulgadas (22.10 cm), se tomará 9 pulgadas para obtener una mejor precisión en su construcción. El cual se considera técnicamente adecuado para soportar las solicitaciones del tránsito de diseño, manteniendo niveles aceptables de serviciabilidad y reduciendo el riesgo de falla estructural prematura. En consecuencia, el espesor propuesto cumple con los criterios de seguridad, durabilidad y desempeño estructural exigidos por la metodología AASHTO 93.

Adicionalmente se evaluó una alternativa estructural que incluye una capa de subbase granular. Sin embargo, al realizar el cálculo de espesor requerido para una losa de concreto resultó ser de 8.5 pulgadas, es decir, aunque se considere utilizar material de banco para subbase, el espesor de losa es literalmente el mismo, por lo tanto, se decide no utilizar subbase ya que los costos de construcción se reducen al prescindir de esta y se considera mejorar el suelo donde se requiere con material de banco para incrementar la capacidad de soporte del suelo

3.4.4. Modulaci3n de la losa de Concreto.

La modulaci3n de losas no busca “evitar” que el concreto se agriete, sino decidir d3nde y c3mo va a hacerlo. Debido a sus propias caracter3sticas, el concreto experimenta cambios de volumen a lo largo del tiempo; si no se le da una geometr3a adecuada, estos cambios generan fisuras en ubicaciones aleatorias que pueden afectar el desempe1o del pavimento.

La adecuada modulaci3n de los tableros de losas permite limitar los esfuerzos por contracci3n y temperatura, promoviendo la formaci3n de fisuras controladas en las juntas de contracci3n y eliminando la necesidad de acero de refuerzo continuo:

$$S_{JT} = (21 \text{ a } 24) D \quad (\text{Ecuaci3n. 24})$$

Donde:

S_{JT} = Separaci3n de Junta Transversal ($\leq 5.0 \text{ m}$)

D = Espesor de Pavimento (9 pulgadas $\approx 0.23 \text{ m}$).

$$S_{JT} = 21(0.23 \text{ m}) = 4.83 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$$

$$S_{JT} = 21(0.23 \text{ m}) = 5 \text{ m} \quad \checkmark \text{ Cumple.}$$

Se utilizo el valor de 21 para la separaci3n de juntas transversales, obteniendo una longitud de 5 m, debido a que se encuentra dentro del rango normativo establecido y garantizando un adecuado comportamiento estructural y reduciendo la cantidad de juntas en el tramo en estudio.

La separaci3n de juntas longitudinales depende del ancho del carril, el cual se encuentra previamente definido en 3.60 m. Si bien la configuraci3n ideal de un tablero de losa es la cuadrada, por razones geom3tricas y funcionales de la v3a se adopta un tablero rectangular con una relaci3n largo–ancho cercano a la unidad, lo cual garantiza un comportamiento estructural adecuado. En consecuencia, las dimensiones del tablero de losa para el tramo en estudio son de 5 m de largo por 3.60 m de ancho.

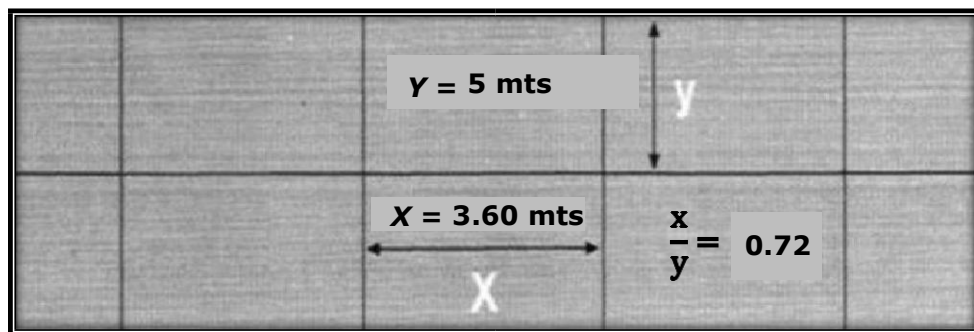
Tabla 52. Dimensiones de tablero.

Tramo	Largo (metros)	Ancho (metros)	Espesor (metros)
1.33 kilómetro de Concreto Hidráulico tramo INCOPSA a MERCOSA y acceso principal del barrio Jerusalén	5.00	3.60	0.23

Fuente: Elaboración propia

La relación entre largo (**L = 5 metros**) y ancho (**A = 3.60 metros**) de un tablero de losas no deberá estar fuera de los límites 0.71 a 1.4 este rango es recomendado por la **Asociación de Cemento Portland**. Cabe mencionar que la Guía de Diseño de Pavimento de la AASHTO recomienda menor de 1.25. En la modulación de losa la relación del tablero no debe estar fuera de estos límites **$0.71 \leq 1 \leq 1.4$** .

Figura 16. Relación entre largo y ancho de un tablero de losa.



Fuente: Elaboración propia

3.4.4.1. Diseño de Juntas.

Debido a los cambios volumétricos que por su naturaleza experimenta el concreto y los sistemas constructivos de los pavimentos rígidos, se hace necesaria la construcción de juntas y/o uniones entre paños o losas de un pavimento. De acuerdo con las especificaciones para la colocación de juntas (**Ver Anexos, Pág. LXIV Tabla 114**), se establece para un espesor de **9 pulgadas** (23 cm) los siguientes dimensionamientos:

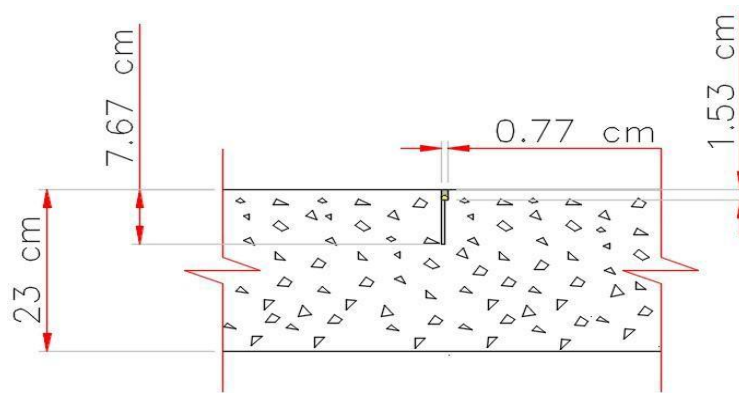
El espaciamiento entre juntas (Columna 1), resultando **552 cm**.

La profundidad de corte de la junta (Columna 2), resultando **7.67 cm**.

La profundidad del material de sellado (Columna 3), resultando **1.53 cm**.

El Ancho del corte para la junta (Columna 4), resultando **0.77 cm**.

Figura 17. Modulaci3n de losa de concreto.



Fuente: Elaboraci3n propia

Con base en el espesor de losa definido en el diseño estructural, se defini3 la modulaci3n de los tableros de losa, adopt3ndose dimensiones de 5 m de largo por 3.60 m de ancho, con un espesor uniforme de 23 cm, lo cual cumple con los criterios recomendados para el control de fisuraci3n en pavimentos r3gidos.

La separaci3n entre juntas permite inducir el agrietamiento controlado del concreto, garantizando un comportamiento estructural adecuado sin necesidad de acero de refuerzo continuo.

Complementariamente, se establecieron las caracter3sticas geom3tricas de las juntas de contracci3n, considerando una profundidad de corte de 7.67 cm, un ancho de corte de 0.77 cm y una profundidad de material de sellado de 1.53 cm, asegurando el correcto funcionamiento de las juntas y la durabilidad del pavimento durante su vida 3til, con lo cual se da por concluido el cap3tulo de diseño estructural del pavimento r3gido.

3.5. Diseño Geométrico

De acuerdo con el Manual para la Revisión de Diseños Geométricos (MTI), 2008) el diseño geométrico constituye uno de los componentes fundamentales en los proyectos de construcción o mejoramiento vial, ya que define la configuración tridimensional de la carretera. Este proceso establece la localización y las características geométricas de los distintos elementos que conforman la vía, con el propósito de garantizar que la infraestructura resultante sea funcional, segura, confortable, estéticamente adecuada, económicamente viable y compatible con el entorno ambiental (p. 28).

3.5.1. Metodología

Con base en la información provista por el TPDA y las particularidades del terreno, se analizan las especificaciones de la calzada y el tipo de carretera de acuerdo con las directrices establecidas en las normativas SIECA 2004 y 2011. Estas características se integran y detallan en el software Civil 3D 2021, proporcionando así un marco sólido para la planificación y diseño del proyecto.

A partir del procesamiento de los datos topográficos proporcionados por la Alcaldía de Managua, los cuales fueron integrados en el software AutoCAD Civil 3D para el modelado digital de la superficie del terreno. Debido a las características particulares del trazo, el proyecto se definió mediante un alineamiento horizontal predominantemente recto en tangentes continuas, omitiendo el cálculo de curvas horizontales complejas al presentar ángulos de deflexión mínimos

Posteriormente, sobre el perfil longitudinal se configuró el alineamiento vertical, adaptando de manera precisa la rasante más eficiente y controlando los valores de pendiente en estricto cumplimiento de los criterios de seguridad de las normativas (SIECA), 2011)

Como etapa conclusiva para la presentación del proyecto, se procedió con la edición de los planos constructivos empleado en el software Civil 3D 2021, presentando de manera detallada los diseños de planta-perfil y secciones transversales. Estos

documentos incluirán la información esencial necesaria para facilitar la ejecución del proyecto de manera eficiente y comprensible.

3.5.2. Vehículo de Diseño

El vehículo de diseño se define como aquel cuya presencia y características representan la máxima exigencia para la vía, considerando su tamaño, peso y comportamiento operativo. Este vehículo se selecciona deliberadamente con el fin de evaluar las condiciones más restrictivas del tránsito, privilegiando aquellos que requieren mayores radios de giro y que presentan dimensiones físicas más amplias (SIECA, 2004, pág. 2.Cap 2)

A partir del análisis de tránsito que hemos realizado, se determinó que el vehículo de carga predominante en la vía es el camión ligero. No obstante, el vehículo de diseño seleccionado corresponde al camión de carga “SU”, equivalente al tipo “C2”, ya que representa el vehículo pesado que ejerce la mayor influencia sobre el deterioro del pavimento y, por tanto, determina las condiciones más exigentes para el diseño de la vía.

Tabla 53. Dimensiones de los vehículos de diseño

Velocidad 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 Semiremolque	WB – 15	4.10	2.60	16.80	0.60	4.50	10.80	
Cabezal Con Semiremolque	WB – 19	4.10	2.60	20.90	0.90	0.60	4.50	10.80
Cabezal Con Semiremolque	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 Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, 2011, p.38

Nota: Las dimensiones están expresadas en metros. WB1 y WB2 corresponden a la distancia entre los ejes extremos.

En la **Tabla 54** se presentan los radios mínimos de giro: el de las trayectorias de las ruedas interiores, el de las ruedas exteriores y el radio mínimo de giro (RMG) medido sobre la línea central.

Tabla 54. Radios mínimos de giro de los vehículos de diseño

Vehículo Tipo	Radio Interior (m)	Radio de Diseño (m)
Automóvil, P	4.2(4.7)	7.3(7.3)
Autobús Sencillo, BUS	7.4	12.8
Camión Sencillo, SU	8.5(8.7)	12.8(12.8)
Camión Articulado, WB-15	5.8(6.0)	13.7(13.7)
Camión Articulado, WB-19	2.8	13.7
Camión Articulado, WB-20	0	13.7

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, 2004, cap. 2, p.4

3.5.3. Tipo de terreno

Para efectos del diseño geométrico de la vía, se adopta una topografía de terreno plano o llano esta clasificación se fundamenta en los resultados obtenidos en el capítulo de **Estudio Topográfico** (Pág. 24) donde se determinó que la pendiente natural del tramo de estudio se encuentra en menor o igual al 5% ($G \leq 5$) cumpliendo estrictamente por los parámetros establecidos por el manual de la (SIECA), 2004) que se detallan en la **Tabla 3** (Pág. 24).

3.5.4. Velocidad de Diseño

También denominada velocidad de proyecto es la velocidad adoptada para efectos del diseño vial, ya que determina las características geométricas de la vía. Representa la mayor velocidad a la que es posible circular de forma cómoda y segura, en condiciones favorables, a lo largo de un tramo específico de la vía (Agudelo, 2002, p. 63).

Para determinar la velocidad de diseño de la vía requiere el conocimiento del TPDA y de la topografía del terreno. Con base en el estudio de tránsito (Pág. 59) el tramo en estudio presenta en TPDA proyectado de 1,251 vpd (**ver Tabla 29, Pág. 59**) y

una clasificación el terreno plano. En consecuencia, la velocidad de diseño adoptada es de 70 km/h, conforme a lo indicado en la **Tabla 55**.

Tabla 55. Velocidades de diseño en kilómetros por hora, en función de los volúmenes de tránsito y la topografía del terreno

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

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

3.5.5. Alineamiento Horizontal

De acuerdo con el Manual para la Revisión de Diseños Geométricos (MTI, 2008, Pag.36), cuando en los puntos de intersección (PI) se presenten ángulos de deflexión iguales o menores a 20 minutos, no es necesario aplicar radios de curvatura para el trazado de curvas horizontales; en estos casos, únicamente se define la deflexión. En los planos del Diseño Geométrico se puede observar que en los puntos de intersección los ángulos de deflexión son menores de 20 min por ende no se requieren de curvas horizontales.

Para verificar el cumplimiento de este criterio en el proyecto, se extrajeron los parámetros geométricos directos del software AutoCAD Civil 3D, los cuales se detallan en la Figura 18.

Figura 18. Geometría del alineamiento Horizontal

Type	Tangency Constraint	Parameter Constr...	Parameter C...	Length	Design Speed	Direction	Start Station	End Station
1 Line	Not Constrained (Fixed)		Two points	70.906m	70 km/h	S8° 18' 48"W	0+000.00m	0+070.91m
2 Line	Not Constrained (Fixed)		Two points	86.675m	70 km/h	S8° 18' 48"W	0+070.91m	0+157.58m
3 Line	Not Constrained (Fixed)		Two points	198.224m	70 km/h	S9° 54' 41"W	0+157.58m	0+355.80m
4 Line	Not Constrained (Fixed)		Two points	460.806m	70 km/h	S8° 49' 36"W	0+355.80m	0+816.61m
5 Line	Not Constrained (Fixed)		Two points	60.469m	70 km/h	S8° 49' 36"W	0+816.61m	0+877.08m
6 Line	Not Constrained (Fixed)		Two points	460.668m	70 km/h	S8° 49' 36"W	0+877.08m	1+337.75m

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la Figura 18, el alineamiento horizontal está constituido por seis tramos rectos (tangentes) continuo con una velocidad de diseño uniforme de 70 km/h.

3.5.6. Alineamiento Vertical

En el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión del Riesgo y Seguridad Vial, publicado en 2011 por el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC) y la SIECA, se establece que: “El alineamiento vertical, o perfil del eje de la carretera, se obtiene al representar en un plano vertical las variaciones de elevación del eje vial. En dicho alineamiento se muestran tanto el perfil del terreno natural como el perfil final del eje de la carretera, denominado rasante, así como el perfil correspondiente a la terracería terminada, conocido como subrasante” (p. 115).

3.5.6.1. Pendiente longitudinal máxima

El tramo en estudio posee un terreno plano, por lo tanto, de acuerdo con la **Tabla 56**, se definió la pendiente máxima en **8%**. Asimismo, el Manual (SIECA), 2011, pág. 119) recomienda una **pendiente mínima del 0.30%** para Colectoras suburbana.

Tabla 56. Pendientes Máxima para Calles Colectoras Urbanas

TIPO DE TERRENO	Máxima Pendiente (%) para la Velocidad de Diseño Especificada, KPH							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Plano	9	9	9	9	8	7	7	6
Ondulado	12	12	11	10	9	8	8	7
Montañoso	14	13	12	12	11	10	10	9

Nota: En tramos urbanos con pendientes cortas (menores a 150 m), de descenso y de una sola vía, así como en aquellos con bajos volúmenes de tránsito, es permisible un incremento de hasta 2% sobre las pendientes establecidas.

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, 2011, p.119

3.5.6.2. Distancia de Visibilidad en Carreteras

La distancia de visibilidad se define como la longitud de carretera que un conductor puede observar de manera continua frente a él, bajo condiciones atmosféricas y de tránsito favorables, suficiente para ejecutar de forma segura las maniobras requeridas durante el proceso de conducción.”

Para este proyecto se contemplan dos tipos de distancia de visibilidad: la distancia de visibilidad de parada y la distancia de visibilidad para rebase o adelantamiento.

3.5.6.2.1. Distancia de Visibilidad de Parada (DVP)

La distancia de visibilidad de parada es la longitud necesaria para que un conductor detenga su vehículo en movimiento al presentarse una situación de peligro o al detectar un objeto imprevisto en su trayectoria. (Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2011, págs. 22, Cap. 4)

La SIECA establece que, para curvas verticales en columpio con una velocidad de diseño de 70 km/h, los valores de distancia de visibilidad de parada (DVP) deben estar comprendidos entre 95 y 110 m. Por lo tanto, para el diseño se selecciona un valor de 110 m, como se indica en la **Tabla 57**

Tabla 57. Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio basados en la distancia de Visibilidad de Parada, DVP

Velocidad de Diseño	Rango de Velocidad de marcha Km/h	Coeficiente de Fricción	Valores de DVP (m)		Factor K de diseño
			Menores	Mayores	
30	30 – 30	0.4	30	30	4-abr
40	40 – 40	0.38	45	45	8-ago
50	47 – 50	0.35	60	65	11-dic
60	55 – 60	0.33	75	85	15 - 18
70	63 – 70	0.31	95	110	20 - 25
80	70 – 80	0.3	115	140	25 - 32
90	77 – 90	0.3	130	170	30 - 40
100	85 – 100	0.29	160	205	37 - 51
110	91 – 110	0.28	180	245	43 - 62

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales, SIECA. 2004, CAP.4, p.74

3.5.6.2.2. Distancia de visibilidad de rebase o adelantamiento

La distancia de visibilidad de adelantamiento corresponde al tramo mínimo de vía que el conductor necesita ver con claridad para realizar una maniobra de adelantamiento a un vehículo que circula delante a menor velocidad, en el mismo carril y sentido. Esta maniobra se ejecuta utilizando temporalmente el carril opuesto, garantizando condiciones de comodidad y seguridad, y sin obligar a reducir la velocidad del vehículo que se aproxima en sentido contrario, el cual es percibido por el conductor justo al comenzar el adelantamiento. (Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2011, págs. 25, Cap.4)

La visibilidad de adelantamiento se requiere únicamente en carreteras de dos Carriles, con tránsito bidireccional” como es el caso del tramo en estudio. (SIECA), 2011, págs. 79, Cap.4)

En función de las velocidades de diseño se determinan las distancias de visibilidad de adelantamiento. Para una velocidad de diseño de 70 km/h, la distancia de visibilidad de adelantamiento requerida es de 485 m, tal como se indica en la **Tabla 58**.

Tabla 58. Distancia de visibilidad adecuada para adelantar

Velocidad de Diseño KPH	Distancia de Visibilidad de Adelantamiento
30	200
40	270
50	345
60	410
70	485
80	540
90	615
100	670
110	730
120	775

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial, 3ra edición, 2011, p.79.

3.5.6.3. Curvas Verticales diseñadas

Las curvas verticales se emplean para lograr una transición adecuada entre tramos de rasante con diferentes pendientes. Su finalidad es proporcionar suavidad al recorrido en el plano vertical, mejorando el confort y la seguridad del tránsito. Generalmente, se utilizan arcos parabólicos, en lugar de arcos circulares, a diferencia de lo que ocurre en las curvas horizontales. Cuando la diferencia algebraica ($A = P_2 - P_1 < 0.5\%$) entre pendientes a unir sea menor de 0.5% las curvas verticales no son necesarias ya que el cambio es tan pequeño que en el terreno se pierde durante la construcción.

De manera general, las curvas verticales se clasifican en curvas en cresta y curvas en columpio. Las curvas en cresta se proyectan considerando la máxima distancia de visibilidad de parada, mientras que las curvas en columpio se diseñan en función del alcance de iluminación de los faros del vehículo de diseño.

La Figura 19 muestra el diseño de las curvas verticales realizado en Civil 3D, el cual consistió en definir longitudes de curvas adecuadas, cumpliendo con el valor K recomendado por SIECA 2011 (**Ver Tabla 57. Pag.96**)

Figura 19. Diseño de curvas verticales del tramo en Civil 3D

No.	PVI Station	PVI Elevation	Grade In	Grade Out	A (Grade Change)	Profile Curve Type	Profile Curve Length	K Value
1	0+000.00m	76.578m		0.17%				
2	0+241.10m	76.983m	0.17%	0.90%	0.73%	Sag	45.000m	61.294
3	0+501.10m	79.328m	0.90%	0.49%	0.42%			
4	0+801.10m	80.787m	0.49%	0.66%	0.18%			
5	0+961.10m	81.850m	0.66%	0.63%	0.03%			
6	1+241.10m	83.622m	0.63%	1.62%	0.99%	Sag	50.000m	50.550
7	1+337.75m	85.190m	1.62%					

Fuente: Elaboración Propia

3.5.6.3.1. Cálculo de la curva vertical critica

De la Figura 19, la curva de la estación 1+241.10m corresponde a la curva vertical critica, debido a que es la que posee mayor gradiente (A). Se procede a realizar su cálculo y a verificar el cumplimiento de los criterios de diseño

Tabla 59. Elementos para el diseño geométrico:

Velocidad de diseño	70	kph
Distancia de parada	110	m

Fuente: Elaboración propia

Datos de la curva

- Pendiente de entrada (P_1): 0.63%
- Pendiente de salida (P_2): 1.62%
- Distancia visibilidad de parada (D_p): 110m
- Longitud de diseño (L): 50.000m
- Tipo de curva: Columpio
- Valor K: 50.550
- Valor Kmin: 25

Criterio para curvas verticales

Si $A = P_2 - P_1 < 0.5\%$, las curvas verticales no son necesarias (Ec.25)

Cuando $A < 0$ (-), la Curva es Cresta.

Cuando $A > 0$ (+), la Curva es Columpio.

1. Cálculo de la diferencia algebraica de pendientes:

$A = P_2 - P_1 = 1.62 - 0.63 = 0.99$ (-) $< 0.5\%$, entonces requiere **curva vertical**. Dado que la diferencia algebraica de pendientes es positiva se considera como una **curva tipo columpio**

2. Cálculo de la longitud mínima de diseño

$$L_{min} = \frac{A * D_p^2}{120 + 3.5 * D_p} = \frac{0.99 * 110^2}{120 + 3.5(110)} = 23.72 \quad (\text{Ecuacion.26})$$

$$L_{min} = k * A = 25 * 0.99 = 24.75 \text{ m} \quad (\text{Ecuacion.27})$$

Comparación con la longitud de diseño. Se compara la longitud de diseño propuesta (180m) contra la mínima calculada:

$$50\text{m} \geq 24.75\text{m} \text{ "OK"}$$

Criterios

a) Criterio de comodidad:

$$L \geq \frac{A \cdot V^2}{395} = 50 \geq \frac{0.99 \cdot 70^2}{395} = 50 \geq 12.28 \quad \checkmark \text{ Cumple} \quad (\text{Ecuacion.28})$$

b) Criterio de apariencia:

$$L \geq 30 \cdot A = 50 \geq 30 \cdot 0.99 = 50m \geq 29.7m \quad \checkmark \text{ Cumple} \quad (\text{Ecuacion.29})$$

c) Criterio de drenaje:

$$L \leq 51 \cdot A = 50 \leq 51 \cdot 0.99 = 50m \leq 50.49m \quad \checkmark \text{ Cumple} \quad (\text{Ecuación. 30})$$

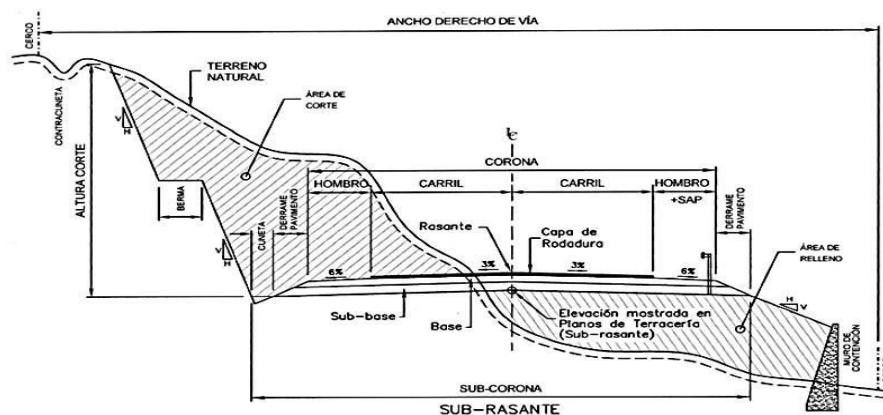
Por lo tanto, la curva crítica cumple satisfactoriamente con los criterios de diseño.

3.5.7. Secciones transversales.

La sección transversal de una carretera, conforme a las directrices de AASHTO, se define como el corte vertical perpendicular al eje de alineamiento horizontal, mediante el cual se representan con precisión las dimensiones, disposición y características de los distintos elementos que conforman la vía, tales como la corona, el rodamiento, los hombros y las bermas. (Agudelo Ospina, 2002, pág. 258)

En la Figura 20 se muestra los elementos fundamentales que normalmente se incluyen en una carretera: plataforma o corona, cunetas, taludes, etc.

Figura 20. Sección transversal en carretera en dos direcciones



Fuente: CEPREDENAC y SIECA, (2011), p. 138

3.5.7.1. Derecho de la vía.

De acuerdo con la normativa (Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA), 2004), el derecho de vía se define como el espacio territorial que es adquirido por la entidad responsable de la infraestructura vial, generalmente el Estado, con el propósito de permitir la construcción y operación de una carretera. (p. 77). Las condiciones actuales del derecho de vía en el tramo en estudio al revisar el levantamiento Topográfico brindado por la Alcaldía de Managua, tiene un promedio de derecho de vía existente de 16 m. sin embargo, se constató invasión por construcciones de diferentes tipos, reduciendo los espacios de libre circulación, en donde existe un derecho de vía de 13.67 m.

3.5.7.2. Bombeo Normal.

Se denomina pendiente transversal de la corona a la inclinación que se dispone en los tramos rectos del alineamiento horizontal, orientada hacia uno u otro lado del eje de la vía, con el propósito de asegurar la evacuación adecuada de las aguas superficiales. Un bombeo bien diseñado es aquel que garantiza un drenaje eficiente utilizando la menor pendiente posible, de manera que no genere molestias ni sensaciones de inseguridad para el usuario de la vía. (SIECA), 2011, págs. 22, Cap.4)

Para garantizar el drenaje eficiente de las aguas pluviales, se adoptó una pendiente transversal **(bombeo) del 2.0%** desde el eje hacia los hombros. Este valor se justifica en la normativa SIECA (2011, p.139), donde la **Tabla 60** establece un 2.0% como máximo valor para carreteras con superficie de pavimento superior.

Tabla 60. Bombeo Normal de Calzada

Tipo de Superficie	Rango de Pendientes Transversales
Alto	1.5 - 2.0
Bajo	2.0 -6.0

Fuente: SIECA-2011, p.139

3.5.7.3. Corona

La corona vial se define como la superficie expuesta de una carretera o calle comprendida entre las aristas del relleno y/o los bordes interiores de las cunetas. El ancho de la corona incluye los elementos geométricos que conforman la sección transversal, tales como la rasante, la pendiente transversal, el ancho de la calzada, los hombros, el sobreancho del hombro en zonas de relleno, las aceras o banquetas y, cuando corresponde, la mediana, siempre que esta forme parte del diseño vial. (SIECA), 2011, pág. 137)

3.5.7.3.1. Calzada.

Las características geométricas de la calzada no son constantes a lo largo del camino, ya que pueden variar según la ubicación de la sección dentro del alineamiento horizontal y, en casos excepcionales, en el alineamiento vertical, con el fin de responder a las condiciones del trazado y a los criterios de diseño vial. El Manual SIECA (2011, p.141), para una carretera de dos carriles en zona suburbana, define un ancho de calzada deseable predominante de **7.20 metros** (carriles de 3.60 m)

3.5.7.3.2. Ancho de hombros

Según CEPREDENAC y SIECA (3ª. Edición, 2011), en el capítulo 4, establece que los hombros pueden tener pendientes transversales de 2 al 6 por ciento cuando se trata de hombros asfaltados o con concreto hidráulico. En el Diseño se propone utilizar la pendiente transversal de la acera de 2%.

En la **Tabla 61** se especifican los anchos de aceras recomendados de acuerdo con el tipo de carretera

Tabla 61. Anchos mínimos de hombros y aceras

Tipo de Carretera		Acceso	Tipo de Superficie	Ancho de Hombros (m)		Ancho de aceras (m)
				Internos	Externos	
AR	Autopistas Regionales	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	1.8 - 2.5	-
TS	Troncales Suburbanas	Controlado	Alto	1.0 - 1.5	1.8 - 2.5	1.2 - 2.0
TR	Troncales Rurales	-	Alto	0.5 - 1.0	1.2 - 1.8	1.2 - 1.5
CS	Colectoras Suburbanas	-	Intermedio	0.5*	1.2 - 1.5	1.0 - 1.2
CR	Colectoras Rurales	-	Intermedio	-	1.2 - 1.5	1.0 - 1.2

Fuente: Tomado de Manual centroamericano para el Diseño Geométrico de carretera con enfoque de Gestión de riesgo y seguridad vial, Cuadro 4.2 (p. 142), por SIECA, Edición 2011.

Dado que la vía es una Colectora Suburbana el rango de valores recomendados para aceras varía entre 1.00 - 1.20 m por lo que se propone de **1.20 m**, Consecuentemente el ancho de corona corresponde: **9.90 m** (sumatoria de dos veces el ancho de acera más dos veces el bordillo más el ancho de calzada).

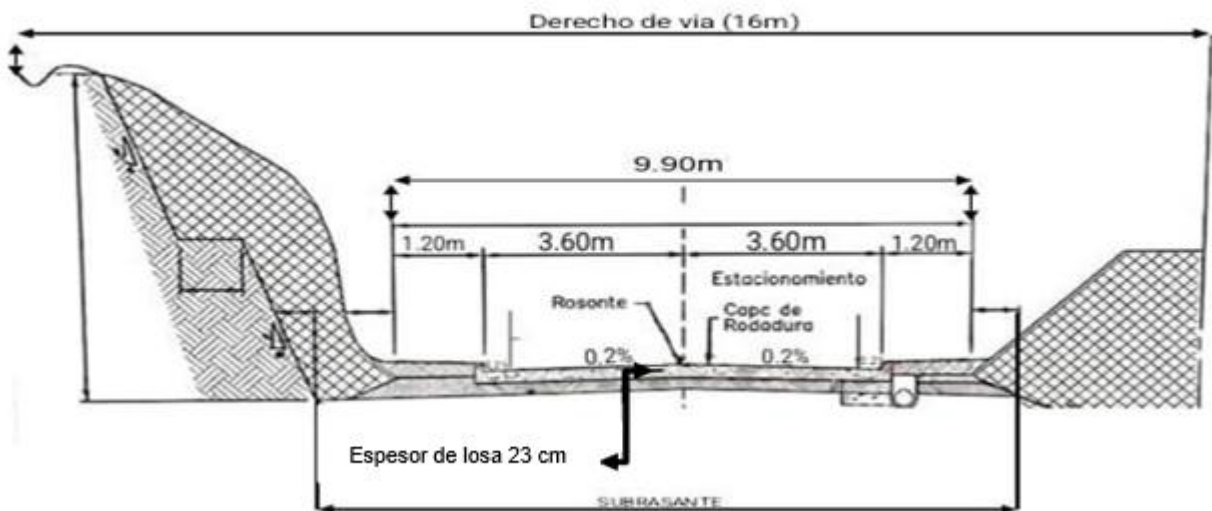
Ancho de acera: 1.20 m

Ancho de bordillo: 0.15 m

Ancho de calzada: 7.20 m

Ancho de corona: $2(1.20 \text{ m}) + 2(0.15 \text{ m}) + 7.20 \text{ m} = 9.90 \text{ m}$

Figura 21. Sección transversal definida



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la **Tabla 62** muestra un resumen de todos los parámetros aplicados en este diseño, con el objetivo de comprobación de la aplicación correcta de la normativa.

Tabla 62. Características de la calle

CARACTERÍSTICAS	VALORES	UNIDAD
Clasificación Funcional	Colectora Suburbana	
Vehículo de Diseño (Cabezal semirremolque)	C2	
Velocidad de Diseño	70	KPH
Tipo de Terreno	Plano	
Pendiente Mínima	0.5	%
Pendiente Longitudinal Máxima	8	%
Distancia de Visibilidad de parada	110	m
Distancia de Visibilidad de adelantamiento	485	m
Derecho de Vía	16	m
Ancho de Corona	9.90	m
Número de Carriles	2	und
Ancho de Carril	3.60	m
Acera	1.20	m
Pendiente transversal (Calzada)	2	%

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Del análisis de la información de los estudios preliminares al diseño geométrico vial y de pavimento rígido (topográfico, suelo, tránsito) y los resultados técnicos de la propuesta, según los objetivos de investigación planteados, se considera lo siguiente:

- a. Se válido el estudio topográfico proporcionado por la Alcaldía de Managua, confirmando que cumple con los estándares de precisión y detalle requeridos por el manual de revisión de levantamiento topográfico del MTI para un proyecto de colectora suburbana, considerando no es necesario el planteo de curvas horizontales dado que el terreno presenta ángulos de deflexión iguales o menores a 20 minutos, si se hizo necesario el planteo de curvas verticales dada las pendientes del terreno, está al 8%, suavizada a fin de generar rasante de circulación satisfactorias, con cortes y rellenos que no excedan al nivel de terreno natural, presentando los planos planimétrico y altimétricos, este desde la perspectiva longitudinal y transversal.
- b. Mediante el análisis de datos proporcionados ACONSA, elaborados por DYSCONCSA, se determinaron las propiedades físico-mecánicas del terreno (suelo), logrando establecer los valores de soporte (CBR) de 16.2% necesarios para garantizar la estabilidad y capacidad de carga de la estructura de pavimento diseñada.
- c. Se determino el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y el número de ejes equivalentes (ESALs) 2,666,076.00, proyectados para un periodo de diseño de 20 años, aplicando rigurosamente los criterios del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

- d. Mediante el método AASHTO-93, se determinó un espesor de losa de concreto de 9 pulgadas (23 cm), el cual garantiza la capacidad estructural necesaria para resistir las cargas vehiculares proyectadas durante el periodo de diseño, asegurando un desempeño adecuado y una vía acorde a la clasificación funcional de la vía. Con la modulación de los tableros de losa, adoptándose dimensiones de 5.00m de largo por 3.60m de ancho, con un espesor uniforme de 23 cm, lo cual cumple con los criterios recomendados para el control de fisuración en pavimentos rígidos

- e. Se completo el diseño geométrico del tramo utilizando el software Civil 3D, integrando las normativas de la SIECA 2011, lo que resulto en una propuesta vial que garantiza la seguridad, visibilidad y funcionalidad adecuada para la zona de Managua. Siendo una Colectora Suburbana con tránsito Vehículo de Diseño C2 (Cabezal semirremolque) y la Velocidad de Diseño a 70km/h en un terreno Plano, con pendiente Longitudinal del 8%, una distancia de visibilidad de parada de 110m, una distancia de visibilidad de adelantamiento de 485m para un derecho de vía de 16m, un ancho de corona de 9.90m, de 2 carriles, un ancho de carril de 3.60m, una acera de 1.20m y una pendiente transversal (Calzada) del 2%.

RECOMENDACIONES

Se sugiere a la Alcaldía de Managua (ALMA) realizar conteos de tráfico periódicos en el tramo de la colectora suburbana para verificar si la tasa de crecimiento proyectada se mantiene, o si el desarrollo urbanístico de la zona de Sabana Grande exige ajustar el horizonte de diseño de la vía.

Se recomienda a la Dirección de Infraestructura de la municipalidad la ejecución de un plan de mantenimiento preventivo específico para pavimento rígido, con énfasis en el sellado de juntas, para evitar la infiltración de agua y garantizar que se cumpla la vida útil de 20 años diseñada.

Considerando que realizamos el diseño estructural mediante la metodología AASHTO-93, se recomienda a los supervisores de obra verificar rigurosamente que los materiales de base y subrasante cumplan con los valores de CBR establecidos en este estudio antes de proceder al colado de las losas de concreto.

Dada la velocidad de diseño y la importancia de esta vía como colectora, se recomienda realizar un estudio de señalización vial horizontal y vertical que refuerce la seguridad en las intersecciones, priorizando la visibilidad de parada de acuerdo con las normativas de la SIECA aplicadas en nuestro diseño geométrico.

Se recomienda a futuros investigadores utilizar este proyecto como base para estudios de impacto ambiental o planes de drenaje pluvial complementarios, integrando el modelo digital aquí presentado para una gestión integral de la infraestructura vial en el sector.

BIBLIOGRAFIA

- (AASHTO-93). (2006). *Guia de Diseño para estructura de pavimentos*. La paz: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO . (1993). *Guia AASHTO para Diseño de Estructura de Pavimento*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, DC: AASHTO.
- Agudelo Ospina, J. (2002). *Diseño geométrico de vías: Ajustado al manual colombiano*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- BCN. (2025). *Anuario de Estadísticas Macroeconómicas 2024*. Managua, Nicaragua: BCN.
- Cal y Mayor, R. C. (2018). *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones*. Mexico D.F.: Alfaomega Grupo Editor.
- CEMEX. (2018). *Manual de pavimento cemex impulsando el desarrollo de Mexico*. Monterrey: CEMEX.
- Coronado Iturbide, J. (2002). *Manual Centriamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala: Secretaria de Integración Económica Centroamericana.
- DAS, BRAJA M. (2012). *Fundamentos de la Ingeniería de Cimentaciones* (6a ed. ed.). Mexico: Cengage Learning.
- Fonseca, M. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Gómez Morales, W. R. (2015). *Texto básico autoformativo de topografía general*. Managua: Universidad Nacional Agraria.

- INIDE. (s.f.). *Nicaragua Estimaciones y Proyecciones de Poblacion Nacional*. Managua, Nicaragua: INIDE.
- James, C. G. (2013). *Diseño geométrico de carreteras*. Bogota: Ecoe Ediciones.
- Marquez, G. (1994). *Curso Basico de topografia*. Mexico: Arbol Editorial.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). (2008). *Clasificación de vías terrestre*. managua: MTI.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI. (2008). *Manual para la Revision de Estudios topografico*. Managua: Division General de Planificacion de Transporte e Infaestructura.
- Ministerio de Trasporte e infra Estructura Division General de Planificacion MTI. (2008). *Manual para Revision de Diseño Geometrico*. Managua: Division General de Planificacion.
- MTI. (2020). *ANUARIO DE AFORO DE TRAFICOS 2020*. Managua.
- Navarro Hudiel; Acuña Mendoza. (2021). Determinacion de tasas de crecimiento de transito promedio diario anual. *Revista Ciencia y Tecnologia EL Higo* , 70-85.
- NIC. (2000). *Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC-2000)*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). (marzo de 2004). *Manual entroamericano de de normas para diseño geometrico de carreteras* . Guatemala: SIECA.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*. Guatemala: SIECA. Obtenido de (CEPRENAC & SIECA, 2011).

Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). (2015). *Manual centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala: SIECA.

villalobos, f. (2016). *Mecanica de suelo*. Santiago: Editorial Universidad de Concepción (o Sello Editorial UdeC).

ANEXOS

A) Figuras del tramo de INCOPSA a MERCOSA

Figura 22. Estación 0+000 (estación de conteo)



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Estación 1+1330



Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Situación actual de la entrada Jerusalén. EST 0+700



Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Situación Actual de Salida del Tramo Est 1+330



Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Situación vial de tránsito del tramo Est 0+300



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Acumulación de agua en el tramo. Est 0+900



Fuente: Elaboración propia

B) Puntos de control topográfico

Tabla 63. Puntos del tramo P1 – P35

Puntos	X	Y	Z	Descripción
1	591096.712	1341552.762	0.7959	17
2	591097.842	1341553.673	0.5762	12
3	591090.401	1341549.656	0.6233	12
4	591078.589	1341544.365	0.4624	12
5	591070.187	1341540.507	0.5308	12
6	591068.152	1341539.314	0.522	17
7	591061.352	1341536.494	0.7113	12
8	591031.289	1341522.98	1.0476	12
9	591022.599	1341519.004	1.2299	12
10	591020.623	1341518.307	1.3617	12
11	591013.848	1341515.027	1.1447	12
12	591005.041	1341510.899	1.2355	12
13	591003.729	1341510.886	1.1827	17
14	591003.376	1341509.98	1.2055	12
15	591001.477	1341508.707	1.207	12
16	590999.608	1341507.11	1.387	12
17	591000.379	1341508.04	1.1855	22
18	590997.763	1341507.329	1.052	17
19	590998.315	1341504.948	1.3957	12
20	590997.245	1341503.237	1.4745	12
21	590994.703	1341499.951	1.1393	12
22	590994.227	1341499.011	1.4289	12
23	590993.481	1341496.861	1.5294	79
24	591093.626	1341586.462	-0.1326	BCT
25	591086.196	1341585.278	-0.1738	BCT
26	591076.051	1341583.791	-0.2003	BCT
27	591067.732	1341583.096	-0.2811	BCT
28	591060.614	1341583.352	-0.285	BCT
29	591046.109	1341584.527	-0.4005	BCT
30	590996.345	1341589.984	-0.3568	BCT
31	590993.025	1341591.042	0.1519	23
32	590991.219	1341590.853	0.2686	12
33	590990.853	1341590.427	-0.2243	79
34	590974.736	1341592.33	-0.2016	23
35	590979.132	1341591.633	-0.2906	79

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64. Puntos del tramo P36 – P70

Puntos	X	Y	Z	Descripción
36	590988.365	1341591.674	0.2372	12
37	590977.876	1341592.789	0.1021	12
38	590961.759	1341594.706	0.2213	12
39	590946.561	1341596.551	0.0517	12
40	590976.106	1341591.7	-0.3503	79
41	590939.238	1341597.351	-0.0506	12
42	590966.026	1341592.668	-0.427	79
43	590959.149	1341592.736	-0.3622	79
44	590959.178	1341592.657	-0.093	7
45	590959.168	1341592.519	-0.1086	7
46	590959.156	1341592.486	-0.2497	8
47	590958.768	1341588.687	-0.1416	S/CHD
48	590958.808	1341588.684	-0.197	P/79
49	590950.971	1341593.615	-0.2723	79
50	590950.965	1341593.577	-0.0348	7
51	590950.965	1341593.443	-0.0658	7
52	590950.981	1341593.389	-0.1809	8
53	590933.001	1341595.598	-0.1112	79
54	590932.989	1341595.558	0.0376	7
55	590932.988	1341595.449	0.0162	7
56	590932.936	1341595.401	-0.1203	8
57	590958.339	1341584.704	-0.1018	B/CHD
58	590958.322	1341584.679	-0.1536	79
59	590948.055	1341585.853	0.0601	P/CHD
60	590948.09	1341585.826	-0.0638	79
61	590932.062	1341587.645	0.1099	B/CHD
62	590932.054	1341587.623	-0.0162	79
63	590920.034	1341597.121	-0.171	79
64	590919.976	1341597.045	0.0864	7
65	590919.979	1341596.936	0.0764	7
66	590919.959	1341596.889	-0.0638	8
67	590910.25	1341598.236	-0.2829	79
68	590910.226	1341598.206	0.0497	7
69	590910.204	1341598.043	0.0235	7
70	590910.199	1341597.97	-0.089	8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65. Puntos del tramo P71 – P105

Puntos	X	Y	Z	Descripción
71	590909.389	1341590.266	0.1056	B/CHD
72	590909.391	1341590.217	-0.0531	79
73	590908.164	1341580.323	0.1742	79
74	590908.143	1341580.255	0.307	B/CHD
75	590906.819	1341572.376	0.2409	79
76	590906.8	1341572.419	0.5579	7
77	590906.864	1341572.545	0.5308	7
78	590906.89	1341572.609	0.3938	8
79	590925.745	1341578.276	0.1349	79
80	590925.712	1341578.21	0.2998	B/CHD
81	590914.511	1341571.515	0.2583	79
82	590914.512	1341571.529	0.5721	7
83	590914.529	1341571.719	0.5494	7
84	590914.567	1341571.729	0.3853	8
85	590937.326	1341577.005	0.1385	79
86	590937.419	1341576.911	0.276	B/CHD
87	590927.126	1341570.066	0.2147	79
88	590927.132	1341570.067	0.5242	7
89	590927.216	1341570.203	0.4748	7
90	590927.184	1341570.308	0.3339	8
91	590955.422	1341574.945	0.184	B/CHD
92	590955.462	1341574.947	0.0519	79
93	590957.365	1341574.725	0.0377	79
94	590957.42	1341574.712	0.1846	B/CHD
95	590957.046	1341570.678	0.173	79
96	590957.01	1341570.699	0.2048	B/CHD
97	590941.394	1341568.442	0.3005	79
98	590941.396	1341568.457	0.3901	7
99	590941.427	1341568.637	0.3659	7
100	590941.446	1341568.654	0.3175	8
101	590941.601	1341568.433	0.2005	79
102	590941.561	1341568.446	0.5101	7
103	590941.614	1341568.579	0.4891	7
104	590941.607	1341568.599	0.3292	8
105	590956.635	1341566.73	0.1422	79

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66. Puntos del tramo P106 – P140

Puntos	X	Y	Z	Descripción
106	590956.647	1341566.78	0.4145	7
107	590956.608	1341566.922	0.3809	7
108	590956.64	1341566.992	0.252	8
109	590919.122	1341568.834	0.0925	13
110	590926.609	1341567.958	0.056	13
111	590933.957	1341567.036	0.1494	13
112	590942.397	1341565.887	0.1793	13
113	590942.587	1341565.915	0.2122	13/14
114	590951.239	1341564.94	0.2456	13/14
115	590958.792	1341563.972	0.1642	13/14
116	590966.349	1341563.07	0.0639	13/14
117	590973.993	1341562.156	0.1134	13/14
118	590980.744	1341561.307	0.0373	13/14
119	590986.601	1341560.617	0.2363	13/14
120	590988.444	1341559.605	0.2694	23
121	590986.57	1341559.396	0.3691	13/14
122	590986.377	1341557.025	1.0159	13/14
123	590985.971	1341554.884	0.7797	13/14
124	590985.401	1341550.169	0.583	dic-14
125	591064.482	1341553.618	0.5477	79
126	591047.674	1341555.31	0.4546	79
127	591042.943	1341555.98	0.406	79
128	591067.906	1341545.856	0.1414	79
129	591061.755	1341543.87	0.039	79
130	591024.788	1341559.129	0.1184	79
131	591018.253	1341560.19	0.0713	79
132	591007.954	1341561.494	-0.0313	79
133	590991.002	1341563.108	-0.0235	79
134	591028.208	1341532.329	0.1624	79
135	590980.806	1341564.131	-0.0167	79
136	591017.646	1341526.878	0.1988	79
137	590970.572	1341565.274	0.0443	79
138	591008.989	1341521.57	0.7254	79
139	591005.187	1341519.039	0.8778	79
140	591001.25	1341515.738	1.0138	79

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67. Puntos del tramo P141 – P135

Puntos	X	Y	Z	Descripción
141	590993.565	1341505.419	0.8521	79
142	590986.213	1341545.814	-0.0619	79
143	590991.828	1341502.489	0.8595	79
144	590990.541	1341500.628	0.6673	79
145	590987.198	1341540.849	0.0208	79
146	590988.603	1341538.438	0.2449	79
147	590990.453	1341496.514	0.5852	79
148	590989.796	1341495.54	0.64	79
149	590988.866	1341494.079	0.6939	79
150	590988.401	1341492.94	0.706	79
151	590987.73	1341491.775	0.7582	79
152	590987.512	1341490.741	0.7432	79
153	590987.403	1341489.825	0.8222	79
154	590987.281	1341486.787	0.9387	79
155	590987.025	1341485.1	0.9549	79
156	590988.257	1341533.768	1.0699	79
157	590987.496	1341527.346	1.3027	79
158	590987.158	1341521.423	1.2998	79
159	590986.541	1341519.541	1.3413	79
160	590985.715	1341517.767	1.3943	79
161	590984.236	1341516.006	1.4594	79
162	590982.434	1341514.073	1.4632	79
163	590979.988	1341494.519	1.3057	17
164	590982.449	1341514.079	1.4593	79
165	590997.938	1341511.669	1.5623	14
166	591000.704	1341513.861	1.4555	14
167	591000.753	1341513.952	1.1394	79
168	590997.855	1341512.2	1.2005	79
169	590998.03	1341511.604	1.2672	79
170	590990.373	1341496.387	0.5977	31
171	590989.429	1341497.3	0.6029	31
172	590991.125	1341499.498	0.4488	31
173	590992.402	1341500.956	0.4845	31
174	590993.133	1341500.236	0.3899	31
175	590993.19	1341503.228	0.749	30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68. Puntos del tramo P176 – P210

Puntos	X	Y	Z	Descripción
176	590993.831	1341502.757	0.3743	31
177	590995.09	1341502.869	0.3955	31
178	590995.993	1341502.467	1.3657	30
179	590994.023	1341504.127	0.6951	30
180	590994.411	1341503.922	0.3583	31
181	590995.377	1341503.51	0.3741	31
182	590996.066	1341503.149	1.5293	30
183	590995.276	1341505.988	0.6194	30
184	590996.414	1341505.256	0.3603	31
185	590996.413	1341505.259	0.362	31
186	590996.613	1341505.063	1.2224	30
187	590996.411	1341507.933	0.5067	30
188	590997.718	1341506.5	0.2271	31
189	590997.508	1341506.777	0.2645	31
190	590997.967	1341506.234	1.2981	30
191	590998.937	1341509.895	0.4577	30
192	590999.119	1341509.754	0.1141	31
193	590999.799	1341508.974	0.1308	31
194	590999.982	1341508.592	0.9315	30
195	591000.884	1341511.857	0.6765	30
196	591001.107	1341511.606	0.1586	31
197	591002.009	1341510.525	0.1109	31
198	591002.203	1341510.311	0.7906	30
199	591003.377	1341513.547	0.524	30
200	591003.598	1341513.364	0.0381	31
201	591004.496	1341512.757	0.0986	31
202	591004.939	1341512.176	0.9916	30
203	591004.308	1341514.779	0.6216	30
204	591004.708	1341514.474	0.0505	31
205	591005.814	1341513.475	0.2101	31
206	591006.023	1341513.192	1.0096	30
207	591005.942	1341515.945	0.77	30
208	591006.171	1341515.77	0.0305	31
209	591007.133	1341515.092	0.1994	31
210	591008.067	1341514.16	1.0534	30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Puntos del tramo P211 – P245

Puntos	X	Y	Z	Descripción
211	591007.783	1341517.526	0.486	30
212	591008.039	1341517.29	-0.1702	31
213	591008.415	1341516.335	-0.1457	31
214	591009.276	1341515.336	1.2348	30
215	591009.054	1341518.698	0.308	30
216	591009.367	1341518.551	-0.1925	31
217	591009.959	1341517.59	-0.139	31
218	591010.848	1341516.541	1.1925	30
219	591011.144	1341520.654	0.5044	30
220	591011.622	1341520.022	0.028	31
221	591012.104	1341519.492	-0.2406	31
222	591011.393	1341516.928	0.6714	31
223	591011.707	1341517.135	0.7559	31
224	591011.84	1341517.298	1.1933	30
225	591013.367	1341515.154	1.1812	30
226	591013.155	1341515.081	0.8065	31
227	591012.755	1341514.89	0.7908	31
228	591012.457	1341514.724	1.2146	30
229	591012.886	1341522.342	0.2413	30
230	591013.402	1341521.707	0.0436	31
231	591012.58	1341519.896	-0.158	31
232	591013.086	1341519.446	0.9726	30
233	591014.731	1341518.76	1.0378	SALIDA TUBO
234	591014.412	1341522.56	-0.1988	31
235	591015.021	1341521.41	-0.0773	31
236	591015.358	1341520.869	0.8907	30
237	591016.24	1341524.441	-0.0001	30
238	591016.424	1341524.021	-0.1324	30
239	591017.132	1341523.25	-0.2504	31
240	591017.373	1341522.891	0.617	30
241	591017.627	1341525.569	0.0781	30
242	591017.966	1341525.179	-0.1181	31
243	591018.549	1341523.928	0.1151	31
244	591018.834	1341523.404	0.6264	30
245	591017.727	1341522.367	0.7523	Tigüilote

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70. Puntos del tramo P246– P280

Puntos	X	Y	Z	Descripción
246	590985.197	1341547.638	0.6774	12
247	590985.609	1341533.775	1.13	Tigüilote
248	590983.433	1341536.048	0.9069	12
249	590982.667	1341529.801	1.079	dic-13
250	590982.557	1341528.575	1.0478	22
251	590981.513	1341522.305	1.1278	13
252	590980.435	1341515.318	1.4153	13
253	590974.823	1341512.911	1.2214	dic-13
254	590967.874	1341509.48	1.2532	dic-13
255	590961.898	1341506.784	1.168	dic-13
256	590970.295	1341499.101	1.1967	79
257	590953.267	1341502.585	1.0622	12
258	590967.89	1341498.665	1.4245	Tigüilote
259	590942.811	1341497.794	1.1239	12
260	590966.379	1341499.319	1.5482	25
261	590963.101	1341498.119	1.2969	22
262	590960.484	1341494.759	0.944	79
263	590944.988	1341487.952	0.8045	12
264	590994.809	1341483.188	1.2566	79
265	590988.554	1341466.824	1.7267	79
266	590975.084	1341470.097	1.6011	Tigüilote
267	590974.732	1341471.155	1.56	12
268	590974.672	1341465.488	1.8056	Tigüilote
269	590985.265	1341444.556	1.7236	79
270	590973.288	1341467.186	1.7506	79
271	590973.43	1341453.595	1.81	17/0.10
272	590972.284	1341453.515	1.6507	17/0.10
273	590972.221	1341453.718	1.6288	12
274	590971.241	1341440.809	1.9344	17/0.10
275	590970.474	1341442.356	1.6972	12
276	590967.201	1341430.199	1.8426	79
277	590967.952	1341590.063	2.0633	79
278	590962.894	1341404.809	1.7516	79
279	590972.467	1341593.592	2.3185	17
280	590965.175	1341570.25	2.2148	79

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71. Puntos del tramo P281– P210

Puntos	X	Y	Z	Descripción
281	590964.485	1341559.111	2.2928	12
282	590965.066	1341551.931	2.3159	17
283	590965.33	1341557.709	2.672	17/.20
284	590987.005	1341423.681	1.3412	12
285	590980.527	1341423.199	1.6996	79
286	590979.657	1341414.18	2.1161	17/.20
287	590986.531	1341604.115	1.9928	17/.20
288	590984.814	1341586.911	2.0248	39
289	590985.175	1341599.527	2.0904	LIMITE
290	590980.977	1341567.14	2.2525	12
291	590979.041	1341557.209	2.3171	12
292	590979.288	1341553.337	2.1932	79
293	590977.093	1341543.444	2.1637	12
294	590975.979	1341534.561	2.2388	79
295	591008.645	1341422.584	1.2399	12
296	591013.483	1341422.3	1.1645	12
297	591016.77	1341422.081	1.1509	12
298	591019.608	1341422.15	1.0802	12
299	591024.734	1341421.755	1.1542	12
300	591028.945	1341421.465	1.1591	12
301	591031.186	1341421.479	1.1253	12
302	591023.253	1341411.451	1.4204	LIMITE
303	591019.168	1341411.62	1.3962	LIMITE
304	591014.169	1341412.203	1.4278	LIMITE
305	591009.551	1341412.463	1.3816	LIMITE
306	591005.012	1341412.674	1.4061	LIMITE
307	591001.081	1341412.45	1.4399	LIMITE
308	590998.019	1341412.21	1.4584	LIMITE
309	590996.577	1341411.978	1.4818	LIMETE
310	590994.923	1341411.629	1.4963	LIMETE

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72. Puntos del tramo P311– P345

Puntos	X	Y	Z	Descripción
311	590993.558	1341411.167	1.5048	LIMITE
312	590991.575	1341410.557	1.4666	LIMITE
313	590989.032	1341409.596	1.4289	LIMITE
314	590986.832	1341408.468	1.4695	LIMITE
315	590984.484	1341407.144	1.5091	LIMITE
316	590981.823	1341405.394	1.5782	LIMITE
317	590986.113	1341603.934	1.9881	LIMITE
318	590985.434	1341601.892	2.0745	LIMITE
319	590962.691	1341534.175	2.4392	17/0.10
320	590954.217	1341328.209	2.715	17/0.10
321	590952.108	1341315.879	2.7313	17/0.10
322	590951.338	1341313.142	2.7205	17/0.15
323	590946.85	1341292.809	2.8549	17/0.10
324	590942.843	1341273.374	3.0546	17/0.15
325	590957.805	1341256.026	2.9622	17/0.25
326	590958.219	1341256.869	3.0564	12
327	590958.611	1341265.419	3.14	17/0.15
328	590960.014	1341266.456	3.1006	79
329	590963.163	1341286.318	2.7573	79
330	590959.748	1341290.523	2.8404	17/0.15
331	590965.884	1341305.616	2.5801	79
332	590966.302	1341317.557	2.4742	17/0.15
333	590967.757	1341325.3	2.4206	12
334	590976.485	1341538.354	2.494	12
335	590957.917	1341255.006	2.9848	14
336	590955.358	1341246.262	3.1181	17/0.35
337	590937.896	1341253.269	3.1623	9
338	590935.801	1341239.392	3.0822	9
339	590950.997	1341215.848	3.1965	14
340	590941.646	1341153.905	3.806	14
341	590940.809	1341147.578	3.9054	14
342	590938.215	1341130.589	4.0259	14
343	590938.338	1341130.522	4.0259	49
344	590937.87	1341127.623	4.051	49
345	590937.772	1341127.59	4.0512	14

Fuente: Elaboración propia

C) Estudio de suelo.

Figura 28. Estado actual del tramo de estudio



Fuente: Elaboracion propia

Figura 29. Actividades de construcción en el tramo de estudio



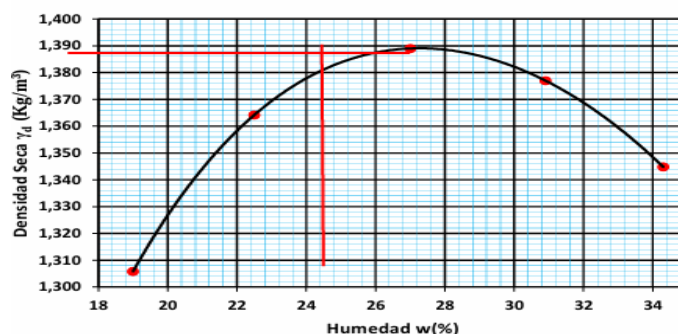
Fuente: Elaboracion propia

Tabla 73. Resultados del Ensayo Proctor Estándar

A - 4				
ESPECIMEN	1	2	3	4
% de Agua Propuesta	19	23	31	35
Cantidad de Agua (ml)	855	1035	1395	1575
Volumen del Cilindro (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Peso del Molde Cilíndrico (Kg)	6.616	6.616	6.616	6.616
Peso del Mater. + Molde (Kg)	9.879	10.124	10.4	10.408
Peso del Material (Kg)	3.263	3.508	3.784	3.792
Código de Tara	A - 07	G - 64	CH - M	E - YO
Peso de Tara (gr)	40	48.4	41.5	47.3
Peso Húmedo + Tara (gr)	316.9	318.9	313.3	456.3
Peso Seco + Tara (gr)	272.7	269.3	249.2	351.9
Peso de Material Húmedo (gr)	276.9	270.5	271.8	409
Peso de Material Seco (gr)	232.7	220.9	207.7	304.6
% de Humedad	19	22.5	30.9	34.3
Peso Volumétrico Húmedo γ_H (Kg/m ³)	1,553.80	1,670.50	1,801.90	1,805.70
Peso Volumétrico Seco γ_s (Kg/m ³)	1,305.80	1,364.20	1,377.00	1,344.80
Densidad Seca Maxima γ_{dmax} (Kg/m ³)	1,389			
Humedad Optimo (%w _{opt})	27			

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Figura 30. Curva de compactación
DENSIDAD SECA vs HUMEDAD



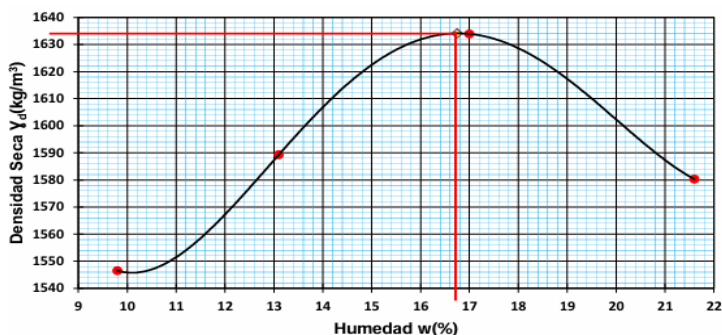
Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

Tabla 74. Resultados del Ensayo Proctor Estándar

A - 2 - 4				
ESPECIMEN	1	2	3	4
% de Agua Propuesta	8	12	16	20
Cantidad de Agua (ml)	360	540	720	900
Volumen del Cilindro (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Peso del Molde Cilíndrico (Kg)	6.616	6.616	6.616	6.616
Peso del Mater. + Molde (Kg)	10.181	10.39	10.629	10.651
Peso del Material (Kg)	3.565	3.774	4.013	4.035
Código de Tara	D - 33	M - 3	A - 100	I - M - R
Peso de Tara (gr)	53.5	54	31.9	32.2
Peso Húmedo + Tara (gr)	347.9	292.6	298.1	363.4
Peso Seco + Tara (gr)	321.7	265	259.5	304.6
Peso de Material Húmedo (gr)	294.4	238.6	266.2	331.2
Peso de Material Seco (gr)	268.2	211	227.6	272.4
% de Humedad	9.8	13.1	17	21.6
Peso Volumétrico Húmedo γ_H (Kg/m ³)	1,697.60	1,797.10	1,911.00	1,921.40
Peso Volumétrico Seco γ_s (Kg/m ³)	1,546.50	1,589.30	1,633.90	1,580.30
Densidad Seca Maxima γ_{dmax} (Kg/m ³)	1,634.10			
Humedad Optimo (%w _{opt})	16.75			

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Figura 31. Curva de Compactación



Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Tabla 75. Resultados del Ensayo Proctor Estándar

A-3				
ESPECIMEN	1	2	3	4
% de Agua Propuesta	12	16	18	20
Cantidad de Agua (ml)	540	720	810	900
Volumen del Cilindro (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Peso del Molde Cilíndrico (Kg)	6.616	6.616	6.616	6.616
Peso del Mater. + Molde (Kg)	10.332	10.709	10.79	10.797
Peso del Material (Kg)	3.716	4.093	4.174	4.181
Código de Tara	PI - 03	P - 12	D - 12	A - 70
Peso de Tara (gr)	48.4	54.1	47.8	41.1
Peso Húmedo + Tara (gr)	350.5	355.8	361.3	411
Peso Seco + Tara (gr)	318.5	315.4	315.3	350.2
Peso de Material Húmedo (gr)	302.1	301.7	313.5	369.9
Peso de Material Seco (gr)	270.1	261.3	267.5	309.1
% de Humedad	11.8	15.5	17.2	19.7
Peso Volumétrico Húmedo γ_H (Kg/m ³)	1,769.50	1,949.00	1,987.60	1,991.00
Peso Volumétrico Seco γ_s (Kg/m ³)	1,582.10	1,688.10	1,696.00	1,663.70
Densidad Seca Maxima γ_{dmax} (Kg/m ³)	1,702.00			
Humedad Optimo (%w _{opt})	16.6			

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Figura 32. Curva de compactación

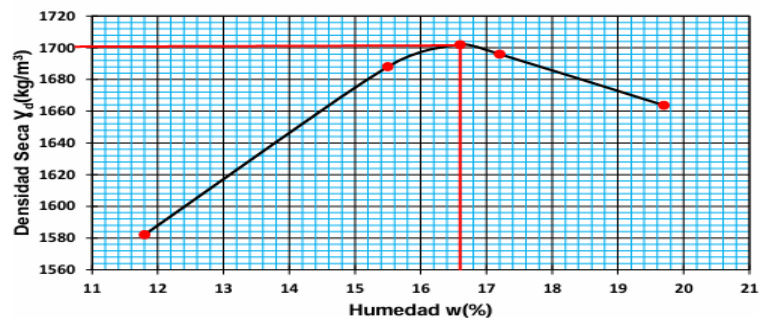


Tabla 76. Nivel de Penetración

Lecturas	Penetraciones	
	Milímetros	Pulgadas
Primera	0.00	0.0000
Segunda	0.64	0.0250
Tercera	1.27	0.0500
Cuarta	1.91	0.0750
Quinta	2.54	0.1000
Sexta	3.18	0.1250
Séptima	3.81	0.1500
Octava	4.45	0.1750
Novena	5.08	0.2000
Decima	7.62	0.3000
Undécima	10.16	0.4000
Duodécima	12.70	0.5000

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Tabla 77. Recopilación de resultados de ensayos de CBR

A - 1 - b (0)			
Numero de muestras	1	2	3
Molde No.:	A - 4	A - 3	A - 2
N° de Capas:	3	3	3
N° de Golpes por Capa:	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.112	7.119	7.146
Peso del molde + material (kg):	11.081	11.270	11.478
Peso Volumétrico Húmedo Σ_h (Kg/m ³):	1,890.0	1,976.7	2,062.9
N° de tara:	PI - 03	E - YO	A - 12
Peso de tara (grs):	48.3	47.4	41.7
Peso de tara + material húmedo (grs):	284.8	281.3	402.6
Peso de tara + material Seco (grs):	255.7	254.1	358.9
Contenido de Humedad (%):	14.0%	13.2%	13.8%
Peso Volumétrico Seco Σ_d (Kg/m ³):	1,657.4	1,746.8	1,813.1

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Tabla 78. Datos de ensaye de carga del CBR

N° de golpes:		10				25				56			
PENETRACION		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos	
				Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²
mm	Pulg												
0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.64	0.025	3	158.9	158.9	53.0	5	264.8	264.8	88.3	4	211.8	480.0	160.0
1.27	0.050	6	317.7	317.7	105.9	10	529.5	529.5	176.5	11	582.5	960.0	320.0
1.91	0.075	8	423.6	423.6	141.2	15	794.3	794.3	264.8	19	1,006.1	1,470.0	490.0
2.54	0.100	10	529.5	529.5	176.5	21	1,112.0	1,112.0	370.7	28	1,482.6	1,995.0	665.0
3.18	0.125	12	635.4	635.4	211.8	26	1,376.7	1,376.7	458.9	37	1,959.2	2,445.0	815.0
3.81	0.150	14	741.3	741.3	247.1	31	1,641.5	1,641.5	547.2	46	2,435.7	2,880.0	960.0
4.45	0.175	16	847.2	847.2	282.4	36	1,906.2	1,906.2	635.4	54	2,859.3	3,260.0	1,086.7
5.08	0.200	18	953.1	953.1	317.7	40	2,118.0	2,118.0	706.0	61	3,230.0	3,600.0	1,200.0
7.62	0.300	24	1,270.8	1,270.8	423.6	55	2,912.3	2,912.3	970.8	87	4,606.7	4,830.0	1,610.0
10.16	0.400	29	1,535.6	1,535.6	511.9	66	3,494.7	3,494.7	1,164.9	104	5,506.8	5,790.0	1,930.0
12.70	0.500	33	1,747.4	1,747.4	582.5	75	3,971.3	3,971.3	1,323.8	121	6,407.0	6,600.0	2,200.0

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Tabla 79. Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"

PROCTOR ESTANDAR		$\gamma_{dmax} = 1,753.0$ Kg/m ³		%w _{Optima} = 15%		w =900 ml		
N° de golpes	%w	γ_h	γ_d producida	% comp. Producida	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R
10	14.0	1,890.0	1,657.4	94.5%	0.1	17.7	0.2	21.2
25	13.2	1,976.7	1,746.8	99.6%	0.1	37.1	0.2	47.1
56	13.8	2,062.9	1,813.1	103.4%	0.1	49.4	0.2	71.8

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

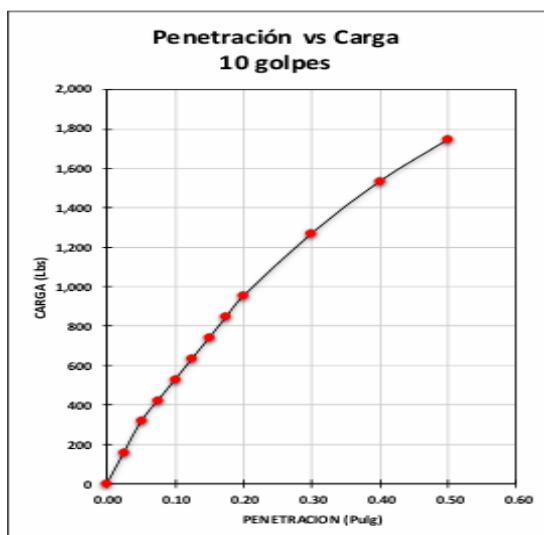
Tabla 80. CBR corregidos a penetración de 0.1" y 0.2"

N° de golpes	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R	% compactación	γ_d	C.B.R
10	0.1	17.7	0.2	21.2	90%	1,578.5	1.7
25	0.1	37.1	0.2	47.1	95%	1,666.2	23.7
56	0.1	66.5	0.2	80.0	100%	1,753.8	50.6

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

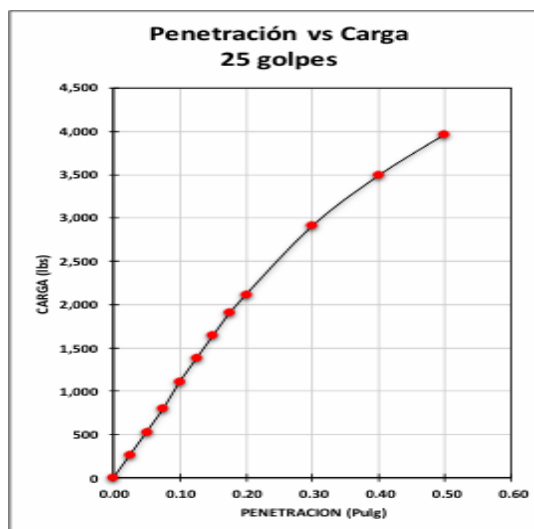


**Figura 33. Suelo A – 1 – b Curva
carga – sin corrección)**



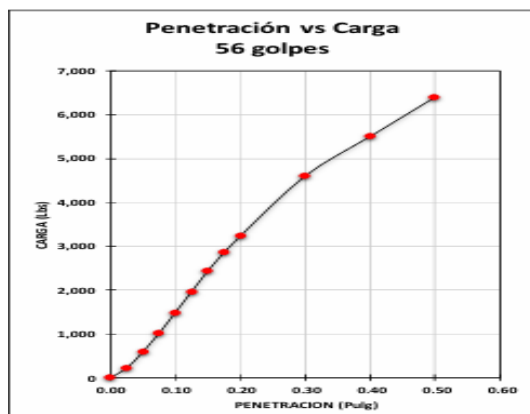
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 34. Suelo A – 1 – b Curva
carga – sin corrección)**



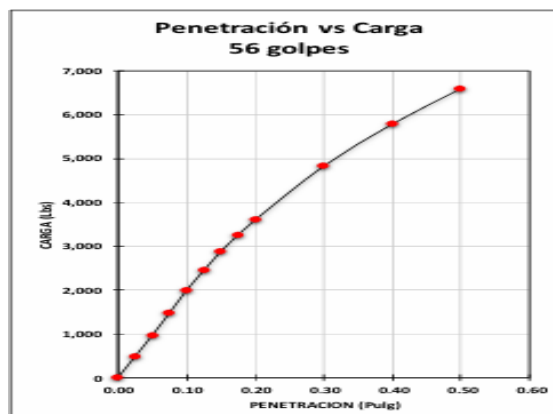
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 35. Suelo A – 1 – b Curva
carga – sin corrección)**



Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 36. Suelo A – 1 – b Curva
carga – con corrección)**



Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Tabla 81. Recopilación de Resultados del Ensayo CBR

A - 4 (0)			
Numero de muestras	1	2	3
Molde No.:	A - 4	A - 3	A - 2
N° de Capas:	3	3	3
N° de Golpes por Capa:	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.112	7.150	7.117
Peso del molde + material (kg):	10.521	10.831	10.903
Peso Volumétrico Húmedo Σ_h :	1,623.3	1,752.9	1,802.9
N° de tara:	A - 70	B - 12 - 1	A - 05
Peso de tara (grs):	41.2	47.4	41.7
Peso de tara + material húmedo (grs):	333.8	295.7	356.1
Peso de tara + material Seco (grs):	272.7	241.1	283.3
Contenido de Humedad (%):	26.4%	28.2%	30.1%
Peso Volumétrico Seco Σ (Kg/m ³):	1,284.4	1,367.4	1,385.4

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Tabla 82. Datos de ensayo de carga del CBR

N° de golpes:		10				25				56			
PENETRACION		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos	
				Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²
mm	Pulg												
0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.64	0.025	1	53.0	53.0	17.7	3	158.9	121.3	40.4	4	211.8	154.3	51.4
1.27	0.050	2	105.9	105.8	35.3	4	211.8	198.4	66.1	7	370.7	314.2	104.7
1.91	0.075	2	105.9	137.8	45.9	5	264.8	264.8	88.3	9	476.6	474.0	158.0
2.54	0.100	3	158.9	158.9	53.0	6	317.7	317.7	105.9	12	635.4	635.4	211.8
3.18	0.125	3	158.9	178.6	59.5	7	370.7	370.7	123.6	14	741.3	741.3	247.1
3.81	0.150	3	158.9	195.1	65.0	8	423.6	423.6	141.2	15	794.3	826.7	275.6
4.45	0.175	3	158.9	210.5	70.2	9	476.6	476.6	158.9	16	847.2	900.0	300.0
5.08	0.200	4	211.8	222.7	74.2	10	529.5	529.5	176.5	18	953.1	953.1	317.7
7.62	0.300	5	264.8	264.8	88.3	14	741.3	741.3	247.1	22	1,164.9	1,164.9	388.3
10.16	0.400	5	264.8	294.3	98.1	18	953.1	953.1	317.7	25	1,323.8	1,323.8	441.3
12.70	0.500	6	317.7	317.7	105.9	21	1,112.0	1,112.0	370.7	28	1,482.6	1,482.6	494.2

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Tabla 83. Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"

PROCTOR ESTANDAR		$\gamma_{dmax} = 1,389.00$ Kg/m³		$\%w_{Optima}$ 27% =	w = 1620 MI			
N° de golpes	%w	γ_h	γ_d producida.	% comp. Producida	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R
10	26.4	1,623.3	1,284.4	92.5%	0.1	5.3	0.2	4.7
25	28.2	1,752.9	1,367.4	98.4%	0.1	10.6	0.2	11.8
56	30.1	1,802.9	1,385.4	99.7%	0.1	21.2	0.2	21.2

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

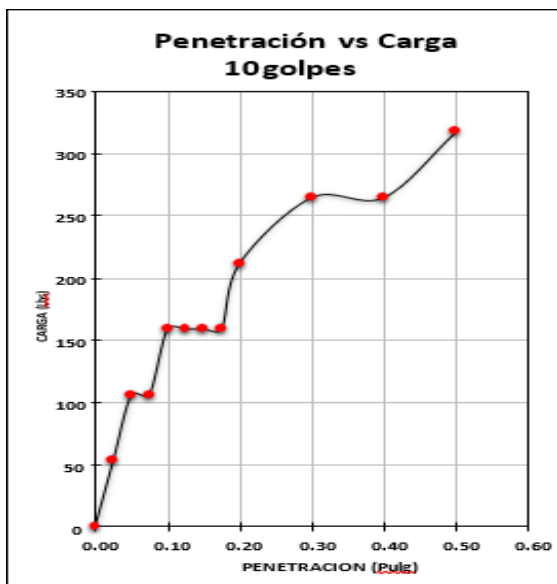
Tabla 84. CBR corregidos a penetración de 0.1" y 0.2"

N° de golpes	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R	% compactación	γ_d	C.B.R
10	0.1	5.3	0.2	4.9	90%	1,249.2	2
25	0.1	10.6	0.2	11.8	95%	1,319.6	7.8
56	0.1	21.2	0.2	21.2	100%	1,389.6	23.4

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

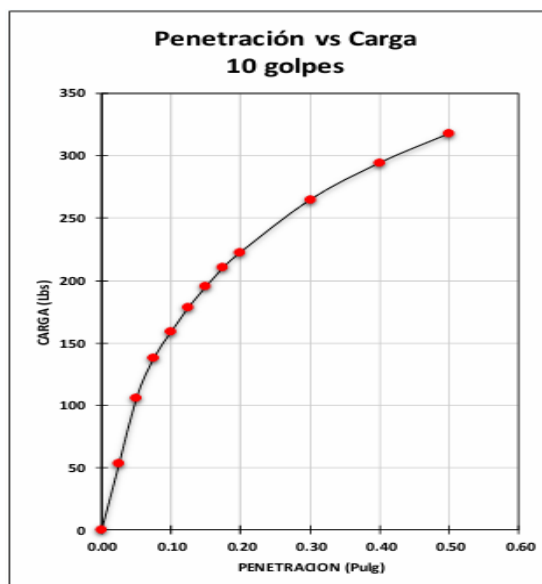


**Figura 37. Suelo A – 4 Curva carga
– sin corrección**



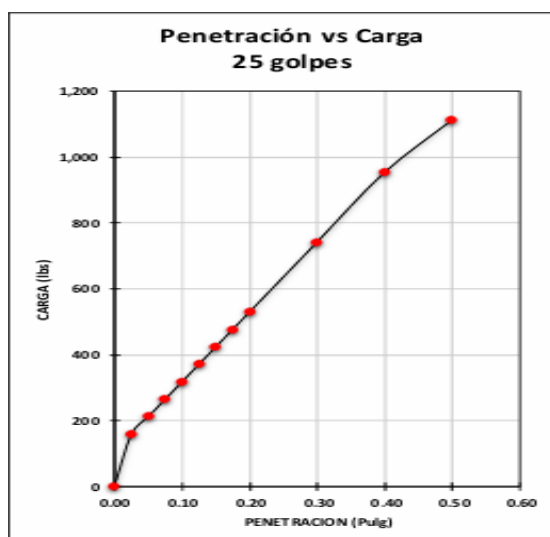
Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

**Figura 38. Suelo A – 4 Curva carga
- con corrección**



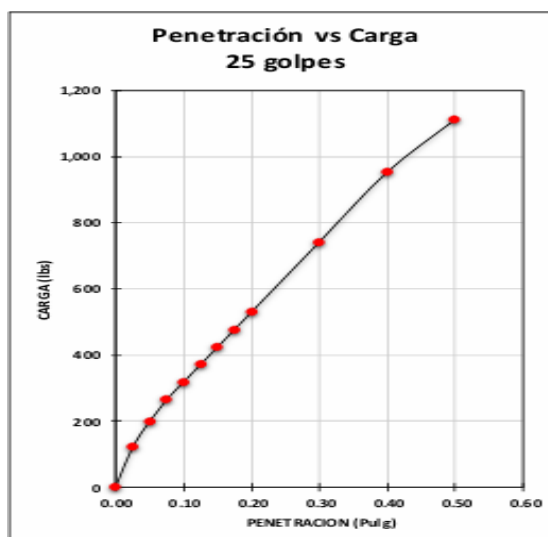
Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

**Figura 39. Suelo A – 4 Curva carga
- sin corrección**



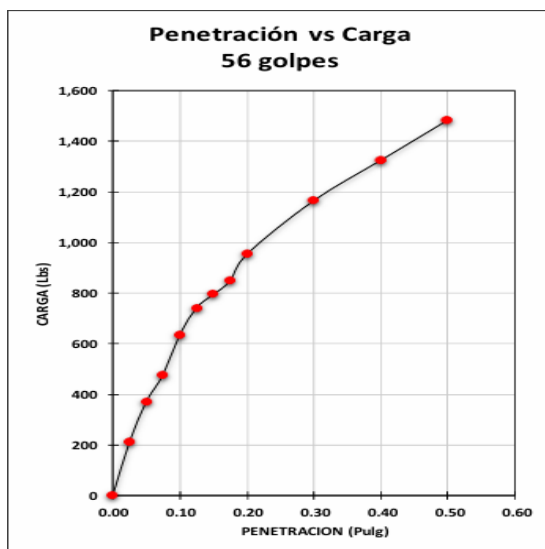
Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

**Figura 40. Suelo A – 4 Curva carga
- con corrección**



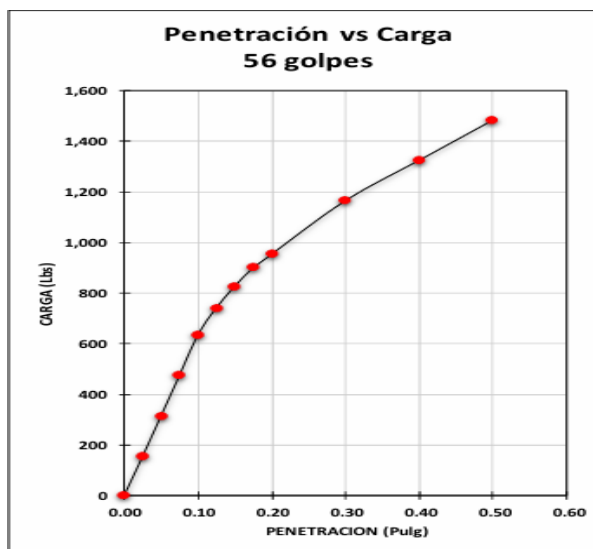
Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

Figura 41. Suelo A-4 Curva carga-sin corrección



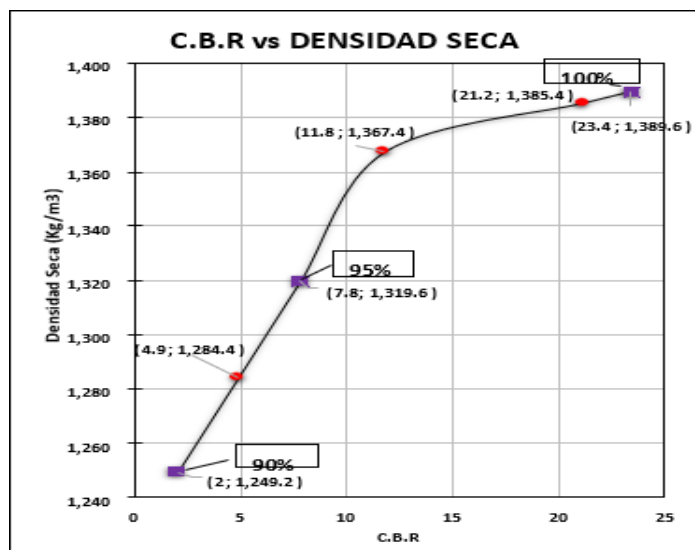
Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

Figura 42. Suelo A – 4 Curva carga – con corrección



Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

Figura 43. Suelo A – 1 – b, CBR vs DENSIDAD SECA



Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

Tabla 85. Recopilación de Resultados del Ensayo CBR

A - 2 - 4(0)			
Numero de muestras	1	2	3
Molde No.:	A - 1	A - 2	A - 3
N° de Capas:	3	3	3
N° de Golpes por Capa:	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.081	7.145	7.119
Peso del molde + material (kg):	10.698	10.855	11.054
Peso Volumétrico Húmedo Σ_h :	1,722.4	1,766.7	1,873.8
N° de tara:	A - 04	P - 03	K - 30
Peso de tara (grs):	41.7	48.4	41.6
Peso de tara + material húmedo (grs):	362.5	301.9	291.3
Peso de tara + material Seco (grs):	319.3	269.7	258.5
Contenido de Humedad (%):	15.6%	14.6%	15.1%
Peso Volumétrico Seco Σ (Kg/m ³):	1,490.4	1,542.3	1627.7

Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

Tabla 86. Datos de ensaye de carga del CBR

N° de golpes:		10				25				56			
PENETRACION		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos	
				Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg²
mm	Pulg												
0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.64	0.025	2	105.9	52.5	17.5	3	158.9	150.0	50.0	6	317.7	317.7	105.9
1.27	0.050	3	158.9	107.5	35.8	4	211.8	295.0	98.3	11	582.5	582.5	194.2
1.91	0.075	3	158.9	162.5	54.2	5	264.8	435.0	145.0	16	847.2	847.2	282.4
2.54	0.100	4	211.8	220.0	73.3	8	423.6	495.0	165.0	21	1,112.0	1,112.0	370.7
3.18	0.125	5	264.8	270.0	90.0	9	476.6	539.0	179.7	26	1,376.7	1,376.7	458.9
3.81	0.150	5	264.8	300.0	100.0	10	529.5	580.0	193.3	29	1,535.6	1,580.0	526.7
4.45	0.175	6	317.7	323.0	107.7	10	529.5	613.0	204.3	33	1,747.4	1,747.4	582.5
5.08	0.200	6	317.7	348.0	116.0	11	582.5	639.0	213.0	36	1,906.2	1,906.2	635.4
7.62	0.300	8	423.6	428.0	142.7	13	688.4	737.5	245.8	46	2,435.7	2,435.7	811.9
10.16	0.400	9	476.6	495.0	165.0	15	794.3	815.0	271.7	51	2,700.5	2,700.5	900.2
12.70	0.500	11	582.5	552.5	184.2	16	847.2	860.0	286.7	55	2,912.3	2,912.3	970.8

Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

Tabla 87. Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"

PROCTOR ESTANDAR		$\gamma_{dmax} = 1,633.50$ Kg/m ³		%Optima =16.8%		w = 1,008 ml		
N° de golpes	%w	γ_h	γ_d producida	%comp. Producida	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R
10	15.6	1,722.4	1,490.4	91.2%	0.1	7.1	0.2	7.1
25	14.6	1,766.7	1,542.3	94.4%	0.1	14.1	0.2	12.9
56	15.1	1,873.8	1,627.7	99.6%	0.1	37.1	0.2	42.4

Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

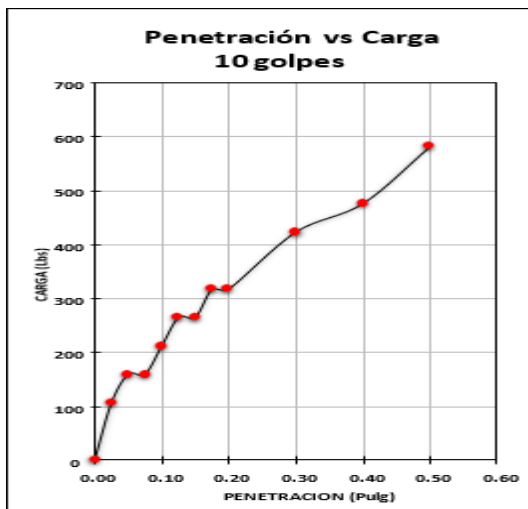
Tabla 88. CBR corregidos a penetración de 0.1" y 0.2"

N° de golpes	PENETRACION	C.B. R	PENETRACION	C.B. R	% compactación	γ_d	C.B.R
10	0.1	7.3	0.2	7.7	90%	1,470.9	5.3
25	0.1	16.5	0.2	14.2	95%	1,552.2	17.5
56	0.1	37.1	0.2	42.4	100%	1,634.3	44.6

Fuente: Laboratorio DYSCONCSA

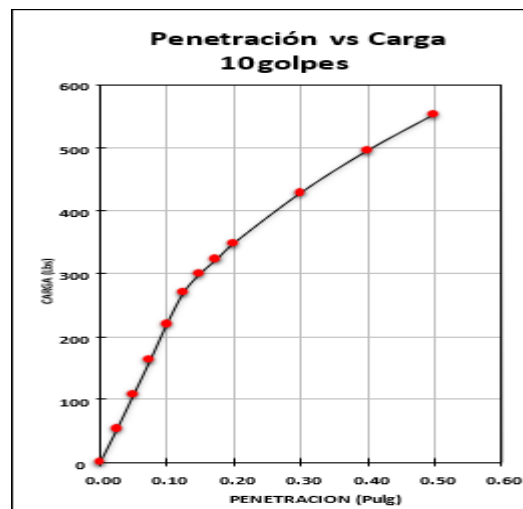


**Figura 44. Suelo A – 2 – 4 Curva
carga – sin corrección**



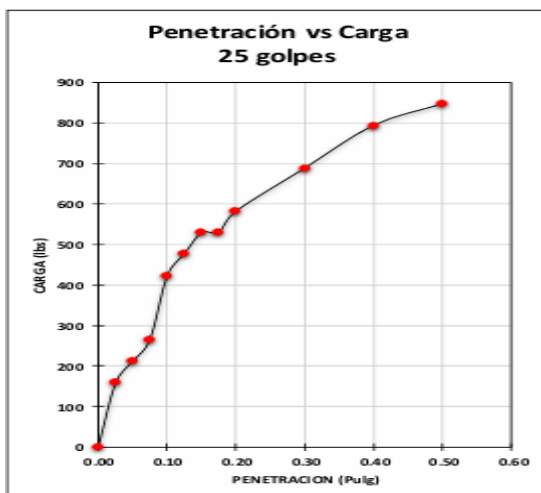
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 45. Suelo A – 2 – 4 Curva
carga – con corrección**



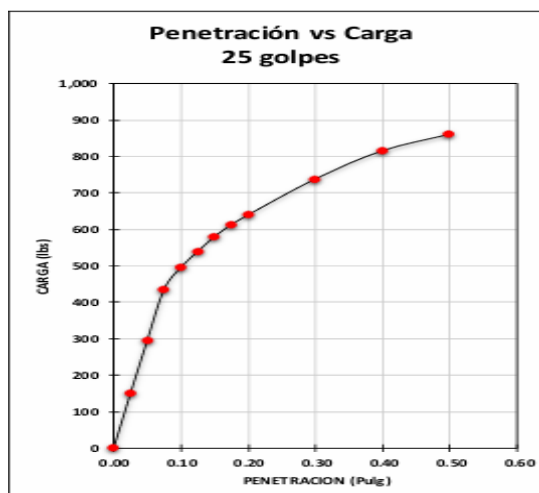
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 46. Suelo A – 2 – 4 Curva
carga – sin corrección**



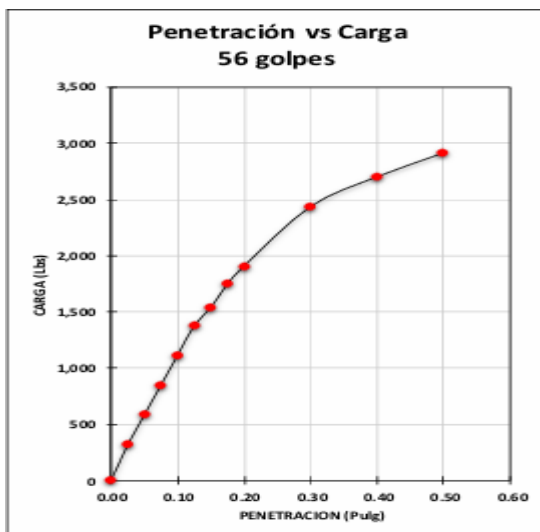
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 47. Suelo A – 2 – 4 Curva
carga – con corrección**



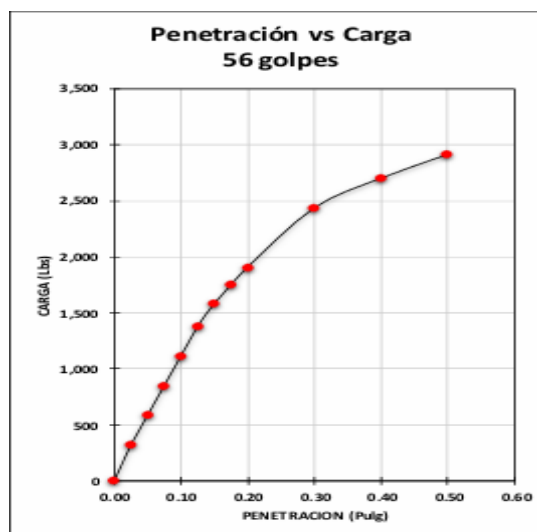
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 48. Suelo A – 2 – 4 Curva
carga - sin corrección**



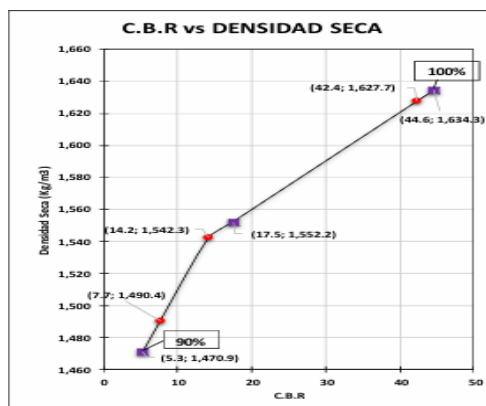
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 49. Suelo A – 2 – 4 Curva
carga – con corrección**



Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 50. Suelo A-2-4 CBR vs
DENSIDAD SECA**



Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Tabla 89. Recopilación de Resultados del Ensayo CBR

A - 3 (0)			
Numero de muestras	1	2	3
Molde No.:	A – 1	A – 2	A - 3
N° de Capas:	3	3	3
N° de Golpes por Capa:	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.081	7.145	7.119
Peso del molde + material (kg):	10.656	10.938	11.032
Peso Volumétrico Húmedo Σ_h :	1,702.4	1,806.2	1,863.3
N° de tara:	A - 12	A – 03	CH - M
Peso de tara (grs):	41.9	41.2	41.6
Peso de tara + material húmedo (grs):	303.6	274.5	251.5
Peso de tara + material Seco (grs):	271.3	244.2	226.7
Contenido de Humedad (%):	14.1%	14.9%	13.4%
Peso Volumétrico Seco Σ (Kg/m ³):	1,492.3	1,571.6	1,643.2

Fuente: Laboratorios DYSCONSA

Tabla 90. Datos de ensaye de carga del CBR

N° de golpes:		10				25				56			
PENETRACION		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos		Lect. del deform. de carga	Carga Lbs	Datos corregidos	
				Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²			Carga Lbs	Esfuerzo lbs/pulg ²
mm	Pulg												
0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.64	0.025	2	105.9	105.9	35.3	3	158.9	158.9	53.0	4	211.8	211.8	70.6
1.27	0.050	4	211.8	195.0	65.0	6	317.7	317.7	105.9	8	423.6	423.6	141.2
1.91	0.075	5	264.8	264.8	88.3	8	423.6	465.0	155.0	13	688.4	688.4	229.5
2.54	0.100	6	317.7	317.7	105.9	11	582.5	582.5	194.2	17	900.2	920.0	306.7
3.18	0.125	7	370.7	370.7	123.6	13	688.4	688.4	229.5	21	1,112.0	1,112.0	370.7
3.81	0.150	8	423.6	423.6	141.2	15	794.3	770.0	256.7	25	1,323.8	1,323.8	441.3
4.45	0.175	9	476.6	476.6	158.9	16	847.2	847.2	282.4	28	1,482.6	1,482.6	494.2
5.08	0.200	10	529.5	529.5	176.5	17	900.2	910.0	303.3	29	1,535.6	1,600.0	533.3
7.62	0.300	12	635.4	692.5	230.8	21	1,112.0	1,112.0	370.7	29	1,535.6	1,940.0	646.7
10.16	0.400	14	741.3	797.5	265.8	23	1,217.9	1,255.0	418.3	29	1,535.6	2,140.0	713.3
12.70	0.500	16	847.2	847.2	282.4	25	1,323.8	1,323.8	441.3	33	1,747.4	2,260.0	753.3

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

Tabla 91. Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2"

PROCTOR ESTANDAR		$\gamma_{dmax} =$ 1,702.00 Kg/m ³		%W _{Optim} 16.6%		w = 996 ml		
N° de golpes	%w	γ_h	γ_d producid.	% comp. Producida	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R
10	14.1	1,702.4	1,492.3	87.7%	0.1	10.6	0.2	11.8
25	14.9	1,806.2	1,571.6	92.3%	0.1	19.4	0.2	20.0
56	13.4	1,863.3	1,643.2	96.5%	0.1	30.0	0.2	34.1

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

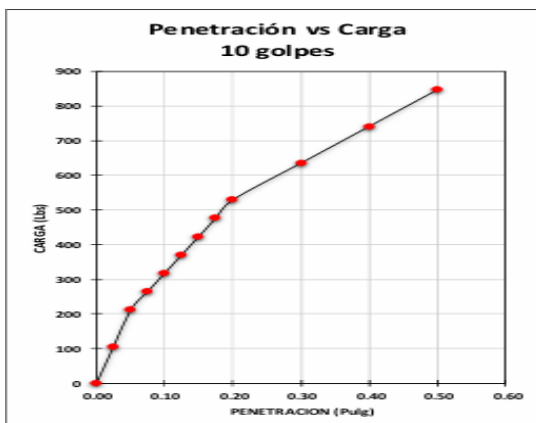
Tabla 92. CBR Corregido a penetración de 0.1" y 0.2"

N° de golpes	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R	% compactación	γ_d	C.B.R
10	0.1	10.6	0.2	11.8	90%	1,532.0	16
25	0.1	19.4	0.2	20.2	95%	1,617.6	30.1
56	0.1	30.7	0.2	35.6	100%	1,702.9	48.4

Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

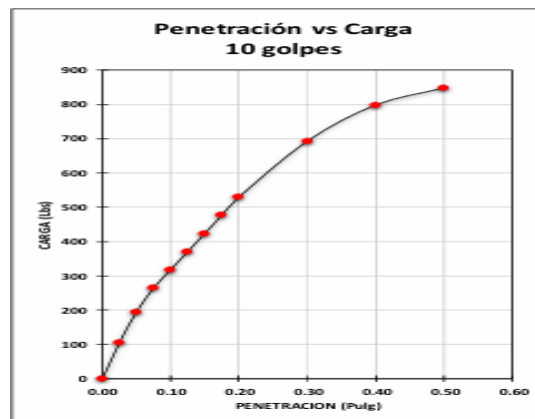


**Figura 51. Suelo A – 3 Curva
carga–sin corrección**



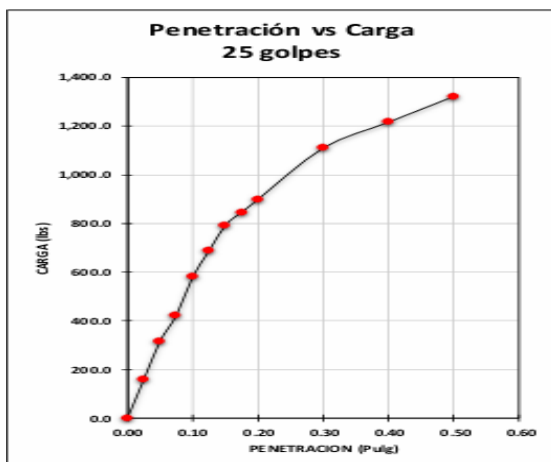
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 52. Suelo A – 3 Curva
carga - con corrección**



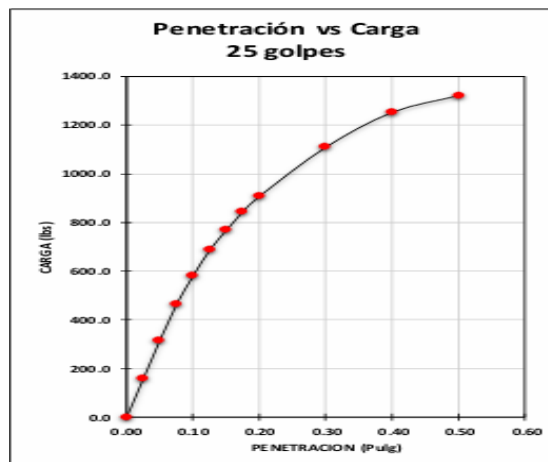
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 53. Suelo A – 3 Curva
carga – sin corrección**



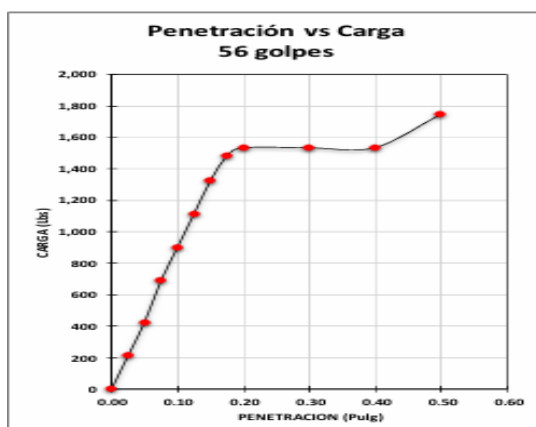
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 54. Suelo A – 3 Curva carga
– con corrección**



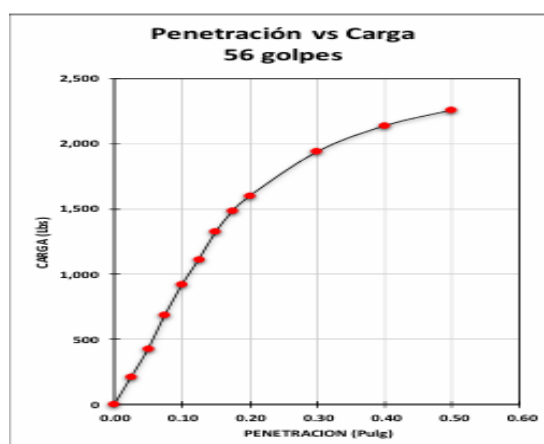
Fuente: Laboratorios DYSCONCSA

**Figura 55. Suelo A – 3 Curva carga
– sin corrección**



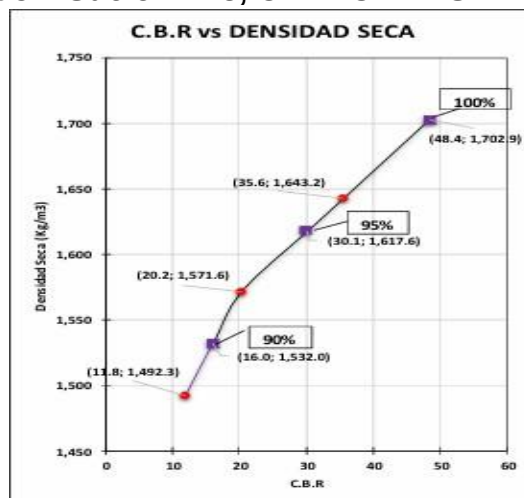
Fuente: Elaboración DYCONCSA

**Figura 56. Suelo A – 3 Curva
carga – sin corrección**



Fuente: Elaboración DYCONCSA

Figura 57. Suelo A – 3, CBR vs DENSIDAD SECA



Fuente: Elaboración DYSCONCSA

Tabla 93. Ensaye Granulométrico de banco Los Martínez

Ensayo No. 1: Análisis Granulométrico del material que retiene el tamiz N° 4				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
1 1/2"	0.00	0	0	100
1"	116.00	1	1	99
3/4"	165.00	1	2	98
1/2"	277.00	2	5	95
3/8"	315.00	3	7	93
No. 4	1,767.00	15	22	78
Pasa No. 4	9,110.00	78	100	0
SUMA	11,750.00	100		
Ensayo No. 2: Análisis Granulométrico del material que pasa el tamiz No. 4 (lavado)				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
10	23.00	15	15	62
40	56.00	37	53	25
200	26.40	18	70	7
PASA No. 200	11.00	7	78	0
SUMA	116.40	78		

Fuente: Elaboración DYSCONCSA

Tabla 94. Ensaye Granulométrico de banco La Suburbana

Ensayo No. 1: Análisis Granulométrico del material que retiene el tamiz N° 4				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
1 1/2"	0.00	0	0	100
1"	217.00	2	2	98
3/4"	289.00	2	4	96
1/2"	684.00	5	9	91
3/8"	1,179.00	9	18	82
No. 4	3,528.00	26	44	56
Pasa No. 4	7,490.00	56	100	0
SUMA	13,387.00	100		
Ensayo No. 2: Análisis Granulométrico del material que pasa el tamiz No. 4 (lavado)				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
10	48.10	22	22	34
40	55.60	25	47	8
200	15.00	7	54	2
PASA No. 200	3.50	2	56	0
SUMA	122.20	56		

Fuente: Elaboración DYSCONCSA

Tabla 95. Ensaye Granulométrico de la mezcla de materiales de banco

Ensayo No. 1: Análisis Granulométrico del material que retiene el tamiz N° 4				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
1 1/2"	0.00	0	0	100
1"	89.00	1	1	99
3/4"	157.00	1	2	98
1/2"	233.00	2	4	96
3/8"	597.00	5	9	91
No. 4	2,100.00	18	27	73
Pasa No. 4	8,811.00	73	100	0
SUMA	11,987.00	100		
Ensayo No. 2: Análisis Granulométrico del material que pasa el tamiz No. 4 (lavado)				
Tamiz No.	Peso retenido en cada tamiz (grs)	% retenido parcial	% retenido acumulado	% que pasa el tamiz
10	27.10	17	17	56
40	56.40	34	51	22
200	26.40	16	67	6
PASA No. 200	9.10	6	73	0
SUMA	119.00	73		

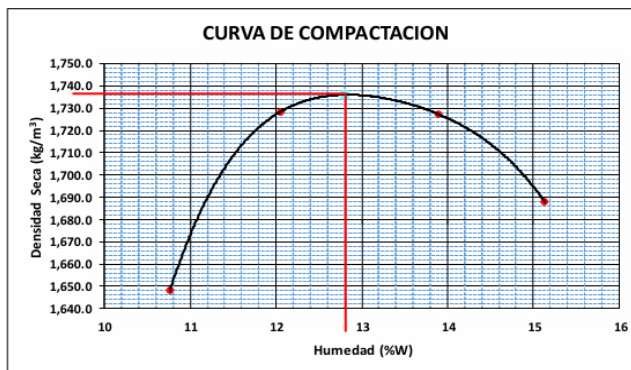
Fuente: Elaboración DYSCONCSA

Tabla 96. Resultados de Proctor Modificado

A - 1 - b (0)				
ESPECIMEN	1	2	3	4
% de Agua Propuesta	10	12	14	16
Cantidad de Agua (ml)	450	540	630	720
Volumen del Cilindro (m ³)	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Peso del Molde Cilíndrico (Kg)	6.615	6.615	6.615	6.615
Peso del Mater. + Molde (Kg)	10.45	10.68	10.747	10.955
Peso del Material (Kg)	3.835	4.065	4.132	4.34
Código de Tara	B - 12 - 1	A - 100	A - 04	L - MC - 4
Peso de Tara (gr)	47	31.8	41.7	47
Peso Húmedo + Tara (gr)	227.1	224.3	226.2	225.8
Peso Seco + Tara (gr)	209.6	203.6	203.7	202.3
Peso de Material Húmedo (gr)	180.1	192.5	184.5	178.8
Peso de Material Seco (gr)	162.6	171.8	162	155.3
% de Humedad	10.8	12	13.9	15.1
Peso Volumétrico Húmedo γ_H (Kg/m ³)	1,826.20	1,935.70	1,967.60	2,066.70
Peso Volumétrico Seco γ_s (Kg/m ³)	1,648.20	1,728.30	1,727.40	1,688.00
Densidad Seca Maxima γ_{dmax} (Kg/m ³)	1,736			
Humedad Optimo (%w _{opt})	12.8			

Fuente: Elaboración DYSCONCSA

Figura 58. Curva de compactación



Fuente: Elaboración DYSCONCSA

Tabla 97. Recopilación de Datos y Resultados del Ensayo CBR

A - 1 - b (0)			
Numero de muestras	1	2	3
Molde No.:	A – 5	A – 4	A - 3
N° de Capas:	3	3	3
N° de Golpes por Capa:	10	25	56
Peso del molde (kg)	7.197	7.112	7.119
Peso del molde + material (kg):	11.179	10.924	11.311
Peso Volumétrico Húmedo γ_h (Kg/m ³):	1,731.3	1,815.2	1,996.2
N° de tara:	CH – M	I – C	A - 19
Peso de tara (grs):	41.6	41.3	42.1
Peso de tara + material húmedo (grs):	208.4	198.1	236.6
Peso de tara + material Seco (grs):	189.5	180.2	214.6
Contenido de Humedad (%):	12.8%	12.9%	12.8%
Peso Volumétrico Seco γ_d (Kg/m ³):	1,535.1	1,608.0	1,770.4

Fuente: Elaboración DYSCONCSA

Tabla 98. Datos de ensaye de carga del CBR

N° de golpes:		10					25					56		
		Lect. del	Datos corregidos			Lect. del	Datos corregidos			Lect. del	Datos corregidos			
PENETRACION		deforma.	Carga	Carga	Esfuerzo	deform.	Carga	Carga	Esfuerzo	deform.	Carga	Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg	de carga	Lbs	Lbs	lbs/pulg²	de carga	Lbs	Lbs	lbs/pulg²	de carga	Lbs	Lbs	lbs/pulg²	
0.00	0.00	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	
0.64	0.025	2	105.9	150.0	50.0	3	158.9	340.0	113.3	4	211.8	610.0	203.3	
1.27	0.050	4	211.8	300.0	100.0	6	317.7	620.0	206.7	8	423.6	1,175.0	391.7	
1.91	0.075	6	317.7	450.0	150.0	8	423.6	930.0	310.0	13	688.4	1,778.0	592.7	
2.54	0.100	9	530.0	600.0	200.0	11	582.5	1,250.0	416.7	19	1,006.1	2,430.0	810.0	
3.18	0.125	12	635.4	750.0	250.0	14	741.3	1,500.0	500.0	26	1,376.7	2,950.0	983.3	
3.81	0.150	14	741.3	900.0	300.0	17	900.2	1,750.0	583.3	33	1,747.4	3,436.0	1,145.3	
5.08	0.200	20	1,059.0	1,200.0	400.0	23	1,217.9	2,235.0	745.0	53	2,806.4	4,310.0	1,436.7	
7.62	0.300	28	1,482.6	1,740.0	580.0	31	1,641.5	2,850.0	950.0	72	3,812.4	5,350.0	1,783.3	
10.16	0.400	36	1,906.2	2,150.0	716.7	40	2,118.0	3,120.0	1,040.0	90	4,765.5	6,100.0	2,033.3	
12.70	0.500	43	2,276.9	2,350.0	783.3	47	2,488.7	3,250.0	1,083.3	104	5,506.8	6,500.0	2,166.7	

Fuente: Elaboración DYSCONCSA

Tabla 99. Resultados de CBR a penetración de 0.1" y 0.2

PROCTOR MODICADO		$\gamma_{dmax} = 1,736.00$ Kg/m ³		$\%w_{Optima} = 12.8\%$		$w = 768$ ml		
N° de golpes	%w	γ_h	γ_d producid.	% comp. Producida	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R
10	12.8	1,731.3	1,535.1	88.4%	0.1	17.7	0.2	23.5
25	12.9	1,815.2	1,608.0	92.6%	0.1	19.4	0.2	27.1
56	12.8	1,996.2	1,770.4	102.0%	0.1	33.5	0.2	62.4

Fuente: Elaboración DYSCONCSA

Tabla 100. CBR corregidos a penetración de 0.1" y 0.2"

N° de golpes	PENETRACION	C.B.R	PENETRACION	C.B.R	% compactación	γ_d	C.B.R
10	0.1	20.0	0.2	26.7	90%	1,562.9	35.5
25	0.1	41.7	0.2	49.7	95%	1,649.5	61.5
56	0.1	81.0	0.2	95.8	100%	1,735.8	86

Fuente: Elaboración DYSCONCSA

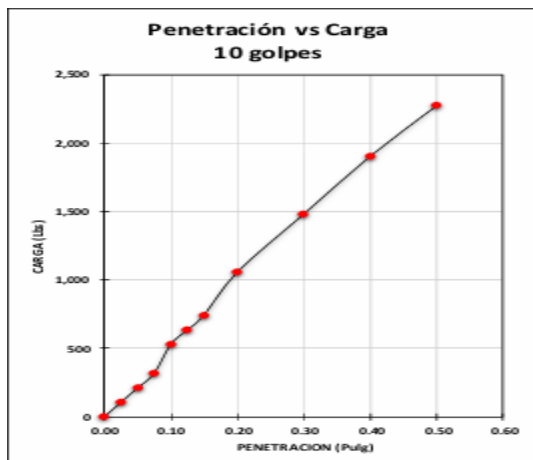
Sin otro particular a que hacer referencia nos es grato aprovechar la oportunidad para saludarles.

Atentamente,


Ing. Juan Carlos Vargas Reyes
Representante Legal
DYSCONCSA

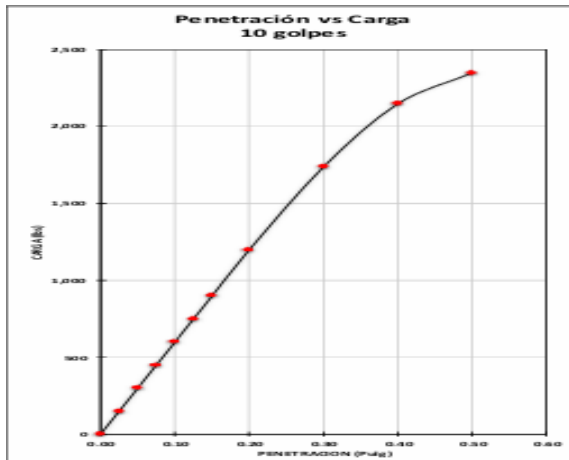


**Figura 59. Suelo A - 1 - b Curva
carga - Sin corrección**



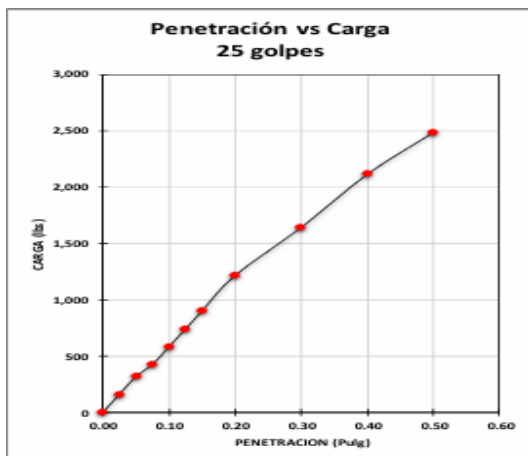
Fuente: Elaboración DYSCONCSA

**Figura 60. Suelo A - 1 - b Curva
carga - Con corrección**



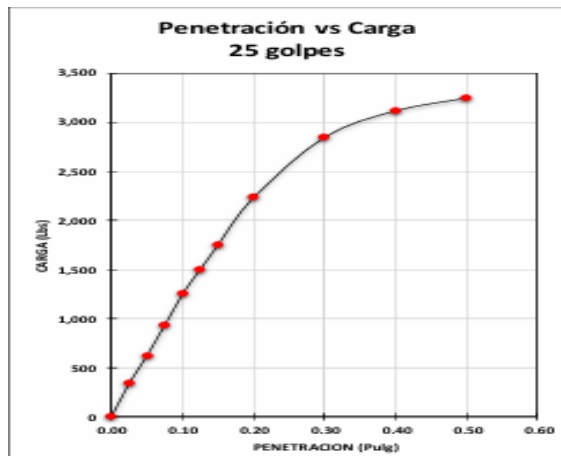
Fuente: Elaboración DYSCONCSA

**Figura 61. Suelo A - 1 - b Curva
carga - Sin corrección**



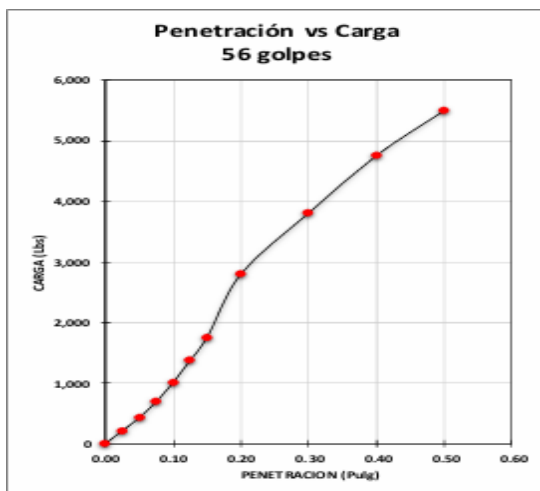
Fuente: Elaboración DYSCONCSA

**Figura 62. Suelo A - 1 - b Curva
carga - Con corrección**



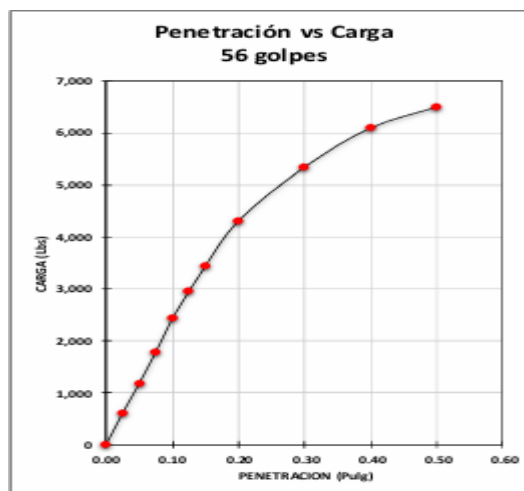
Fuente: Elaboración DYSCONCSA

**Figura 63. Suelo A - 1 - b Curva
carga - Sin corrección**



Fuente: Elaboración DYSCONCSA

**Figura 64. Suelo A - 1 - b Curva
carga – Sin corrección**



Fuente: Elaboración DYSCONCSA

Figura 65. Suelo A - 1 – b, CBR vs DENSIDAD SECA



Fuente: Elaboración DYSCONCSA

D) ESTUDIO DE TRÁNSITO

Tabla 101. Tipología y Descripción Vehicular de Conteos de Tráfico de la oficina de Diagnostico, Evaluación de pavimentos y puentes

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadracicl, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos coupe y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4x4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con tinas en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MNIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx>=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx>=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Tomado de Anuario de Aforos de Tráfico (p. 28), por Ministerio de Transporte e infraestructura (MTI), Edición 2020

[illegible]

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura vial (MTI), Pág. 47

Tabla 102. Conteo vehicular tramo INCOPSA- MERCOSA colindante y acceso principal del barrio Jerusalén del lunes (12 horas).

Conteo Vehicular, Dia Lunes 21 de julio del 2025.Tramo: INCOPSA-MERCOSA.															
Hora	Motos	Vehículo de pasajero						Vehículo de carga							Total
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 15-30 s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3	V.C	
6 - 7am	99	6	3	5	3	0	3	4	1	1	1	0	0	0	126
7- 8am	52	12	13	7	6	0	3	2	1	3	0	0	0	0	99
8 - 9am	46	9	7	1	2	0	3	1	2	3	0	2	0	0	76
9 - 10am	44	10	8	1	1	0	3	4	4	3	1	2	1	1	83
10-11am	36	4	9	3	1	0	4	6	3	2	0	2	0	0	70
11-12pm	39	4	8	3	0	0	3	4	1	1	0	1	1	0	65
12 - 1pm	29	8	1	1	1	0	3	2	2	1	0	3	0	0	51
1 - 2pm	31	4	11	1	0	1	3	4	3	3	1	2	2	0	66
2 - 3pm	32	11	11	3	2	0	4	8	3	2	2	0	0	0	78
3 - 4pm	41	7	6	2	4	0	4	2	1	4	0	3	3	0	77
4 - 5pm	40	7	12	3	4	0	3	4	6	4	0	3	4	1	91
5 - 6pm	56	12	16	5	6	1	4	9	3	3	1	0	5	0	121
TOTAL	545	94	105	35	30	2	40	50	30	30	6	18	16	2	1003

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 103. Conteo vehicular tramo INCOPSA- MERCOSA colindante y acceso principal del barrio Jerusalén del martes (12 horas).

Conteo Vehicular, Dia Martes 22 de julio del 2025.Tramo: INCOPSA-MERCOSA.															
Hora	Motos	Vehículo de pasajero						Vehículo de carga							Total
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 15-30 s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3	V.C	
6 - 7am	65	12	13	7	6	1	6	9	4	3	1	3	2	1	133
7- 8am	58	10	10	6	5	0	5	7	3	2	0	2	1	0	109
8 - 9am	42	8	9	4	4	0	4	6	3	4	0	2	1	0	87
9 - 10am	35	5	6	3	3	0	3	4	3	4	0	1	2	0	69
10 -11am	30	4	5	2	2	0	2	3	2	3	0	1	1	0	55
11- 12pm	38	6	7	4	3	0	3	5	3	2	0	2	1	0	74
12 - 1pm	45	7	8	5	4	0	4	6	3	3	0	2	1	0	88
1 - 2pm	32	5	6	3	3	0	3	4	2	2	0	1	1	0	62
2 - 3pm	34	6	7	3	3	0	3	5	3	4	1	2	1	0	72
3 - 4pm	36	5	6	3	3	0	3	5	3	3	0	1	1	0	69
4 - 5pm	45	7	8	4	4	0	4	6	3	3	0	2	1	1	88
5 - 6pm	60	10	10	6	5	1	5	6	3	2	1	2	2	0	113
TOTAL	520	85	95	50	45	2	45	66	35	35	3	21	15	2	1019

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 104. Conteo vehicular tramo INCOPSA- MERCOSA colindante y acceso principal del barrio Jerusalén del miércoles (12 horas).

Conteo Vehicular, Dia Miércoles 23 de julio del 2025.Tramo: INCOPSA-MERCOSA.															
Hora	Motos	Vehículo de pasajero						Vehículo de carga							Total
		Autos	Camioneta	Jeep	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s.	Bus 15-30 s.	Liviano 2-5 ton.	C2	C3	T2S2	T3S2	T3S3	V.C	
6 - 7am	69	10	12	6	5	2	7	10	5	3	2	2	2	1	136
7- 8am	59	8	10	5	4	0	6	8	4	3	0	1	1	0	109
8 - 9am	44	6	8	4	4	0	4	7	3	2	0	2	0	0	84
9 - 10am	36	4	6	3	3	0	3	5	3	2	1	1	1	0	68
10 -11am	31	4	7	2	2	1	3	4	2	3	0	1	0	0	60
11 12pm	39	5	8	3	3	0	4	6	3	2	0	1	1	1	76
12 -1pm	46	6	6	4	3	0	4	7	4	2	1	2	1	0	86
1 - 2pm	33	4	7	3	3	0	3	5	3	2	0	1	1	0	65
2 - 3pm	35	5	8	3	3	0	3	6	3	2	0	1	0	0	69
3 - 4pm	36	4	6	3	3	0	3	6	3	2	0	1	1	0	68
4 - 5pm	45	5	7	4	3	0	4	7	2	3	0	1	1	1	83
5 - 6pm	64	9	6	5	4	1	6	7	4	3	2	2	1	0	114
TOTAL	537	70	91	45	40	4	50	78	39	29	6	16	10	3	1018

Fuente: Elaboración Propia

Figura 67. Conteo vehicular
Horario de las 1:00 PM EST 0+000



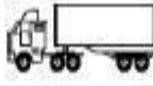
Fuente: propia

Figura 68. Conteo vehicular
Horario de las 5 PM



Fuente: propia

Tabla 105. Diagrama de cargas permisibles para Vehículos Pesados.

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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura vial (MTI) Pág. 33

Tabla 106. Diagrama de cargas permisibles para vehículos livianos

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

Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI). Pag.32

Tabla 107. Tráfico Promedio Diario Anual histórico año 2020

68	NIC-7	7018	ECD	Los Banderas - Emp. Teustepe	2020	533	630	246	601	135	1	325	222	252	202		221				2		3.370	
					2019	686	1367	301	1226	163	25	294	480	579	171	1	343					9	5.645	
					2016	277	706	334	1304	197	28	288	404	624	169	4	322						11	4.668
					2011	73	378	220	922	89	24	266	339	750	61	3	289						17	3.431
					2009	43	443	266	892	41	109	276	329	459	73	1	223		1				6	3.163
					2007	59	361	246	862	34	6	242	287	490	59	4	197	1					9	2.855
					2005	52	432	211	714	57	19	258	245	394	69	4	113		0				6	2.574
					2004	40	383	234	679	77	10	238	206	362	55	5	170						2	2.462
					2001	38	330	218	628	9	7	206	187	290	42	3	92	0	0				5	2.055
					1998	14	156	207	550	8	8	157	109	254	34	1	72		1				1	1.572
EMC:1018																								
Tasa Crecimiento: 2.95%					2020	533	630	246	601	135	1	325	222	252	202		221				2		3.370	
					Liv.		2010		Pasaj.		461		Pesado		899									
					60%				14%				27%											

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico (p. 127), por MTI, Edición 2020

Tabla 108. Factores de equivalencia de carga por eje para pavimentos rígidos de un solo eje y espesor de losa.

Appendix D

D-15

Table D.13. Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Single Axles and p_i of 2.5

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	003	002	002	002	002	002	002	002	002
6	012	011	010	010	010	010	010	010	010
8	039	035	033	032	032	032	032	032	032
10	097	089	084	082	081	080	080	080	080
12	203	189	181	176	175	174	174	173	173
14	376	360	347	341	338	337	336	336	336
16	634	623	610	604	601	599	599	599	598
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
20	1 51	1 52	1 55	1 57	1 58	1 58	1 59	1 59	1 59
22	2 21	2 20	2 28	2 34	2 38	2 40	2 41	2 41	2 41
24	3 16	3 10	3 22	3 36	3 45	3 50	3 53	3 54	3 55
26	4 41	4 26	4 42	4 67	4 85	4 95	5 01	5 04	5 05
28	6 05	5 76	5 92	6 29	6 61	6 81	6 92	6 98	7 01
30	8 16	7 67	7 79	8 28	8 79	9 14	9 35	9 46	9 52
32	10 8	10 1	10 1	10 7	11 4	12 0	12 3	12 6	12 7
34	14 1	13 0	12 9	13 6	14 6	15 4	16 0	16 4	16 5
36	18 2	16 7	16 4	17 1	18 3	19 5	20 4	21 0	21 3
38	23 1	21 1	20 6	21 3	22 7	24 3	25 6	26 4	27 0
40	29 1	26 5	25 7	26 3	27 9	29 9	31 6	32 9	33 7
42	36 2	32 9	31 7	32 2	34 0	36 3	38 7	40 4	41 6
44	44 6	40 4	38 8	39 2	41 0	43 8	46 7	49 1	50 8
46	54 5	49 3	47 1	47 3	49 2	52 3	55 9	59 0	61 4
48	66 1	59 7	56 9	56 8	58 7	62 1	66 3	70 3	73 4
50	79 4	71 7	68 2	67 8	69 6	73 3	78 1	83 0	87 1

Fuente: Guía de diseño para pavimentos AASHTO, 1993, Apéndice D, p. 15

Tabla 109. Factores de equivalencia de carga por eje para pavimentos rígidos de un solo eje y espesor de losa.

D-16

Design of Pavement Structures

Table D.14. Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Tandem Axles and p_t of 2.5

Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0005
6	002	002	002	002	002	002	002	002	002
8	007	006	006	005	005	005	005	005	005
10	015	014	013	013	012	012	012	012	012
12	031	028	026	026	025	025	025	025	025
14	057	052	049	048	047	047	047	047	047
16	097	089	084	082	081	081	080	080	080
18	155	143	136	133	132	131	131	131	131
20	234	220	211	206	204	203	203	203	203
22	340	325	313	308	305	304	303	303	303
24	475	462	450	444	441	440	439	439	439
26	644	637	627	622	620	619	618	618	618
28	855	854	852	850	850	850	849	849	849
30	1 11	1 12	1 13	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14	1 14
32	1 43	1 44	1 47	1 49	1 50	1 51	1 51	1 51	1 51
34	1 82	1 82	1 87	1 92	1 95	1 96	1 97	1 97	1 97
36	2 29	2 27	2 35	2 43	2 48	2 51	2 52	2 52	2 53
38	2 85	2 80	2 91	3 03	3 12	3 16	3 18	3 20	3 20
40	3 52	3 42	3 55	3 74	3 87	3 94	3 98	4 00	4 01
42	4 32	4 16	4 30	4 55	4 74	4 86	4 91	4 95	4 96
44	5 26	5 01	5 16	5 48	5 75	5 92	6 01	6 06	6 09
46	6 36	6 01	6 14	6 53	6 90	7 14	7 28	7 36	7 40
48	7 64	7 16	7 27	7 73	8 21	8 55	8 75	8 86	8 92
50	9 11	8 50	8 55	9 07	9 68	10 14	10 42	10 58	10 66
52	10 8	10 0	10 0	10 6	11 3	11 9	12 3	12 5	12 7
54	12 8	11 8	11 7	12 3	13 2	13 9	14 5	14 8	14 9
56	15 0	13 8	13 6	14 2	15 2	16 2	16 8	17 3	17 5
58	17 5	16 0	15 7	16 3	17 5	18 6	19 5	20 1	20 4
60	20 3	18 5	18 1	18 7	20 0	21 4	22 5	23 2	23 6
62	23 5	21 4	20 8	21 4	22 8	24 4	25 7	26 7	27 3
64	27 0	24 6	23 8	24 4	25 8	27 7	29 3	30 5	31 3
66	31 0	28 1	27 1	27 6	29 2	31 3	33 2	34 7	35 7
68	35 4	32 1	30 9	31 3	32 9	35 2	37 5	39 3	40 5
70	40 3	36 5	35 0	35 3	37 0	39 5	42 1	44 3	45 9
72	45 7	41 4	39 6	39 8	41 5	44 2	47 2	49 8	51 7
74	51 7	46 7	44 6	44 7	46 4	49 3	52 7	55 7	58 0
76	58 3	52 6	50 2	50 1	51 8	54 9	58 6	62 1	64 8
78	65 5	59 1	56 3	56 1	57 7	60 9	65 0	69 0	72 3
80	73 4	66 2	62 9	62 5	64 2	67 5	71 9	76 4	80 2
82	82 0	73 9	70 2	69 6	71 2	74 7	79 4	84 4	88 8
84	91 4	82 4	78 1	77 3	78 9	82 4	87 4	93 0	98 1
86	102	92	87	86	87	91	96	102	108
88	113	102	96	95	96	100	105	112	119
90	125	112	106	105	106	110	115	123	130

Fuente: Guía de diseño para pavimentos AASHTO, 1993, Apéndice D, p. 16

Tabla 110. Factores de equivalencia de carga por eje para pavimentos rígidos de un solo eje y espesor de losa.

Appendix D									D-17
Table D.15. Axle Load Equivalency Factors for Rigid Pavements, Triple Axles and p_t of 2.5									
Axle Load (kips)	Slab Thickness, D (inches)								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	0001	0001	0001	.0001	0001	0001	0001	0001	0001
4	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003	0003
6	001	001	001	001	001	001	001	001	001
8	003	002	002	002	002	002	002	002	002
10	006	005	005	.005	005	005	.005	005	005
12	011	010	010	009	009	009	009	009	009
14	020	018	017	017	016	016	016	016	016
16	033	030	029	028	027	027	027	027	027
18	053	048	045	044	044	043	043	043	043
20	080	073	069	067	066	066	066	066	066
22	116	107	101	099	098	097	097	097	097
24	163	151	144	141	139	139	138	138	138
26	222	209	200	195	194	193	192	192	192
28	295	281	271	265	263	262	262	262	262
30	384	371	359	354	351	350	349	349	349
32	490	480	468	463	460	459	458	458	458
34	616	609	601	596	594	593	592	592	592
36	765	762	759	757	756	755	755	755	755
38	939	941	946	948	950	951	951	951	951
40	1 14	1 15	1 16	1 17	1 18	1 18	1 18	1 18	1 18
42	1 38	1 38	1 41	1 44	1 45	1 46	1 46	1 46	1 46
44	1 65	1 65	1 70	1 74	1 77	1 78	1 78	1 78	1 79
46	1 97	1 96	2 03	2 09	2 13	2 15	2 16	2 16	2 16
48	2 34	2 31	2 40	2 49	2 55	2 58	2 59	2 60	2 60
50	2 76	2 71	2 81	2 94	3 02	3 07	3 09	3 10	3 11
52	3 24	3 15	3 27	3 44	3 56	3 62	3 66	3 68	3 68
54	3 79	3 66	3 79	4 00	4 16	4 26	4 30	4 33	4 34
56	4 41	4 23	4 37	4 63	4 84	4 97	5 03	5 07	5 09
58	5 12	4 87	5 00	5 32	5 59	5 76	5 85	5 90	5 93
60	5 91	5 59	5 71	6 08	6 42	6 64	6 77	6 84	6 87
62	6 80	6 39	6 50	6 91	7 33	7 62	7 79	7 88	7 93
64	7 79	7 29	7 37	7 82	8 33	8 70	8 92	9 04	9 11
66	8 90	8 28	8 33	8 83	9 42	9 88	10 17	10 33	10 42
68	10 1	9 4	9 4	9 9	10 6	11 2	11 5	11 7	11 9
70	11 5	10 6	10 6	11 1	11 9	12 6	13 0	13 3	13 5
72	13 0	12 0	11 8	12 4	13 3	14 1	14 7	15 0	15 2
74	14 6	13 5	13 2	13 8	14 8	15 8	16 5	16 9	17 1
76	16 5	15 1	14 8	15 4	16 5	17 6	18 4	18 9	19 2
78	18 5	16 9	16 5	17 1	18 2	19 5	20 5	21 1	21 5
80	20 6	18 8	18 3	18 9	20 2	21 6	22 7	23 5	24 0
82	23 0	21 0	20 3	20 9	22 2	23 8	25 2	26 1	26 7
84	25 6	23 3	22 5	23 1	24 5	26 2	27 8	28 9	29 6
86	28 4	25 8	24 9	25 4	26 9	28 8	30 5	31 9	32 8
88	31 5	28 6	27 5	27 9	29 4	31 5	33 5	35 1	36 1
90	34 8	31 5	30 3	30 7	32 2	34 4	36 7	38 5	39 8

Fuente: Guía de diseño para pavimentos AASHTO, 1993, Apéndice D, p. 17

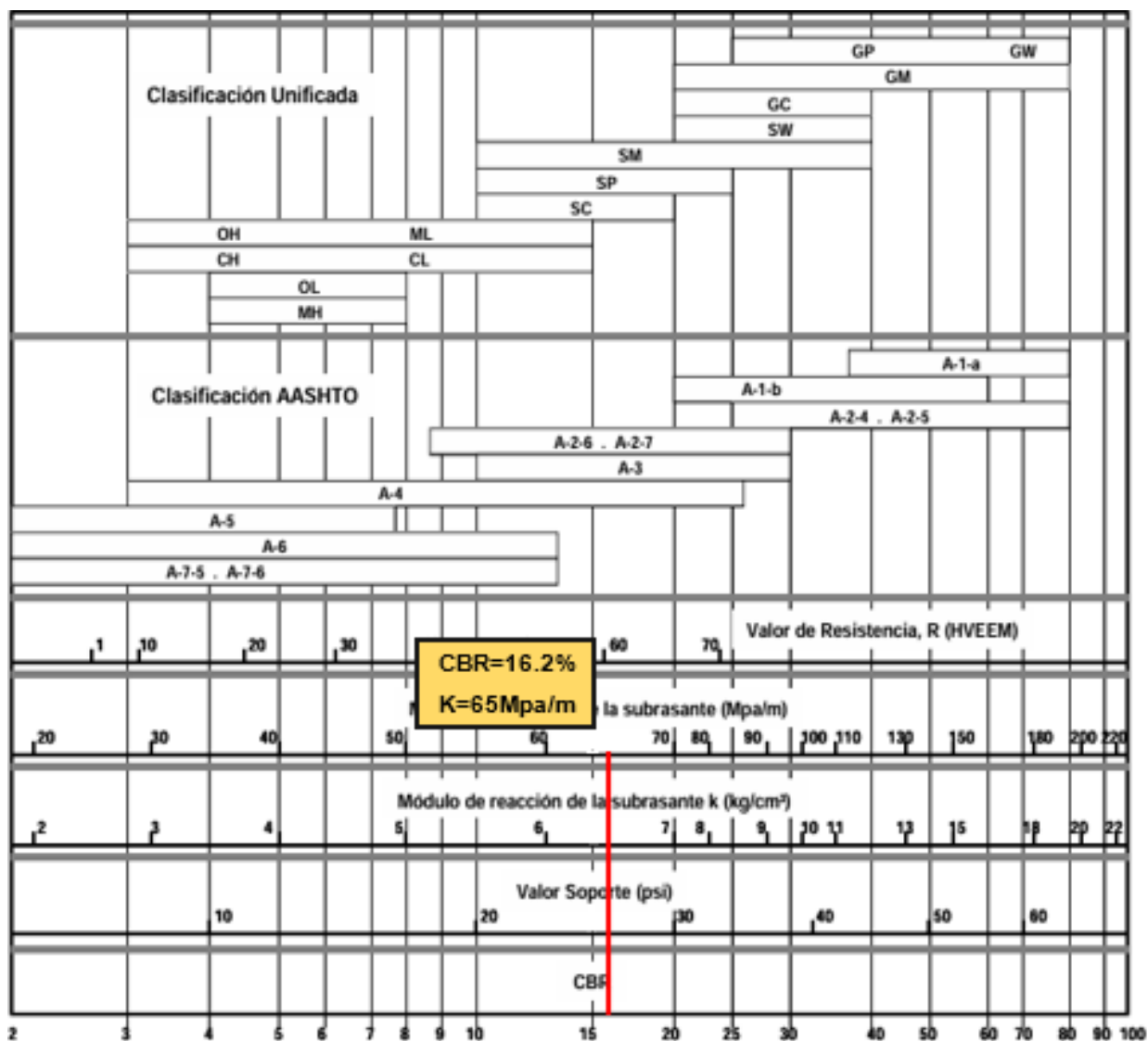
Tabla 111. Porcentaje de ejes equivalentes

Porcentaje de ejes equivalentes (ESAL)				
Tipo de Vehículo		ESAL Diseño	% ESAL	% ESAL Total
Vehículos livianos	Autos	462	0.01	1.188
	Jeep	236	0.008	
	Camioneta	518	0.01	
	Micro Bus	12761	0.47	
	Mini Bus	18505	0.69	
Vehículos pesados	Bus	609139	22.62	98.812
	Camión Ligero	367964	13.80	
	C2	682236	25.712	
	C3	351403	13.18	
	T2S2	79090	2.96	
	T3S2	281167	10.54	
	T3S3	217960	8.17	
	V.C	44665	1.67	
Total		2,666,076.00	100	100

Fuente: Elaboración propia

E) Diseño de pavimento Rígido

Figura 69. California Bearing Ratio CBR (%)



Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimento pág. 70, Cap.7

Tabla 112. Aumento del valor de K según espesor de subbase

K- Suelo - Sub-base (pci)				
k - Suelo (pci)	Espesor de la sub-base			
	4"	6"	9"	12"
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

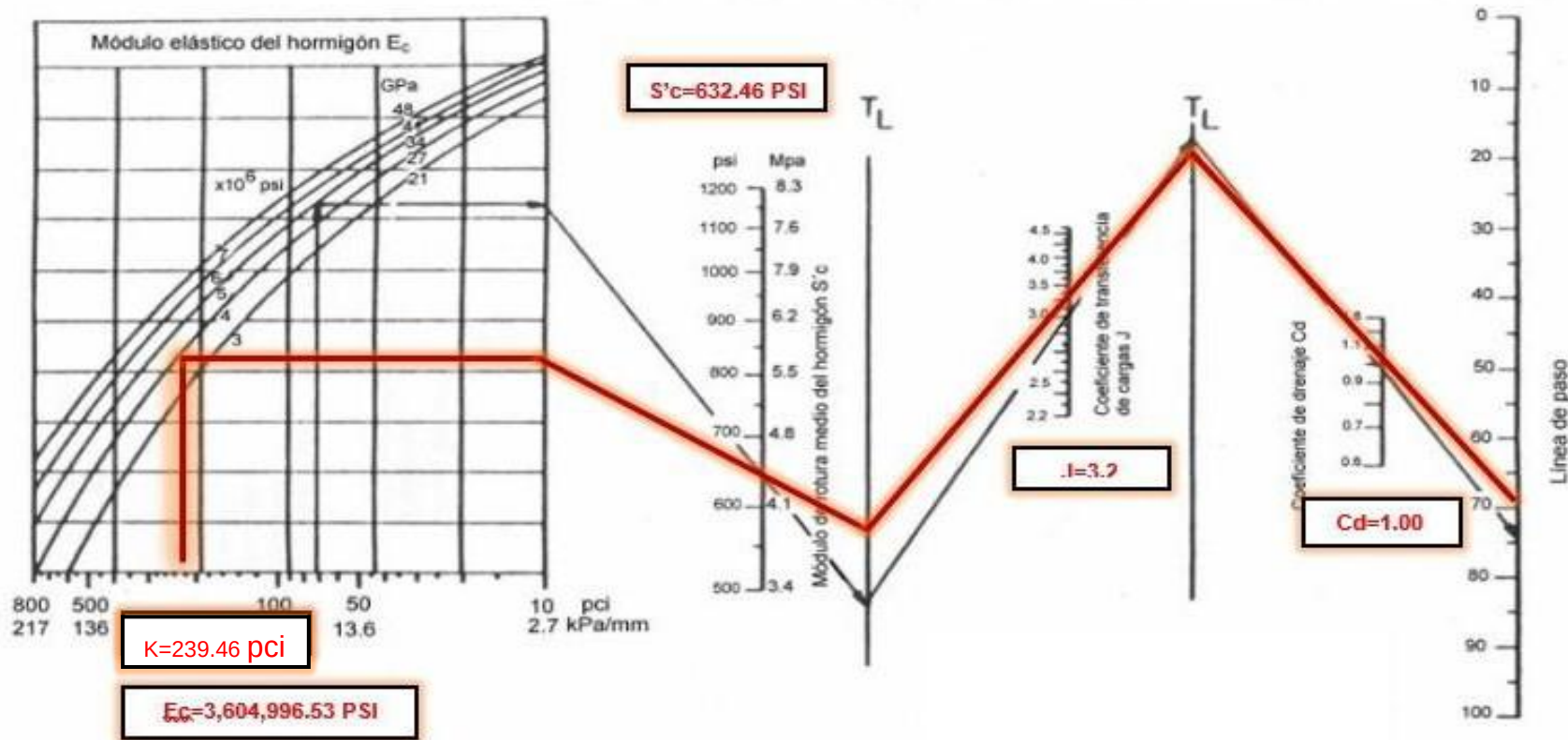
Fuente: Manual de pavimentos de concreto (CEMEX, 2018) Pág. 66, Cap. 2

Tabla 113. Aumento de K según espesor de subbase (6")

Aumento de k (pci) - Suelo con subbase 6"	
k - Suelo (pci)	Espesor de la subbase (6")
200	230
239.46	269.46
300	330

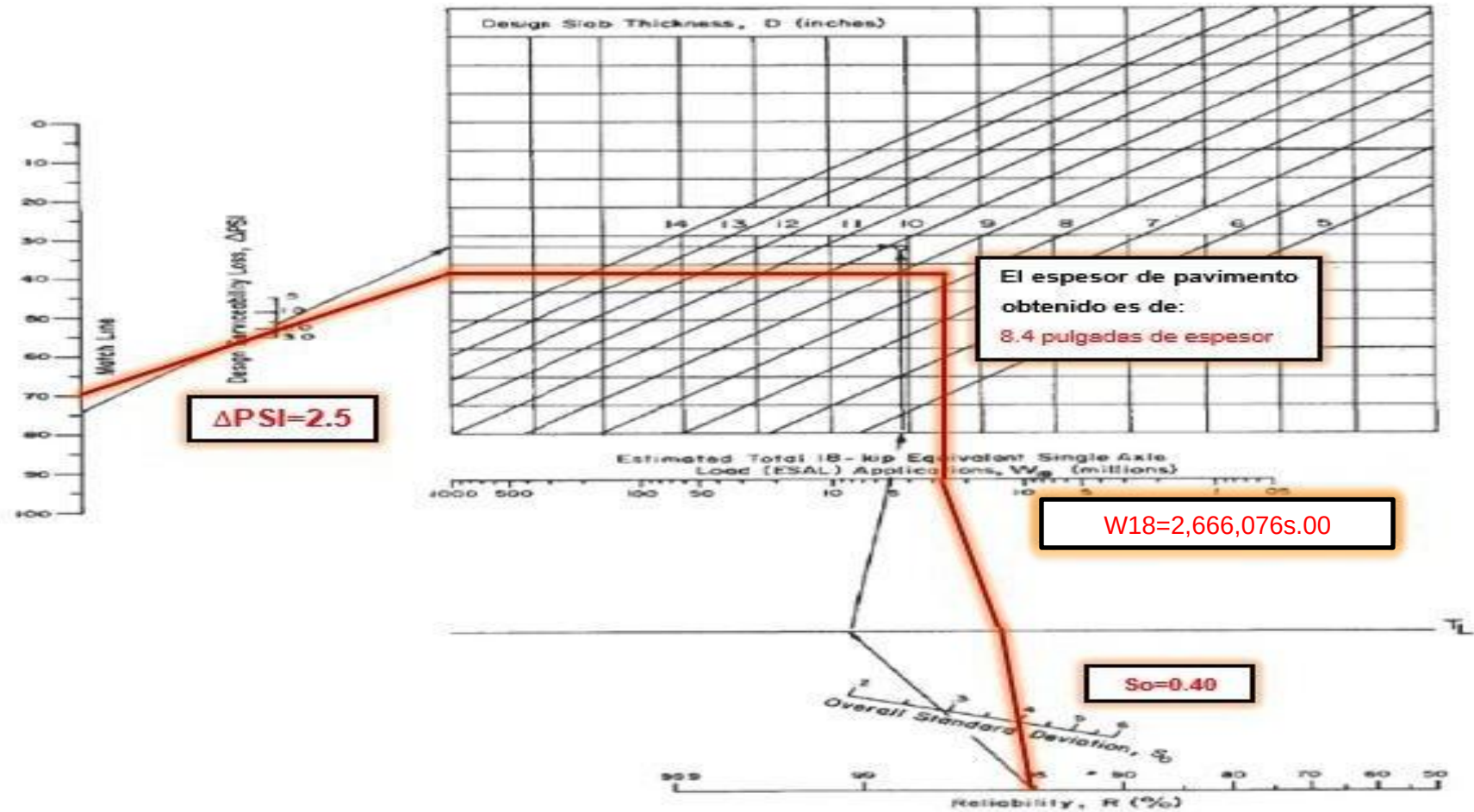
Fuente: Elaboración propia

Figura 70. Ábaco de diseño para pavimentos Rígidos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 71. Ábaco de diseño para pavimentos Rígidos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 72. Cálculo de espesor de losa con subbase granular

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento
☐ Pavimento flexible ☒ Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)
 95 % $Z_r = -1.645$ So 0.40

Serviciabilidad inicial y final
 PSI inicial 4.5 PSI final 2.5

Módulo de reacción de la subrasante
 k 269.46 pci

Información adicional para pavimentos rígidos

Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi) 3604996 Coeficiente de transmisión de carga - (J) 3.2
 Módulo de rotura del concreto - S_c (psi) 632.46 Coeficiente de drenaje - (Cd) 1

Tipo de Análisis
☒ Calcular D **W18 =** 2666076 **Espesor de losa (plg)** **D =** 8.5
☐ Calcular W18

Calcular Salir

Fuente: Elaboración Propia, tomado del programa de la AASHTO 93

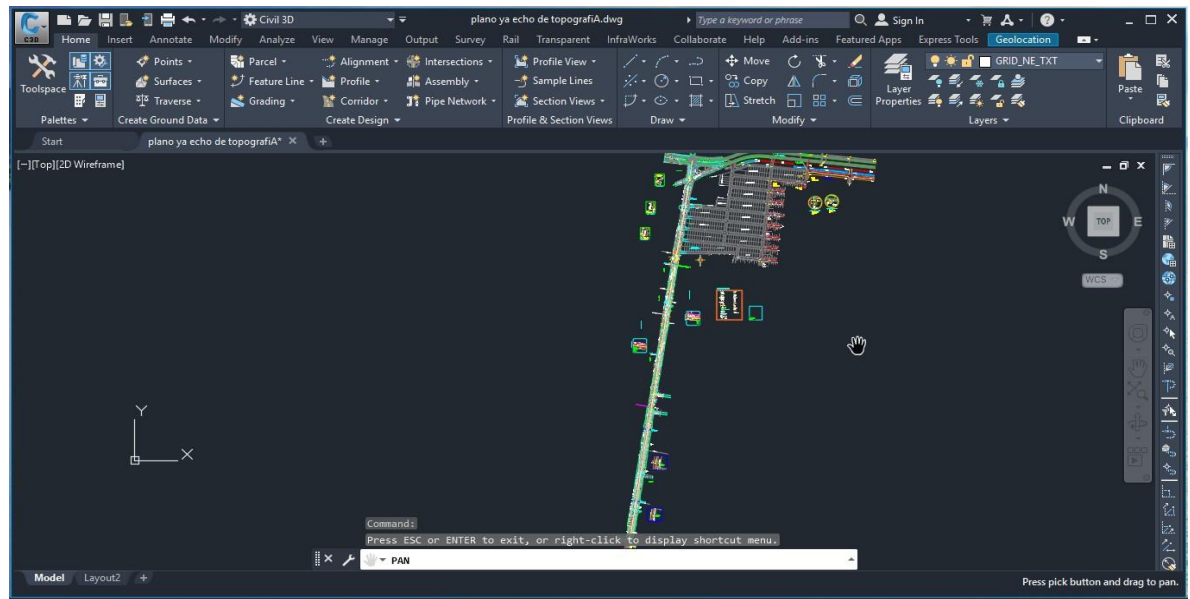
Tabla 114. Resumen de especificaciones para colocación de juntas.

Espesor de losa (cm)	1	2	3	4
	Espaciamiento entre juntas (cm)	Profundidad de corte de juntas (cm)	Profundidad del material de sellado (cm)	Ancho del corte para la junta (cm)
15	360	5.00	1.00	0.50
16	384	5.33	1.07	0.53
17	408	5.67	1.13	0.57
18	432	6.00	1.20	0.60
19	456	6.33	1.27	0.63
20	480	6.67	1.33	0.67
21	504	7.00	1.40	0.70
22	528	7.33	1.47	0.73
23	552	7.67	1.53	0.77
24	576	8.00	1.60	0.80
25	600	8.33	1.67	0.83
26	624	8.67	1.73	0.87
27	648	9.00	1.80	0.90
28	672	9.33	1.87	0.93
29	696	9.67	1.93	0.97
30	720	10.00	2.00	1.00
31	744	10.33	2.07	1.03
32	768	10.67	2.13	1.07
33	792	11.00	2.20	1.10
34	816	11.33	2.27	1.13
35	840	11.67	2.33	1.17

Fuente: Manual centroamericano para diseño de pavimento pág. 99, Cap.7

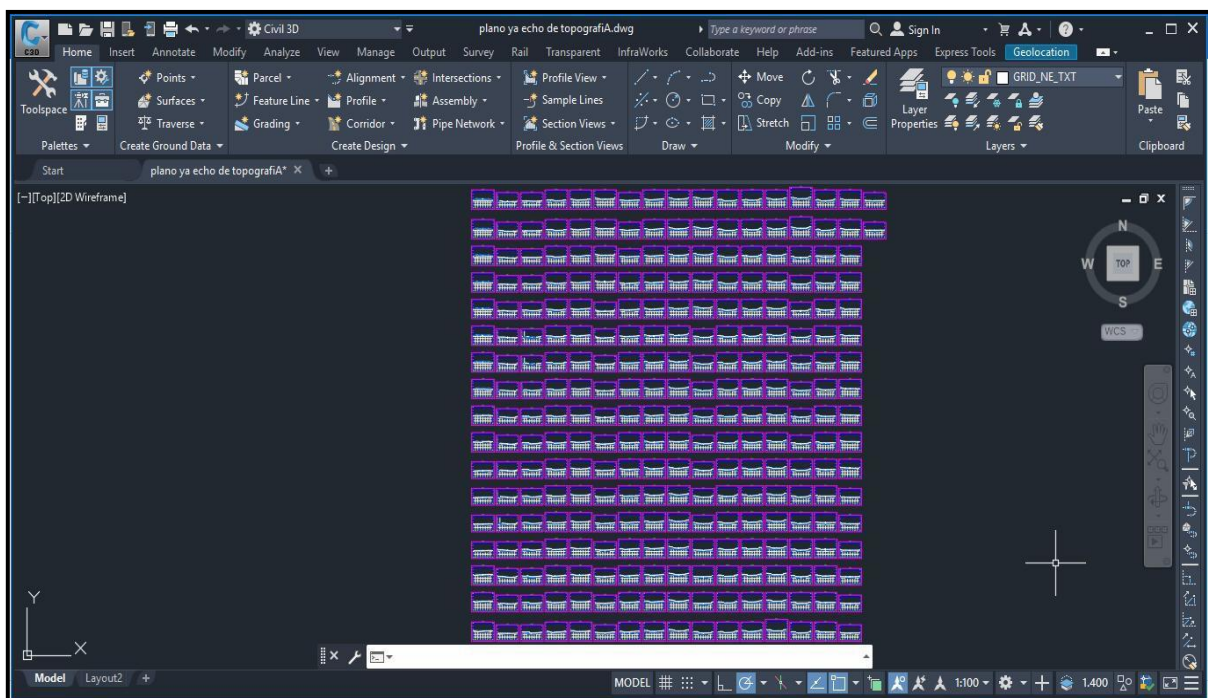
F) Figuras del Diseño Geométrico

Figura 73. Plano topográfico proporcionado pola alcaldía de mangua



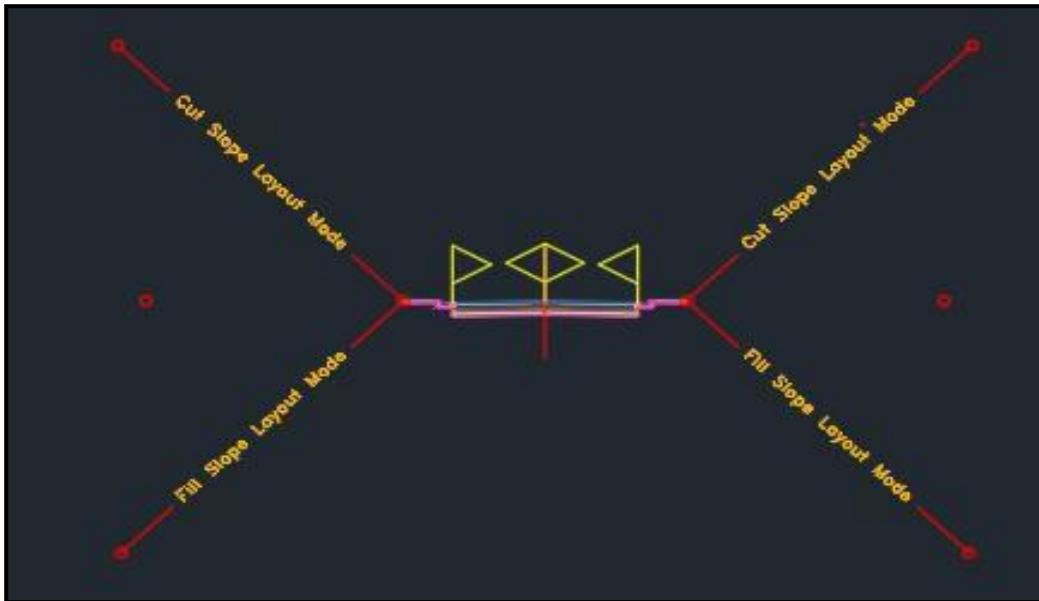
Fuente: Alcaldía de Managua (2025)

Figura 74. Secciones transversales del tramo de estudio



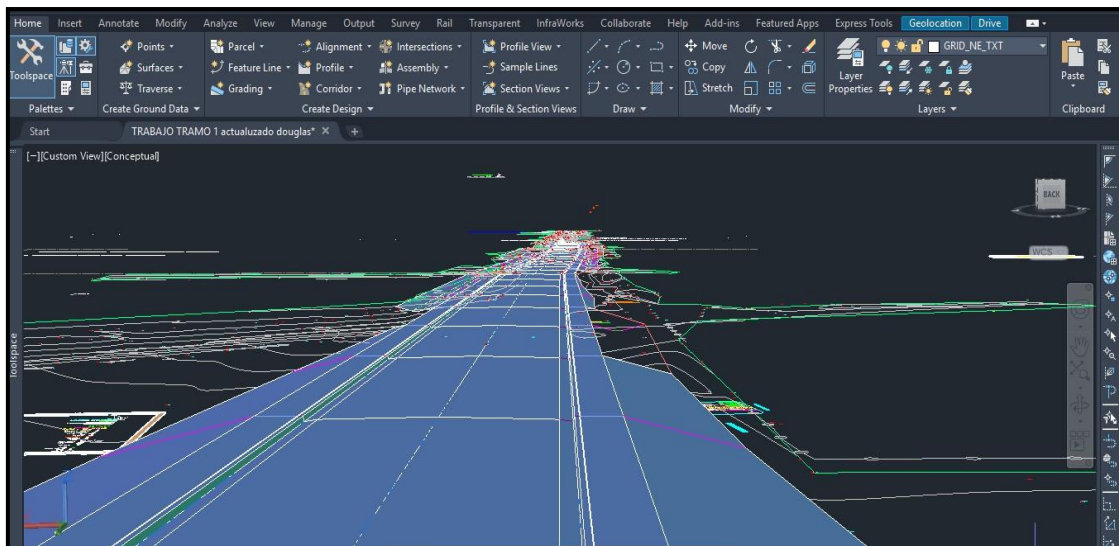
Fuente: Elaboracion propia

Figura 75. Ensamble de la sección transversal



Fuente: Elaboración propia

Figura 76. Vista tridimensional de la obra lineal



Fuente: Elaboración propia

PLANOS