



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE 2 KILÓMETROS
LINEALES DE CALLE POR EL MÉTODO AASHTO 93 Y DRENAJE MENOR,
JUIGALPA, CHONTALES**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Karen Jazmina Romero Lumbí

Br. Rosario Alexander García Urbina

Br. Mario José Castro Moreno

Tutor

Ing. José Fernando Bustamante Arteaga

Managua, octubre de 2019

Dedicatoria

A Dios, por los dones otorgados a cada uno de nosotros, por la salud y sabiduría, por su infinito amor y misericordia, que hasta el día de hoy nos acompaña en el culmino de esta etapa, porque sin su ayuda nada sería posible.

A nuestras familias, por su invaluable sacrificio, compañía y sobre todo paciencia, a lo largo de todas nuestras etapas académicas; por su apoyo incondicional y motivación en los altos y bajos, por ser pilares fundamentales y celebrar cada uno de nuestros logros.

A nuestra Universidad, “Universidad Nacional de Ingeniería”, por ser nuestra formadora académica a lo largo de toda nuestra carrera.

Agradecimiento

A Dios, por estar con nosotros siempre dándonos sabiduría para culminar este proyecto.

A nuestras familias, por su entrega y sacrificio durante toda nuestra formación.

A nuestro tutor, Ing. José Fernando Bustamante Arteaga, por su tiempo, profesionalismo y dedicación con nuestro trabajo.

Al personal del laboratorio de suelos Ing. Julio Padilla por habernos orientado y compartido sus conocimientos y experiencias.

A nuestros docentes, quienes fueron las bases de nuestro desarrollo a lo largo de esta travesía, compartiéndonos sus experiencias y conocimientos.

A nuestros compañeros de clases y amigos, con cuales compartimos el mismo camino, esos que fueron parte de este viaje, con los que peleamos, lloramos y reímos, esos que nos brindaron su apoyo incondicional y desinteresado.

RESUMEN

La presente monografía fue elaborada con el objetivo de diseñar la estructura de pavimento y drenaje menor en algunas calles del Barrio Nuevo Amanecer y la vía principal que conduce al Rastro Municipal, y a las nuevas instalaciones de la sede de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RCJ), para proponer una solución a la problemática y dificultades que afecta a pobladores de la zona. Éste estudio se encuentra estructurado de 6 capítulos los cuales se organizan de la siguiente manera:

CAPITULO I: GENERALIDADES

Se desarrollan aspectos generales, comenzando con una breve descripción del sitio de estudio, la importancia que tienen las vías de transporte para el progreso de una región determinada, los antecedentes del lugar tomando en cuenta las condiciones a las cuales han estado sus calles y la manera de cómo ha afectado a la población que usa esta importante vía de comunicación, también una justificación del porque se ha llevado a cabo éste estudio, los principales objetivos que tiene por finalidad esta monografía seguido de una serie de conceptos técnicos que intervienen en el desarrollo de ésta.

CAPITULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO

Correspondiente a la determinación de las principales características del tránsito que se encuentran presentes en la vía, así como el flujo vehicular para el cálculo del TPD, TPDA y las proyecciones de estos factores para tener una estimación de las cargas a las cuales se someterá la estructura de pavimento.

CAPITULO III: ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Se presentan las principales características altimétricas y planimétricas de las calles en estudio, así como las pendientes longitudinales, las diferencias de altura, curvas de nivel, perfiles longitudinales.

CAPITULO IV: ESTUDIO DE SUELO

Consiste en el análisis de las principales características físico - mecánicas del suelo a lo largo de toda la red vial estudiada y del banco de material existente. Así como contenido de humedad, gravedad específica, límites de consistencia, grado de compactación del suelo y la capacidad de soporte de éste.

CAPITULO V: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

En este capítulo se lleva a cabo el diseño de la estructura de pavimento que tendrán las calles en estudio por el método establecido por la AASHTO en el año 1993, tomando en cuenta los principales parámetros calculados como resultado de los estudios de tránsito y suelo, aquí se detallan los cálculos de factores como serviciabilidad, cargas equivalentes, confiabilidad, numero estructural, módulo resiliente, desviación estándar para concluir con los espesores de las capas.

CAPITULO VI: ESTUDIO HIDROTÉCNICO

Aquí se lleva a cabo el cálculo de los caudales de diseño para el drenaje menor a través del método racional y el análisis hidráulico de las secciones típicas utilizadas por la alcaldía de Juigalpa sometidas a dicho flujo, para ello se utilizará el software HCANALES, para el diseño de las dimensiones de los drenajes como cunetas y vados.

ÍNDICE

CONTENIDO	PAG
I. GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Marco teórico.....	5
1.5.1. Estudio de tránsito	5
1.5.2. Levantamiento topográfico.....	5
1.5.3. Estudio de suelo	6
1.5.4. Diseño vial	7
1.5.5. Diseño de pavimentos	7
1.5.6. Diseño estructural de pavimentos.....	9
1.5.7. Diseño de obras de drenaje menor.....	10
II. ESTUDIO DE TRÁNSITO	13
2.1. Aforo vehicular	13
2.2. Procesamiento de la información	15
2.2.1. Tránsito promedio diario (TPD _{diario})	15
2.2.2. Tránsito promedio diario anual (TPDA).....	15
2.2.3. Composición vehicular	17
2.3. Tránsito de diseño.....	17
2.3.1. Periodo de diseño	17
2.3.2. Factores de distribución del tránsito	18
2.3.3. Factor de crecimiento	20
2.3.4. Cálculo del tránsito de diseño.....	26
2.4. Determinación de los factores de ejes equivalentes	27
III. ESTUDIO TOPOGRÁFICO	30

3.1.	Levantamiento topográfico	30
3.2.	Procesamiento de los datos	44
IV.	ESTUDIO DE SUELO.....	45
4.1.	Trabajo de campo	45
4.2.	Estudios de laboratorio.....	46
4.2.1.	Granulometría ASTM D 422	47
4.2.2.	Determinación de límites de consistencia (Norma ASTM 4318-84)	47
4.2.3.	Clasificación de los suelos.....	51
4.2.4.	Ensayo de compactación de suelos (Norma ASTM D 698 - 00).....	54
4.2.5.	Ensayo de valor relativo de soporte (C.B.R.) Norma técnica (ASTM D 1883-99)	55
4.3.	Banco de material	59
4.3.1.	Liceo agrícola	59
4.3.2.	El Basurero	60
V.	DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO	63
5.1.	Diseño de espesores por el método AASHTO 93	63
5.1.1.	Variables para el diseño	64
5.1.2.	Coeficientes de capa	68
5.2.	Cálculo de los espesores de la estructura de pavimento flexible	73
5.2.1.	Números estructurales (SN)	73
5.3.	Resultados	76
VI.	ESTUDIO HIDROTÉCNICO	77
6.1.	Estudio hidrológico	77
6.1.1.	Métodos seleccionados para apoyar en análisis del sitio hidrológico: 78	
6.2.	Trabajo de campo	79
6.2.1.	Procesamiento de datos y obtención de resultados.....	79
6.2.2.	Caudal de diseño para cunetas	79
6.2.3.	Coeficiente de escorrentía	80
6.2.4.	Área de drenaje de la superficie	80
6.2.5.	Intensidad de precipitación	80
6.2.6.	Tiempo de concentración.....	81
6.3.	Diseño Hidráulico	85

6.3.1. Dimensionamiento de cunetas.....	86
6.3.2. Dimensionamiento de vado con HCANALES	91
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
7.1. Conclusiones.....	93
7.2. Recomendaciones.....	95
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	96

Índice de tablas

Tabla 1. Aforo vehicular en ambos sentidos Estación 0+000 A.....	14
Tabla 2. Tránsito Promedio Diurno.....	15
Tabla 3. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	16
Tabla 4. Composición vehicular.....	17
Tabla 5. Periodos de diseño para distintos tipos de carretera.....	18
Tabla 6. Factor de distribución por dirección.....	19
Tabla 7. Factores de distribución por carril.....	19
Tabla 8. Producto Interno Bruto (PIB) Nominal (En miles de millones de dólares)	20
Tabla 9. Consumo de combustible.....	21
Tabla 10. Población del municipio de Juigalpa.....	22
Tabla 11. Parque vehicular de Chontales.....	23
Tabla 12. Tránsito de diseño.....	26
Tabla 13. Carga de vehículo por tipo de eje.....	27
Tabla 14. Cálculo de ESAL´s por carril de diseño.....	29
Tabla 15. Descripción de las siglas utilizadas en el levantamiento topográfico..	30
Tabla 16. Levantamiento topográfico.....	31
Tabla 17. Levantamiento topográfico (2).....	32
Tabla 18. Levantamiento topográfico (3).....	33
Tabla 19. Levantamiento topográfico (4).....	34
Tabla 20. Levantamiento topográfico (5).....	35
Tabla 21. Levantamiento topográfico (6).....	36
Tabla 22. Levantamiento topográfico (7).....	37
Tabla 23. Levantamiento topográfico (8).....	38
Tabla 24. Levantamiento topográfico (9).....	39
Tabla 25. Levantamiento topográfico (10).....	40
Tabla 26. Levantamiento topográfico (11).....	41
Tabla 27. Levantamiento topográfico (12).....	42
Tabla 28. Levantamiento topográfico (13).....	43
Tabla 29. Ubicación de los sondeos manuales y profundidad de muestreo.....	46
Tabla 30. Ensayos realizados a muestras.....	47
Tabla 31. Descripción de la simbología utilizada en perfiles estratigráficos.....	53
Tabla 32. Resultados de densidad seca máxima y porcentaje de humedad óptimo, Tipo de suelo: A-5.....	55
Tabla 33. Resultados de densidad seca máxima y porcentaje de humedad óptimo, Tipo de suelo: A-7-6.....	55
Tabla 34. Cargas unitarias patrón.....	57
Tabla 35. Distancia de penetración de pistón ensayo de CBR.....	57
Tabla 36. Resultados obtenidos en ensayo CBR.....	58
Tabla 37. Resumen de datos de los bancos de materiales.....	62
Tabla 38. Niveles de confiabilidad.....	64

Tabla 39. Valores de Zr en función de la confiabilidad R	65
Tabla 40. Valores de desviación estándar	66
Tabla 41. Coeficientes de drenaje	66
Tabla 42. Estabilidad de Marshall.....	68
Tabla 43. Resumen de datos calculados.....	75
Tabla 44. Restricciones en el uso de los Métodos Hidrológicos.....	77
Tabla 45. Intensidades de lluvia estación meteorológica Juigalpa, chontales	80
Tabla 46. Cálculo de tiempo de concentración.....	82
Tabla 47. Intensidad media de precipitación	83
Tabla 48. Caudal de diseño para cunetas	84
Tabla 49. Bombeos típicos utilizados en carreteras	86
Tabla 50. Dimensiones de cunetas	88
Tabla 51. Diseño hidráulico de cunetas.....	90
Tabla 52. Dependencia de estaciones	II
Tabla 53. Factores de ajuste para TPDA, MTI 2017	III
Tabla 54. Tipología y descripción vehicular de los conteos de tráfico MTI.....	IV
Tabla 55. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Pt = 2. Ejes simples	V
Tabla 56. Clasificación de Suelos según ASTM D – 3282 / AASHTO M – 145...VI	
Tabla 57. Reporte de laboratorio (1) (Granulometría, Límites de consistencia y clasificación de suelo)	VII
Tabla 58. Reporte de laboratorio (2) (Granulometría, Límites de consistencia y clasificación de suelo)	VIII
Tabla 59. Reporte de laboratorio (3) (Granulometría, Límites de consistencia y clasificación de suelo)	IX
Tabla 60. Resultados de límites de consistencia, muestra 19.....	X
Tabla 61. Datos recopilados en el ensayo, Tipo de suelo: A-5.....	XI
Tabla 62. Contenido de humedad, Tipo de suelo: A-5	XI
Tabla 63. Datos recopilados en el ensayo, Tipo de suelo; A-7-6.....	XII
Tabla 64. Contenido de humedad, tipo de suelo A-7-6	XIII
Tabla 65. Datos de compactación para ensayo CBR, suelo: A-5.....	XIV
Tabla 66. Contenido de humedad para ensayo CBR, Suelo A-5.....	XIV
Tabla 67. Resultados de lectura para ensayo CBR con 10 golpes, Suelo: A-5. XV	
Tabla 68. Resultados para CBR 10 golpes, Suelo: A-5.....	XV
Tabla 69. Resultados de lectura para CBR con 25 golpes, Suelo: A-5	XVI
Tabla 70. Resultados para CBR 25 golpes, Suelo: A-5.....	XVI
Tabla 71. Resultados de lectura para CBR con 56 golpes, Suelo: A-5	XVII
Tabla 72. Resultados para CBR 56 golpes, Suelo: A-5.....	XVII
Tabla 73. Resultados de lectura para CBR con 71 golpes, suelo: A-5.....	XVIII
Tabla 74. Resultados para CBR 71 golpes, Suelo: A-5.....	XVIII
Tabla 75. Resultados de lectura para ensayo CBR con 15 golpes, Suelo: A-7-6	XIX
Tabla 76. Resultados para CBR 15 golpes, Suelo: A-7-6.....	XIX

Tabla 77. Resultados de lectura para CBR con 36 golpes, Suelo: A-7-6	XX
Tabla 78. Resultados para CBR 36 golpes, Suelo: A-7-6.....	XX
Tabla 79. Resultados de lectura para CBR con 71 golpes, Suelo: A-7-5	XXI
Tabla 80. Resultados para CBR 71 golpes, Suelo: A-7-6.....	XXI
Tabla 81. Clasificación de valor de soporte relativo en estructura de pavimento	XXII
Tabla 82. Especificaciones de los materiales empleados en capas de sub – rasante	XXII
Tabla 83. Especificaciones de los materiales utilizados en la Base	XXIII
Tabla 84. Márgenes de valores de graduación aceptables para base según la NIC-2000	XXIII
Tabla 85. Datos de granulometría del banco de material (Parte gruesa, Liceo agrícola)	XXIV
Tabla 86. Datos de granulometría del banco de material (Parte gruesa, El basurero)	XXV
Tabla 87. Datos de granulometría del banco de material (Parte fina, Liceo agrícola)	XXVI
Tabla 88. Datos de granulometría del banco de material (Parte fina, El basurero)	XXVI
Tabla 89. Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular	XXVII
Tabla 90. Coeficientes de escorrentía usados en el método racional	XXVIII
Tabla 91. Límites de resistencia de los sondeos	XXXI
Tabla 92. Valor del percentil por nivel del tránsito	XXXI

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comportamiento del PIB en función del tiempo	21
Gráfico 2. Comportamiento del consumo de combustible en función del tiempo	22
Gráfico 3. Comportamiento del crecimiento poblacional en función del tiempo	23
Gráfico 4. Comportamiento en el crecimiento del parque vehicular de Chontales	24
Gráfico 5. Parque vehicular (ln) vs Crecimiento poblacional (ln)	24
Gráfico 6. Parque vehicular (ln) vs Consumo de combustible (ln)	25
Gráfico 7. Parque vehicular (ln) vs Producto Interno Bruto (ln)	25
Gráfico 8. Perfiles estratigráficos sondeos 1 - 5	52
Gráfico 9. Perfiles estratigráficos sondeos 6 – 10	53
Gráfico 10. Nomograma para la determinación del coeficiente de capa a ₁ para pavimento flexible	69
Gráfico 11. Nomograma para coeficientes de capas de bases granulares	71
Gráfico 12. Nomograma para coeficientes de capas de sub - bases granulares	72
Gráfico 13. Determinación de SN	74

Gráfico 14. Determinación de la densidad máxima y humedad óptima de la línea, Tipo de suelo: A-5	XII
Gráfico 15. Determinación de la densidad máxima y humedad óptima de la línea, Tipo de suelo: A-7-6	XIII
Gráfico 16. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR con 10 golpes, Suelo A-5	XV
Gráfico 17. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR 25 golpes, Suelo A-5 ..	XVI
Gráfico 18. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR 56 golpes, Suelo A-5 ..	XVII
Gráfico 19. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR 71 golpes, Suelo A-5 .	XVIII
Gráfico 20. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR con 15 golpes, Suelo A-7-6	XIX
Gráfico 21. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR 36 golpes, Suelo A-7-6	XX
Gráfico 22. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR 71 golpes, Suelo A-7-6	XXI
Gráfico 23. Selección de CBR para la subrasante	XXXI

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Factores de k para distintos números de golpes	49
Imagen 2. Fórmulas para el dimensionamiento de canales para carreteras inter urbanas	87
Imagen 3. Resultado de Diseño de Vado en software Hcanales.....	92
Imagen 4. Macro y Micro localización del sitio en estudio	I

Generalidades

I. GENERALIDADES

1.1. Introducción

El presente documento se encuentra fundamentado en el “Diseño de estructura de pavimento flexible de 2 kilómetros lineales de calle por el método AASHTO 93 y drenaje menor, Juigalpa, Chontales”, en éste se detallan todos los procesos y estudios que se llevaron a cabo para dar finalidad con los objetivos planteados en el protocolo monográfico.

En la actualidad el desarrollo de una nación se traduce por la calidad de sus vías de comunicación, además, estos medios terrestres son proyectos de inversión muy productiva que aportan al desarrollo turístico, agropecuario e industrial, debido, a la optimización del transporte, de ahí, la trascendencia de enlazar cada sitio de un país de tramo a tramo.

El tramo en estudio se encuentra en la parte suroeste de la ciudad de Juigalpa, en el barrio Nuevo Amanecer y vía al Rastro Municipal, (ver anexos, Imagen 4. Macro y Micro localización del sitio en estudio, pág. I), la cual permanece en un considerable estado de deterioro, no cuenta con una infraestructura de pavimento y en ciertas regiones permanece como camino de estación seca, ya que, en épocas lluviosas puede tender a ser una vía casi intransitable.

El método de diseño para el tramo en estudio es el AASHTO 93, el cual fue desarrollado inicialmente en los años 60 en los Estados Unidos, basándose en un ensayo a escala real, denominado AASHTO ROAD TEST, con el fin de impulsar diversas representaciones de la relación deterioro-solicitación, en las distintas secciones ensayadas.

1.2. Antecedentes

La red de calles ubicada en el barrio Nuevo Amanecer y el acceso al Rastro Municipal ha sido la primordial vía de comunicación para los pobladores que habitan en las zonas aledañas, siendo la arteria principal en la conexión con el resto de la ciudad de Juigalpa.

En los últimos años se han hecho mejoramientos en esta vía, principalmente en el tramo comprendido desde el mercado Mayales hasta el acceso al Rastro Municipal, aunque hasta la fecha no se lleva a cabo un proyecto de pavimentación, y la mayoría de las calles no cuentan con un sistema de drenaje adecuado, que permita la evacuación de las corrientes pluviales.

Debido al deterioro de la vía en cuestión, se dificulta la movilización para los pobladores de la zona, los cuales solamente cuentan con una línea de transporte público (ruta 8), la cual tiene su terminal en el sector y cubre el recorrido desde el Barrio Nuevo Amanecer hasta el barrio El Santuario, y a su vez conecta con el centro de la ciudad; de igual forma, existe escasez de taxis transitando en las cercanías, y por este servicio los pobladores de la localidad, deben pagar un precio extra a la tarifa base de 20 córdobas.

En época lluviosa se muestra el nivel de servicio más bajo en el tramo, debido a la presencia de fango en las calles, por la mala calidad del material del cual están constituidas, y el ineficiente drenado de las aguas que se acumulan luego de que el suelo ha quedado saturado por la humedad.

El mantenimiento del tramo se lleva a cabo en periodos de tiempo, que oscilan entre dos a tres años, aunque, según pobladores el material utilizado en su rehabilitación es de mala calidad, y, por ende, no aporta la resistencia adecuada para los factores a los cuales se le somete habitualmente.

1.3. Justificación

El mejoramiento de calles, carreteras y caminos es de vital importancia para optimizar la movilización de la ciudadanía de un lugar a otro; una calle en buen estado genera múltiples beneficios para los habitantes tales como: reducir el daño de los vehículos, facilitar el acceso al transporte público (rutas, taxis), minimizar los tiempos de viaje, entre otros. De igual manera, la existencia de una adecuada red de drenaje, contribuye no solo al buen manejo de las corrientes pluviales, sino que su principal función es ayudar a la estabilidad de la plataforma de las vías y su superficie de rodamiento.

El tramo en estudio, se encuentra en un considerable estado de deterioro, y su mejoramiento es de gran importancia no solo por conectar a una zona muy poblada del barrio Nuevo Amanecer con el resto de la ciudad, sino por ser una vía de acceso directo a locales destacados como: Mercado Municipal (y estación de buses), el centro de rehabilitación “Los Pipitos”, Rastro Municipal, y al recinto de la Universidad Nacional de Ingeniería “UNI” sede Región Central, que se encuentra en construcción.

Debido al detrimento de este tramo de calle, se dificulta el tránsito sobre todo en época de lluvia, en que se crean grandes estancamientos de agua (los cuales son una fuente para la proliferación de enfermedades), lodo y baches. Lo que provoca que el acceso al transporte público sea limitado para este segmento de la población, debido a que solamente una línea de rutas cubre la demanda y los taxis son escasos en el sector.

Por lo tanto, el diseño de la superficie de rodamiento, con su adecuada red de drenaje menor, y su posterior ejecución, facilitará el tránsito para los habitantes del barrio Nuevo Amanecer y alrededores, agilizará el acceso de los universitarios hacia el nuevo Recinto UNI, y propiciará nuevas obras de progreso en esta zona de constante urbanización.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Diseñar la estructura de pavimento flexible de 2 kilómetros lineales de calle por el método AASHTO 93 y drenaje menor, Juigalpa, Chontales.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar estudio y descripción del tránsito mediante aforo vehicular.
- Efectuar un estudio de las características geométricas de la vía mediante un levantamiento topográfico.
- Analizar las características físico-mecánicas del suelo en el área de estudio y del banco de material, por medio de la realización de sondeos y ensayos de laboratorio.
- Calcular los distintos espesores de las capas que componen la vía por el método AASHTO 93.
- Proponer sección de diseño para las obras de drenaje menor que corresponden a la calle.

1.5. Marco teórico

1.5.1. Estudio de tránsito

Tiene por finalidad cuantificar, calificar y determinar el volumen de tránsito en el tramo de estudio y es una pieza fundamental para efectuar el diseño más eficiente para una determinada vía de acceso o para la remodelación de una ya existente.

1.5.1.1. Aforo vehicular

Se refiere al conteo de vehículos que transitan a través de una calle, camino o intersección en un determinado periodo de tiempo. Existen varios métodos para realizar un aforo vehicular, pero el más común es la forma manual, en el cual se emplean personas como observadores en una sección de la carretera, con ayuda de medios impresos para realizar el conteo; la efectividad de este es mayor, debido a que permite también la clasificación de los vehículos.

1.5.1.2. Características geométricas de la vía

Según (SCT, 2016, p.25) “El análisis geométrico de la vía se refiere a la ordenación y dimensionamiento de los elementos visibles de la carretera contemplando la relación de estos elementos entre sí con respecto al terreno natural.” Todo esto para el adecuado diseño en planta, perfil y sección, que corresponden a los llamados alineamiento vertical, alineamiento horizontal y sección transversal.

1.5.2. Levantamiento topográfico

Consiste en el acopio de datos del sitio de estudio, para la posterior elaboración de los planos, que reflejan a mayor detalle las condiciones del terreno natural. Este, determina las características planimétricas y altimétricas del terreno, y es una base para etapas como movimiento de tierra y para diseño geométrico de la vía. La instrumentación necesaria para su realización consta de equipos que

miden ángulos, desniveles, distancias y coordenadas; tales como teodolitos, estaciones totales, GPS, entre otros.

1.5.3. Estudio de suelo

Según (Delgado, 2014, p.1) “El suelo es una mezcla de materiales sólidos, líquidos y gaseosos. La relación adecuada entre estos componentes determina una serie de propiedades que se conocen como físico-mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia”. Determinar estas características, previo a una construcción, es de gran importancia, debido a que hace posible la clasificación del suelo, identificando así la capacidad de soporte del mismo y confirmando o descartando labores de mejoramiento.

1.5.3.1. Ensayos de laboratorio

Existen varios tipos de ensayos de laboratorio para determinar las características físico-mecánicas del suelo, a continuación, se detallan algunos de estos.

➤ Ensayo Proctor estándar

Según (Lazo, 2010, p.39) “Se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad.” El objetivo de la compactación en suelos, es mejorar sus características en cuanto a resistencia, compresibilidad y esfuerzo de deformación del mismo.

➤ Ensayo valor relativo de soporte o CBR

Según (Lazo, 2010, p.63) El CBR “se emplea en la caracterización de la resistencia del material de cimiento de una vía o de los diferentes materiales que se emplearán en un pavimento, con vista a dimensionar los espesores de los suelos que formarán parte del mismo.” Es decir, mide la resistencia al cortante que poseen los estratos que conformaran los cimientos de la carretera en

construcción y ayuda a dimensionar los elementos que la conforma: Subrasante, sub base y base de la vía.

1.5.4. Diseño vial

El diseño vial es la parte más importante dentro de un proyecto de construcción o mejoramiento de una vía, pues allí se determina su configuración tridimensional, es decir, la ubicación y la forma geométrica definida para los elementos de la carretera; de manera que ésta sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

1.5.5. Diseño de pavimentos

El pavimento es la superficie de rodamiento para los distintos tipos de vehículos, y está conformado por el agrupamiento de capas de distintos materiales, las cuales tienen por finalidad transmitir las cargas aplicadas por el tránsito al cuerpo del terraplén.

1.5.5.1. Estructura de pavimento

Se define pavimento como un conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben de forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, donde se debe tener una operación rápida y cómoda.

1.5.5.2. Pavimentos flexibles

Una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodamiento, las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y sub-base, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

➤ Carpeta de rodadura

La parte visible o superior de un pavimento, la cual es la encargada de sostener directamente la circulación vehicular. Esta, puede ser del tipo flexible (generalmente compuesta por materiales de tipo asfáltico y granulares) o rígido (usualmente a base de concreto de cemento portland y materiales granulares).

➤ Base

Según (Iturbide, 2002, p.16) “Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura de pavimento, destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas a las capas subyacentes, y es sobre la cual, se coloca la carpeta de rodadura.” Es decir, debe ser capaz de repartir uniformemente los esfuerzos a la sub base y sub-rasante, además, debido a su proximidad con la superficie debe poseer alta resistencia a la deformación.

➤ Sub-base

Es la capa de material colocada sobre la sub-rasante, esta, además de transmitir las cargas a la última capa, también sirve como drenaje al pavimento, y ayuda a controlar o eliminar los cambios de volumen, elasticidad o plasticidad perjudiciales que pudiera presentar el material de sub-rasante.

➤ Sub-rasante

La Sub-rasante es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado. La sub-rasante es el asiento directo de la estructura del pavimento y forma parte del prisma de la carretera que se construye entre el terreno natural allanado o explanado y la estructura del pavimento.

En esta capa, dependiendo del material que se encuentre en estado natural, en el sitio del proyecto, se pueden ejecutar labores de mejoramiento, para así aumentar la estabilidad del mismo, debido a que le serán transmitidas las cargas de los vehículos y deberá soportar la estructura de pavimento sin deformarse.

1.5.6. Diseño estructural de pavimentos

En este acápite se detallarán algunos factores de gran importancia en el diseño de la parte estructural de pavimentos, de acuerdo al método AASHTO 93.

1.5.6.1. Índice de serviciabilidad inicial (P_o)

Según (M, 2017, p.57), haciendo referencia al método AASHTO 93, “ P_o es función del diseño de pavimentos y del grado de calidad durante la construcción.” Teniendo en cuenta, que la serviciabilidad se ha definido como la capacidad del pavimento a servir al tipo de vehículos y volumen de tránsito que circula por la vía, entonces, P_o es el valor máximo de servicapacidad de la vía posterior a su construcción.

1.5.6.2. Índice de serviciabilidad final (P_t)

Según (M, 2017, p.57), “es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la vía antes de que sea necesario el tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación.” Es decir, es el valor mínimo de serviciabilidad, y este valor puede variar según la importancia y el volumen de tránsito de la vía.

1.5.6.3. Pérdida de serviciabilidad (ΔPSI)

Este factor, representa el comportamiento del pavimento en cuanto a su serviciabilidad, y muestra como por efecto de las cargas del tránsito vehicular el nivel de serviciabilidad inicial (P_o) se ve reducido al nivel mínimo aceptable (P_t).

1.5.6.4. Cargas equivalentes acumuladas (W_{t18})

(M, 2017, p.45) lo define como “Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el periodo de diseño (n)” es decir, la transformación de ejes de un tránsito vehicular mixto, según el factor de equivalencia de cargas acumuladas durante el diseño el cual es de 8kN o 8.2ton.

1.5.6.5. Número estructural (SN)

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

1.5.6.6. Confiabilidad (R)

Según (M, 2017, p.49) “La "Confiabilidad del Diseño (R)" se refiere al grado de certidumbre (seguridad) de que una determinada alternativa de diseño alcance a durar.” Es decir, el grado de certitud del diseño de pavimento, con una adecuada capacidad de carga para el flujo vehicular existente en la vía y un buen valor de servicapacidad por el mayor tiempo posible.

1.5.6.7. Desviación estándar (So)

Según (M, 2017, p.45) es la “Función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.” Es decir, la conducta del pavimento, en cuanto al posible aumento del flujo vehicular y de cargas, que este pueda sufrir durante su vida útil.

1.5.6.8. Módulo resiliente (MR)

Según (M, 2017, p.45) “Módulo Resiliente de la sub-rasante y de las capas de bases y sub-bases granulares, obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).” Este, es utilizado para caracterizar las propiedades de los suelos a utilizar en las capas de la vía.

1.5.7. Diseño de obras de drenaje menor

El objetivo principal de las obras de drenaje es reducir o eliminar la energía generada por una corriente de agua y evitar así, su presencia excesiva en la calzada, ya que puede repercutir negativamente en los materiales con que fue construida, debido a esto, la implementación de obras de drenaje es un aspecto

necesario en el diseño de estructuras de pavimento. En este acápite, se incluyen algunos conceptos fundamentales para el adecuado diseño de una red de drenaje menor.

1.5.7.1. Estudio hidrológico

Un estudio hidrológico está orientado principalmente al análisis de una cuenca hidrográfica, mediante el funcionamiento de la misma, así como de sus componentes geomorfológicos, sus elementos meteorológicos y de escorrentía.

➤ Cuenca hidrográfica

Es el área de aguas superficiales o subterráneas que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o bien directamente en el mar.

➤ Escorrentía

La escorrentía hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje. La escorrentía superficial es una de las principales causas de erosión a nivel mundial. Suele ser particularmente dañina en suelos poco permeables, como los arcillosos, y en zonas con una cubierta vegetal escasa.

➤ Intensidad media de precipitación

Lámina de precipitación caída en una unidad de tiempo, se obtiene por la lectura directa en la curva de intensidad duración frecuencia (IDF).

➤ Coeficiente de escorrentía (C)

Este coeficiente, depende de varios factores, entre ellos: el tipo de precipitación y su cantidad, su intensidad y distribución en el tiempo, el tipo de suelo y su recubrimiento vegetal, entre otros. Este, define la proporción de la componente superficial de intensidad I.

➤ Bombeo

Es la inclinación o pendiente existente a ambos lados del camino, las cuales son geométricamente iguales y sirven para drenar la superficie del mismo, evitando así que se produzcan charcos, o que el agua cause daños producto de la erosión.

➤ Drenaje transversal

Las obras de drenaje transversal sirven para desaguar el caudal recogido por la plataforma y sus márgenes, y el canalizado a través de las cunetas. Estas pueden ser de varios tipos y tamaños, tales como: caños, alcantarillas, cajones, entre otros.

➤ Cunetas

Son canales de drenaje generalmente de sección triangular, los cuales se disponen al pie de los taludes de corte a ambos lados de la sección de la vía, estas, reciben y transportan las aguas de origen pluvial para que no provoquen daños o estragos a la estructura de pavimento.

ESTUDIO DE TRÁNSITO

II. ESTUDIO DE TRÁNSITO

El tránsito representa uno de los componentes importantes para la determinación de las dimensiones de los elementos en la carpeta de rodamiento de una vía determinada, ya que tanto la cantidad como la composición del tránsito es muy determinante para considerar las cargas a las cuales será sometida la infraestructura diseñada a través de un tiempo determinado (periodo de diseño).

Es procesamiento de la información se llevó a cabo mediante diferentes ecuaciones para la determinación de los distintos factores calculados, utilizando datos recopilados por el Ministerio de transporte en infraestructura a través del “Anuario de aforo de tráfico” del año 2017.

Además, para la determinación del factor de crecimiento se tomaron datos del Banco Central de Nicaragua (BCN), el Instituto Nicaragüense de Energía (INE) y del Instituto Nicaragüense de información de Desarrollo (INIDE), en lo que se refiere al Producto Interno Bruto (PIB), el consumo de combustible y el crecimiento poblacional respectivamente.

2.1. Aforo vehicular

El presente estudio de tránsito inicia con un aforo vehicular el cual se realizó durante cinco días (de lunes a viernes) del 18 al 22 de diciembre del año 2017, con intervalos de tiempos desde las 6:00 am hasta las 6:00 pm (12 horas), se consideró que en los fines de semana este sector carece de un alto flujo de vehículos ya que se encuentra en una zona alejada del centro de la ciudad y no se desarrollan actividades comerciales. Para ello, se estableció una estación de conteo en el punto 0+000 del eje A, de la red de calles estudiadas. Contabilizando los vehículos que circulaban en ambos sentidos de la vía.

La clasificación vehicular se llevó a cabo mediante las tablas de conteo utilizadas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), tomando en cuenta los vehículos de carga y de pasajeros.

A continuación, se muestran los resultados del conteo vehicular realizado en esta etapa del estudio de tránsito.

Tabla 1. Aforo vehicular en ambos sentidos Estación 0+000 A

Aforo Vehicular para un periodo de 12 horas																
Dias	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	Mc Bus < 15 pas.	Mn Bus 15 - 30 s	Bus	Liv. 2 - 5 Ton	C2 5+ ton	C3	Tx - Sx <= 4e	Tx - Sx <= 5e	Cx - Rx <= 4e	Cx - Rx <= 4e	V.A.	V.C.
Lunes	536	164	0	264	0	40	0	80	36	0	0	0	0	0	0	0
Martes	621	139	7	213	0	33	0	27	43	0	0	0	0	0	0	0
Miércoles	744	218	0	283	0	60	5	41	53	0	0	0	0	0	0	0
Jueves	766	170	0	207	0	75	0	62	39	0	0	0	0	0	0	0
Viernes	598	188	10	158	0	60	0	28	24	0	0	0	0	0	0	0
Totales	3265	879	17	1125	0	268	5	238	195	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Levantamiento por sustentantes

2.2. Procesamiento de la información

Ahora se procede utilizar los datos obtenidos en el aforo vehicular para calcular los diferentes factores vinculados con el presente estudio de tránsito.

2.2.1. Tránsito promedio diario (TPD_{diurno})

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

$$TPDi = \frac{\text{Total vehiculos}}{T} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde el total de vehículos es la sumatoria de todos los vehículos contados durante el aforo (por categoría), y T es el tiempo que duró el aforo en día.

Ejemplos de cálculo:

$$TPDi (\text{Motos}) = \frac{3,265}{5} = 653 \text{ motos}$$

$$TPDi (\text{Autos}) = \frac{879}{5} = 175.8 \approx 176 \text{ autos}$$

Tabla 2. Tránsito Promedio Diurno

Vehículo de pasajeros	Total	TPDi
Moto	3265	653
Autos	879	176
Jeep	17	3
Camta.	1125	225
Mn Bus 15 - 30 s	268	54
Bus	5	1
Vehículos de carga		
Liv. 2 -5 Ton	238	48
C2 5+ Ton	195	39
Totales	5992	1199

Fuente: Elaboración por sustentantes

2.2.2. Tránsito promedio diario anual (TPDA)

Ahora se procede al cálculo del TPDA para cada una de las categorías de los vehículos que se contaron durante el aforo vehicular, este valor es una medida

del promedio de vehículos diarios que circulan basándose en un año. Para ello se utilizará el tránsito promedio diario calculado anteriormente, y tomando en cuenta factores como, el factor día, factor semana y factor de expansión, todo esto mediante la siguiente ecuación.

$$TPDA = TPDi * F.dia * F.semana * F.expansión \quad \text{Ecuación 2}$$

Los valores de los factores para la utilización de esta ecuación se tomarán del Anuario de Aforo del Tráfico del año 2017 del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), considerando la estación de corta duración N° 704 Juigalpa – Emp. De Acoyapa (debido a que es la más cercana a la red de calles estudiadas), de la cual depende la estación de mayor cobertura N° 300 Sébaco – Quebrada Honda (ver anexos, Tabla 52. Dependencia de estaciones, pág. II). Los factores que se toman en cuenta son los mostrados en anexos, tabla 53. Factores de ajuste para TPDA, MTI 2017, pág. III.

Tabla 3. Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA)

	TPDi	Factor día	Factor semana	Factor de expansión	TPDA
Vehículo de pasajeros					
Moto	653	1.22	0.96	1.04	795
Autos	176	1.28	1.03	1.05	244
Jeep	3	1.3	1	1.04	4
Camta.	225	1.29	0.93	1.05	283
Mn Bus 15 - 30 s	54	1.25	0.94	1.11	70
Bus	1	1.22	0.97	1.05	1
Vehículos de carga					
Liv. 2 -5 Ton	48	1.32	0.89	0.96	54
C2 5+ Ton	39	1.48	0.9	1.03	54
Totales	1199				1505

Fuente: Elaboración por sustentantes

Ejemplos de cálculo:

$$TPDA (motos) = (653)(1.22)(0.96)(1.04) = 795.38 \approx \mathbf{795 \text{ motos}}$$

$$TPDA (autos) = (176)(1.28)(1.03)(1.05) = 243.64 \approx \mathbf{244 \text{ autos}}$$

2.2.3. Composición vehicular

Según los resultados obtenidos a través del aforo vehicular y posterior procesamiento de los datos, se obtuvo que el tránsito se encuentra clasificado en su mayoría por vehículos de pasajeros los cuales comprenden un 92.82 % del total y el resto (el 7.18 %), por vehículos de carga, en la siguiente tabla se muestra los porcentajes para cada una de las categorías que componen el tránsito de la zona.

Tabla 4. Composición vehicular

Tipo de vehículo	TPDA	% TPDA	% Vehículos de pasajeros y de carga	
Moto	795	52.82%	Veh. de pasajeros	92.82%
Autos	244	16.21%		
Jeep	4	0.27%		
Camta.	283	18.80%		
Mn Bus 15 - 30 s	70	4.65%		
Bus	1	0.07%		
Liv. 2 -5 Ton	54	3.59%	Veh. de carga	7.18%
C2 5+ Ton	54	3.59%		
Totales	1505	100.00%		100.00%

Fuente: Elaboración por sustentantes

2.3. Tránsito de diseño

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

$$TD = TPDA * Fc * Fd * fc \quad \text{Ecuación 3}$$

2.3.1. Periodo de diseño

El manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales (SIECA) establece los distintos intervalos de tiempo que se deben de considerar para el periodo de diseño en cada tipo de carretera. La

siguiente tabla muestra los distintos tipos de carreteras y los periodos de diseño que le corresponden a cada uno.

Tabla 5. Periodos de diseño para distintos tipos de carretera

Tipo de carretera	Periodo de diseño
Autopista regional	20 - 40 (Años)
Troncales Sub - Urbanas	15 - 30 (Años)
Troncales Rurales	
Colectoras Sub - Urbanas	10 - 20 (Años)
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de Carreteras (SIECA), cap.7, p.3.

El periodo de diseño a considerar para el presente proyecto, ya que este se clasifica como una colectoras Sub – urbana (éste funcionaria para velocidades menores en distancias cortas para calles o caminos locales) es de 15 años, siendo la media del intervalo de “10 a 20 años”.

2.3.2. Factores de distribución del tránsito

Los factores de distribución del tránsito son parámetros que describen parte de las características de la vía, esta facilita la diferencia de la vía y su servicialidad. En la ecuación del tránsito de diseño (ecuación 3) se consideran dos factores de distribución; el factor de distribución por carril (f_c) y el factor direccional (F_d).

2.3.2.1. Factor direccional (F_d)

Este se basa en la proporción de la cantidad de vehículos que viajan en una dirección y la cantidad de vehículos que viajan en la otra dirección en relación con la cantidad de vehículos totales que circulan en la vía, en la siguiente tabla se detallan los factores de distribución por sentido o dirección para diferentes números de carriles.

Tabla 6. Factor de distribución por dirección

Número de carriles en ambas direcciones	Porcentaje de distribución
2	50
4	45
6 a más	40

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de Carreteras (SIECA), cap.2, p.29.

Para el caso de la red de calle a diseñar se considera que funciones a base de dos carriles por lo tanto se establece un porcentaje para el factor de distribución por dirección del 50 %.

2.3.2.2. Factor de distribución por carril (fc)

Este factor está basado en el carril de diseño, que se define como el carril que recibe más número de ESAL's. En la siguiente tabla se detallan los factores de distribución por carril para diferentes números de carriles en una dirección que tiene una carretera.

Tabla 7. Factores de distribución por carril

Número de carriles en una sola dirección	Porcentaje de distribución
1	1.00
2	0.80 - 1.00
3	0.60 - 0.80
4	0.5 - 0.75

Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993, p.58

Para la red de calles a diseñar se considera que cada dirección cuenta con un carril, por lo tanto, se establece un factor de distribución por carril fc de 1.

2.3.3. Factor de crecimiento

El factor de crecimiento es un parámetro que depende del periodo de diseño, la cual se establece según la magnitud o importancia de la vía y de la tasa de crecimiento del tránsito. Esta se calcula mediante la siguiente expresión matemática.

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde i es la tasa de crecimiento vehicular y n es el periodo de diseño establecido.

Para la determinación de la tasa de crecimiento se considerará el histórico en las estadísticas relacionadas con el desarrollo económico (Producto Interno Bruto), el consumo de combustible, el crecimiento poblacional y el parque vehicular, ya que son parámetros que contribuyen al aumento en el tránsito que circula a través de una red vial.

➤ Producto Interno Bruto (PIB)

Es un indicador macro económico que se utiliza para hacer una estimación de la producción de los bienes y servicios de un país en cierto periodo de tiempo (por lo general, en un año). Este indicador, es una referencia muy importante para determinar el grado de desarrollo económico de un país.

La siguiente tabla muestra las cantidades del producto interno bruto nominal desde el año 2011 hasta el 2017.

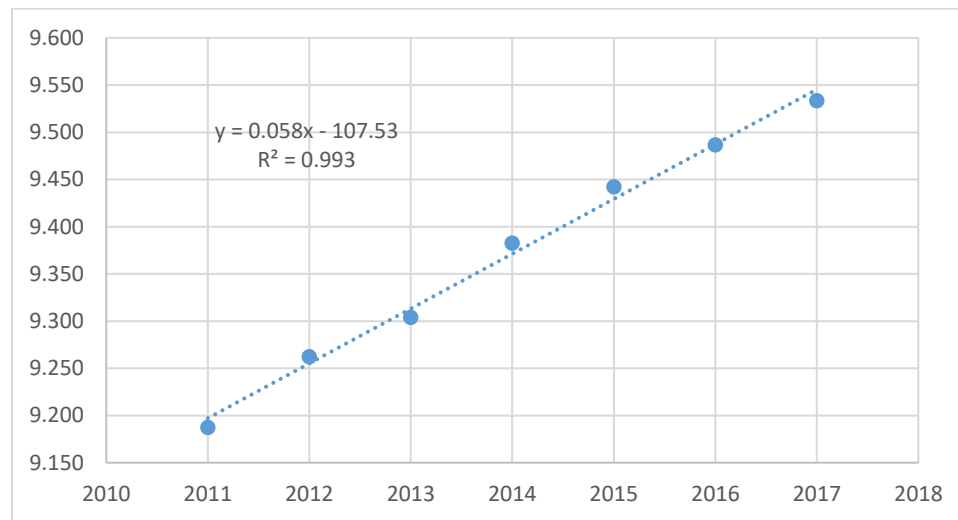
Tabla 8. Producto Interno Bruto (PIB) Nominal (En miles de millones de dólares)

Año	PIB Nominal	Log. natural
2011	9,774.00	9.187
2012	10,532.00	9.262
2013	10,983.00	9.304
2014	11,880.00	9.383
2015	12,611.00	9.442
2016	13,184.00	9.487
2017	13,814.00	9.533

Fuente: Estadísticas macroeconómicas (Banco Central de Nicaragua)

A continuación, se realiza la correlación del comportamiento del PIB anual a través del tiempo, se determina una tasa de crecimiento promedio del 5.8 % (que es el valor en decimales que multiplica por la variable “x” en la ecuación de correlación)

Gráfico 1. Comportamiento del PIB en función del tiempo



Fuente: Elaboración por sustentantes

➤ Consumo de combustible

El consumo de combustible se considera para estimar la tasa de crecimiento que afecta a los vehículos pesados de pasajeros. A continuación, se muestra una tabla con las cantidades anuales de consumo en miles de barriles de combustible, desde el año 2011 hasta el 2017 en el departamento de Chontales.

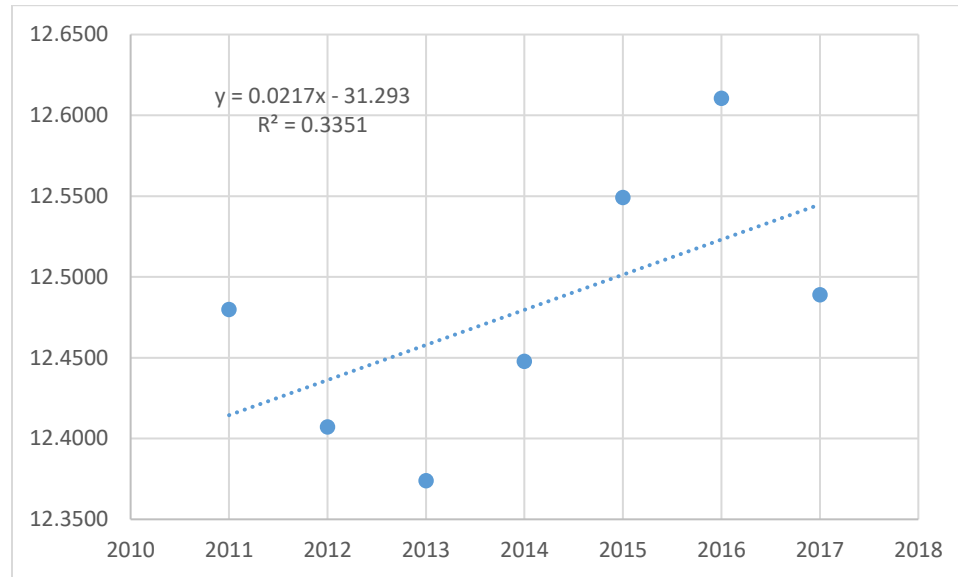
Tabla 9. Consumo de combustible

Año	Consumo	Log. natural
2011	263,003	12.480
2012	244,567	12.407
2013	236,554	12.374
2014	254,691	12.448
2015	281,862	12.549
2016	299,687	12.610
2017	265,365	12.489

Fuente: Instituto Nicaragüense de Energía (INE)

A continuación, se realiza la correlación del consumo de combustible anual a través del tiempo, se determina una tasa de crecimiento promedio del 2.17 %.

Gráfico 2. Comportamiento del consumo de combustible en función del tiempo



Fuente: Elaboración por sustentantes

➤ Crecimiento poblacional

Se considera el crecimiento poblacional para relacionarlo con los vehículos livianos de pasajeros, en la siguiente tabla se describe el comportamiento en la población del municipio de Juigalpa desde el año 2011 al 2017.

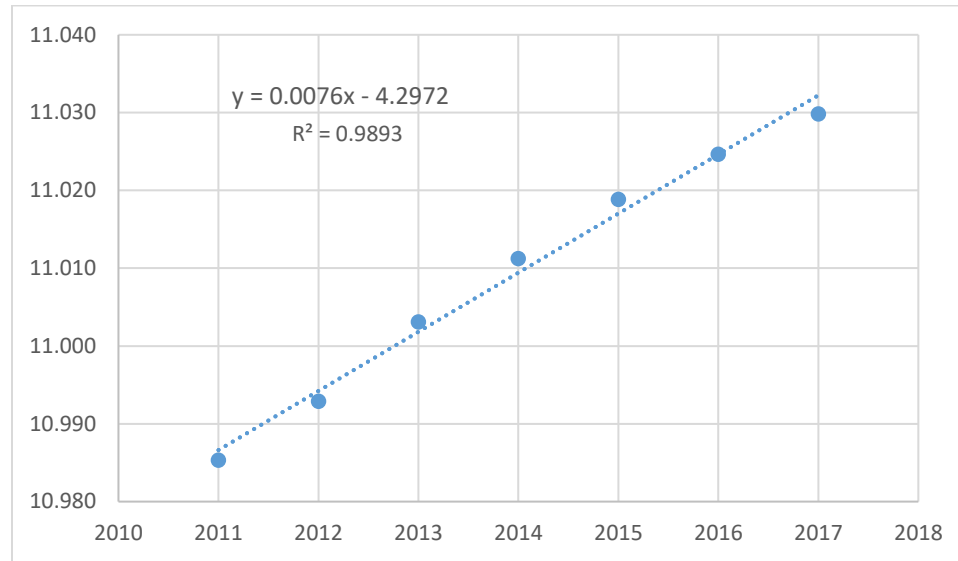
Tabla 10. Población del municipio de Juigalpa

Año	Ambos sexos	Log. natural
2011	59,002	10.985
2012	59,450	10.993
2013	60,061	11.003
2014	60,551	11.011
2015	61,014	11.019
2016	61,368	11.025
2017	61,688	11.030

Fuente: Instituto Nicaragüense de Información de Desarrollo

A continuación, se muestra la correlación que define el comportamiento del crecimiento en la población del municipio de Juigalpa en función del tiempo, se puede determinar una tasa promedio de 0.76 %.

Gráfico 3. Comportamiento del crecimiento poblacional en función del tiempo



Fuente: Elaboración por sustentantes

➤ Parque vehicular

Ahora se analiza el crecimiento del parque vehicular de Chontales, para ello se tiene la siguiente tabla la cual muestra las magnitudes para esta variable para cada uno de los años desde el 2011 hasta el 2017.

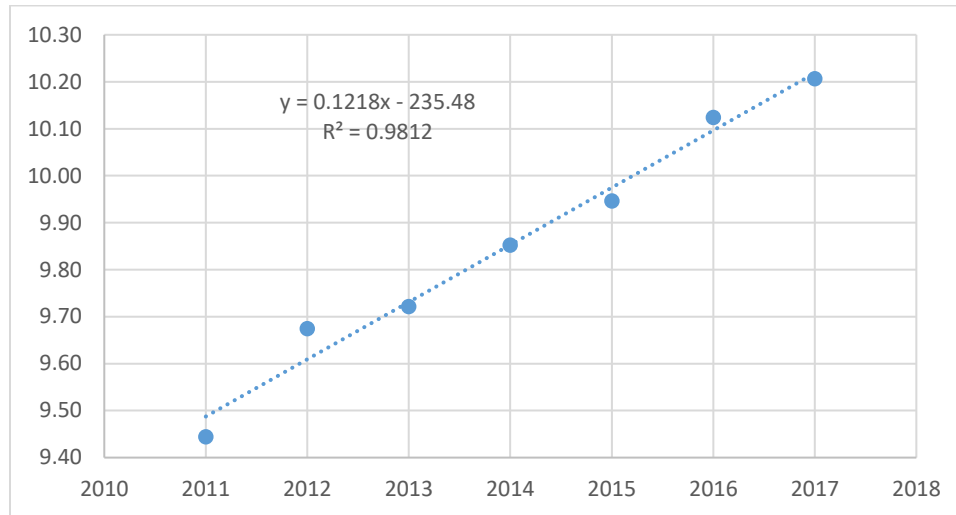
Tabla 11. Parque vehicular de Chontales

Año	Cantidad	Log. natural
2011	12635	9.444
2012	15,912.00	9.675
2013	16,671.00	9.721
2014	19,005.00	9.852
2015	20,874.00	9.946
2016	24,934.00	10.124
2017	27,086.00	10.207

Fuente: Policía Nacional

A continuación, se muestra la correlación que define el comportamiento del crecimiento en el parque vehicular de Chontales en función del tiempo, se puede determinar una tasa promedio de 12.18 %. Esta tasa no se tomará en cuenta en el promedio ya que es muy elevada y puede no representar de manera directa el TPDA del tramo en estudio, ya que es un valor dado a nivel de todo el departamento.

Gráfico 4. Comportamiento en el crecimiento del parque vehicular de Chontales



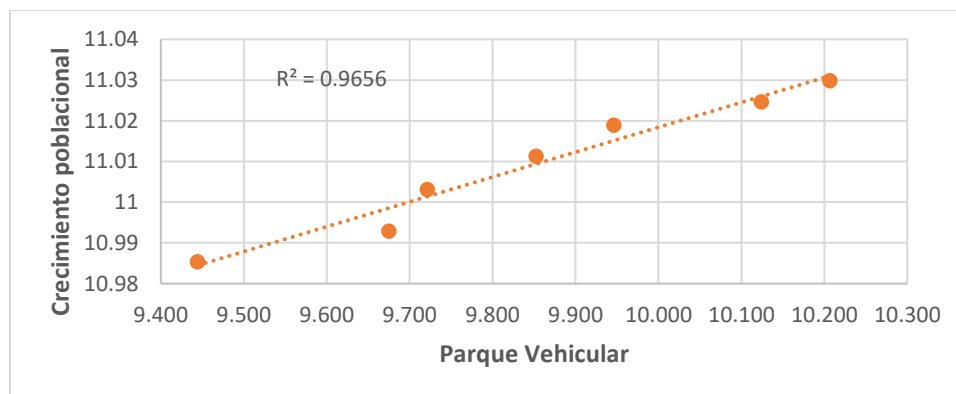
Fuente: Elaboración por sustentantes

2.3.3.1. Correlaciones de las variables

Ahora se establecerá la relación entre las variables consideradas para el cálculo de la tasa de crecimiento, con el objetivo de determinar ciertas tendencias de crecimiento para cada uno de los parámetros comparándolos con el crecimiento del parque vehicular

- Correlación para afectar el tránsito de vehículos livianos de pasajeros

Gráfico 5. Parque vehicular (ln) vs Crecimiento poblacional (ln)

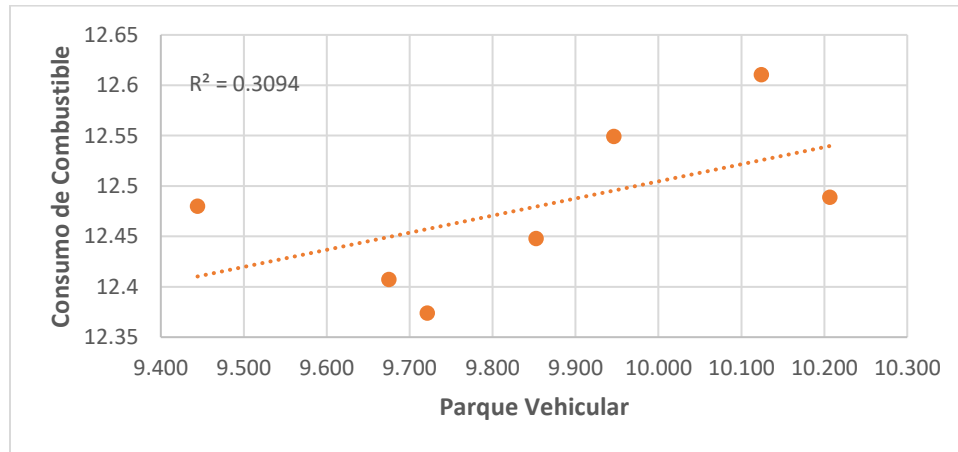


Fuente: Elaboración por sustentantes

Se puede observar que el comportamiento de los puntos es bastante lineal teniendo un coeficiente de correlación de 0.9656, lo cual indica una tendencia de crecimiento entre las dos variables que es muy buena.

- Correlación para afectar el tránsito de vehículos pesados de pasajeros

Gráfico 6. Parque vehicular (ln) vs Consumo de combustible (ln)

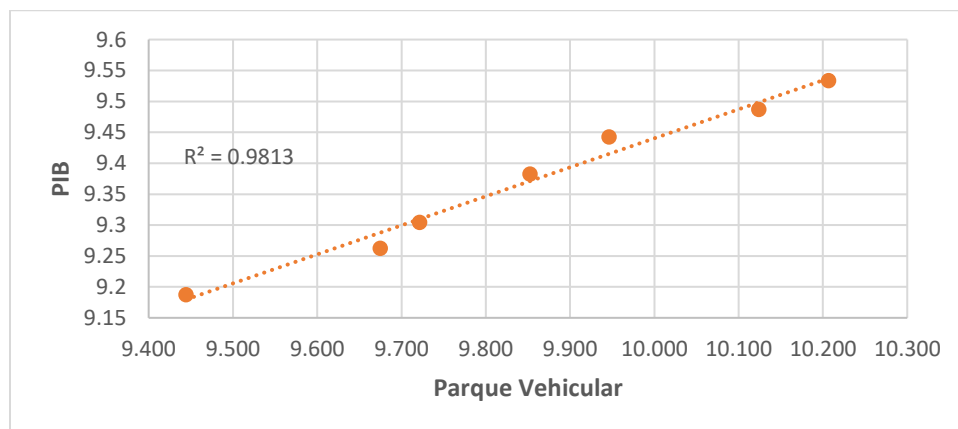


Fuente: Elaboración por sustentantes

Se puede observar un conjunto de puntos bastante disperso con un coeficiente de correlación de 0.3094, lo que indica que la tendencia de crecimiento entre las dos variables es un poco deficiente.

- Correlación para afectar el tránsito de vehículos de carga

Gráfico 7. Parque vehicular (ln) vs Producto Interno Bruto (ln)



Fuente: Elaboración por sustentantes

Como se puede apreciar en el gráfico anterior la relación entre las dos variables es muy lineal, con un coeficiente de correlación de 0.9813, se puede considerar que la tendencia de crecimiento entre las dos variables es muy buena.

Ahora la tasa de crecimiento se calcula de la siguiente manera:

$$i = \frac{PIB + C. Combustible + C. Poblacional}{4} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$i = \frac{5.8\% + 2.17\% + 0.76\%}{3} \approx 2.91\%$$

Ahora se procede a la determinación del factor de crecimiento con la ecuación 4.

$$Fc = \frac{(1 + 0.0291)^{15} - 1}{0.0291} * 365$$

$$Fc \approx 6,744$$

2.3.4. Cálculo del tránsito de diseño

Ahora se procede con el cálculo del tránsito de diseño, esto se llevará a cabo por medio de la Ecuación 3.

Tabla 12. Tránsito de diseño

Grupo	Tipo de vehículo	TPDA	Factor Direccional	Factor Carril	Factor de Crecimiento	TD
Vehículos de pasajeros	Moto	795	0.5	1	6,744	2,680,740.00
	Autos	244	0.5	1	6,744	822,768.00
	Camta.	283	0.5	1	6,744	954,276.00
	Jeep	4	0.5	1	6,744	13,488.00
	Mn Bus 15 - 30 s	70	0.5	1	6,744	236,040.00
	Bus	1	0.5	1	6,744	3,372.00
Vehículos de carga	Liv. 2 -5 Ton	54	0.5	1	6,744	182,088.00
	C2 5+ Ton	54	0.5	1	6,744	182,088.00
Totales		1505				5,074,860

Fuente: Elaboración por sustentantes

Ejemplo de cálculo (Para autos):

$$TD = 244 * 6744 * 0.5 * 1 = 822,768$$

2.4. Determinación de los factores de ejes equivalentes

Por lo general los pavimentos se diseñan para que estos tengan la capacidad de poder resistir el efecto de daño y desgaste producido por los vehículos a los cuales será sometido durante su vida útil, esto depende del tránsito de diseño, del peso de cada tipo de vehículo y de su peso el cual se expresará en ESAL's, para ello se considerará la servicialidad final de la vía, además de un determinado número estructural.

Para este diseño se considera un número estructural $SN = 4$ y un valor de servicialidad final $P_t = 2$ (ver anexo, tabla 55, pág. V) se presentan los valores de factores equivalentes para los criterios de diseño considerados en este proyecto, a continuación, se detallan los pesos en toneladas y en libras de cada tipo de vehículo.

Tabla 13. Carga de vehículo por tipo de eje

Tipo de vehículo	Eje	Peso en Toneladas	Peso en libras	Tipo
Auto	Delantero	1	2200	Simple
	Trasero	1	2200	Simple
Camta	Delantero	1	2200	Simple
	Trasero	2	4400	Simple
Jeep	Delantero	1	2200	Simple
	Trasero	1	2200	Simple
Mn Bus 15 - 30 s	Delantero	4	8800	Simple
	Trasero	8	17600	Simple
Bus	Delantero	5	11000	Simple
	Trasero	10	22000	Simple
Liv. 2 -5 Ton	Delantero	4	8800	Simple
	Trasero	8	17600	Simple
C2 5+ Ton	Delantero	5	11000	Simple
	Trasero	10	22000	Simple

Fuente: Departamento de peso y dimensiones, dirección de vialidad, MTI

Ahora se desarrolla la determinación de los factores de cargas equivalentes para cada uno de los pesos, dependiendo del número estructural y de la servicialidad final, para ello se desarrolla una interpolación lineal ya que para los pesos de la tabla anterior no hay registros para sus respectivos factores.

➤ Cálculo para camioneta

Eje delantero

$$\frac{x - 0.0002}{2200 - 2000} = \frac{0.002 - 0.0002}{4000 - 2000}$$

$$x - 0.0002 = \left(\frac{0.002 - 0.0002}{4000 - 2000} \right) * (2200 - 2000)$$

$$x = \left(\frac{0.002 - 0.0002}{4000 - 2000} \right) * (2200 - 2000) + 0.0002 \Rightarrow x = 0.00038$$

Eje trasero

$$\frac{x - 0.002}{4400 - 4000} = \frac{0.01 - 0.002}{6000 - 4000}$$

$$x - 0.002 = \left(\frac{0.01 - 0.002}{6000 - 4000} \right) * (4400 - 4000)$$

$$x = \left(\frac{0.01 - 0.002}{6000 - 4000} \right) * (4400 - 4000) + 0.002 \Rightarrow x = 0.0036$$

$$ESAL's = TD * F_{ESAL's}$$

Ecuación 6

La tabla 14 muestra cada uno de los tipos de vehículos con sus respectivos factores de ESAL's, tránsito de diseño además de la determinación del ESAL's de diseño el cuál se calcula con la siguiente expresión matemática (donde $F_{ESAL's}$ es el factor de carga equivalente y TD el tránsito de diseño calculado).

Tabla 14. Cálculo de ESAL's por carril de diseño

Tipo de Vehículo	Peso por eje (lbs)	Tránsito de diseño	Factor ESAL's	ESAS's de diseño
Auto	2200	822,768.00	0.00038	312.65
	2200		0.00038	312.65
Camta	2200	954,276.00	0.00038	362.62
	4400		0.0036	3,435.39
Jeep	2200	13,488.00	0.00038	5.13
	2200		0.00038	5.13
Mn Bus 15 - 30 s	8800	236,040.00	0.0538	12,698.95
	17600		0.9224	217,723.30
Bus	11000	3,372.00	0.134	451.85
	22000		2.31	7,789.32
Liv. 2 -5 Ton	8800	182,088.00	0.0538	9,796.33
	17600		0.9224	167,957.97
C2 5+ Ton	11000	182,088.00	0.134	24,399.79
	22000		2.31	420,623.28
Total				865,874.37

Fuente: Elaboración por sustentantes

ESTUDIO TOPOGRÁFICO

III. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

Esta etapa tuvo una duración de 21 días, en los cuales se desarrolló un plan ordenado para el levantamiento de cada uno de los ejes que comprende la red de calles estudiadas.

3.1. Levantamiento topográfico

Se dividió la red de calles estudiadas, en varios ejes a los cuales se les asignó una letra, luego se procedió a realizar el levantamiento de los puntos, utilizando coordenadas asumidas (a falta de equipo GPS), comenzando por el eje A, el cual se extiende desde el mercado “Mayales” hasta la esquina noreste del centro de rehabilitación “Los Pipitos”.

Se tomaron puntos a cada diez metros en los tramos curvos, con la intención de obtener una mejor vista del sitio, y cada 20 metros en los tramos planos con mayor alcance visual, el levantamiento considera la línea central, las bandas, y los linderos a cada lado, también, se incluyen los postes de alumbrado público y cable (tv); además, se establecieron 3 BM, (uno de entrada y dos de salida) los cuales se reflejan en los planos con sus respectivas sus coordenadas.

Todo este procedimiento, se realizó para los cuatro ejes longitudinales que conforman la red de calles estudiadas, para así poder analizar y procesar los datos para generar los perfiles longitudinales.

Los datos obtenidos por el equipo estación total se muestran a continuación:

Tabla 15. Descripción de las siglas utilizadas en el levantamiento topográfico

Sigla	Descripción
B	Banda
LC	Línea central
LI	Lindero
PTE	Poste eléctrico
PTC	Poste de cable (tv)

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 16. Levantamiento topográfico

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
1	2032.771	3039.727	97.963	B
2	2028.22	3043.091	98.048	B
3	2026.057	3044.878	98.034	LC
4	2023.082	3047.209	98.144	BI
5	2021.993	3048.417	98.23	LI
6	2020.871	3024.731	99.12	LI
7	2019.503	3025.536	98.94	B
8	2017.152	3026.791	99.135	LC
9	2015.05	3028.059	99.135	BI
10	2012.303	3030.142	100.262	LI
11	2022.887	3030.819	98.87	BM
12	2012.555	3007.085	99.842	LD
13	2010.901	3007.966	99.737	B
14	2008.193	3008.991	99.865	LC
15	2005.513	3009.776	99.773	BI
16	2003.615	3010.71	100.541	LI
17	1995.912	2987.915	99.737	B
18	1997.362	2993.362	99.79	LC
19	2005.025	2990.654	99.918	PTE
20	2006.847	2995.599	100.238	PTC
21	2003.306	2971.917	98.572	LD
22	2001.272	2972.464	98.556	B
23	1998.655	2973.336	98.599	LC
24	1995.644	2974.522	98.386	B
25	1992.962	2975.108	98.745	LI
26	1991.207	2962.723	97.483	PTC
27	1998.096	2956.473	97.462	LD
28	1995.536	2957.366	96.991	B
29	1993.673	2957.988	97.156	LC
30	1991.62	2958.687	97.006	B
31	1992.896	2947.563	96.134	PTE
32	1990.483	2935.25	94.843	PC-1
33	1988.712	2956.288	97.041	B
34	1987.968	2953.857	96.314	B
35	1986.831	2951.198	96.17	LC
36	1985.528	2948.526	95.801	B

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 17. Levantamiento topográfico (2)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
37	1983.632	2947.535	95.668	LI
38	1987.079	2929.504	93.834	B
39	1984.111	2924.029	93.233	LC
40	1979.793	2917.34	92.119	B
41	1976.423	2928.291	93.292	LI
42	1979.047	2926.696	92.916	B
43	1981.463	2925.246	93.269	LC
44	1983.352	2923.895	93.133	B
45	1977.097	2912.136	91.889	LD
46	1975.158	2913.402	91.273	B
47	1973.706	2914.486	91.549	LC
48	1971.603	2916.086	91.508	LC
49	1969.05	2917.89	91.983	LI
50	1966.158	2899.308	89.718	PTE
51	1960.888	2891.488	88.692	LD
52	1958.881	2892.807	88.174	B
53	1957.27	2894.128	88.457	LC
54	1955.325	2895.325	88.307	B
55	1952.373	2897.217	88.392	LI
56	1955.905	2902.352	90.172	PTC
57	1937.218	2876.073	85.558	LI
58	1938.489	2875.247	85.357	B
59	1940.239	2873.947	85.683	LC
60	1942.651	2871.751	85.054	B
61	1944.953	2870.191	85.914	PTE
62	1931.943	2870.013	84.641	B
63	1932.795	2868.985	84.779	B
64	1935.06	2867.468	84.894	LC
65	1937.676	2864.763	84.504	LI
66	1935.946	2863.386	84.376	LI
67	1927.659	2864.746	84.641	B
68	1928.86	2863.923	84.611	LC
69	1930.045	2861.675	84.711	B
70	1931.923	2858.989	84.573	LI
71	1932.221	2857.44	84.173	B
72	1922.138	2856.399	85.007	LI

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 18. Levantamiento topográfico (3)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
73	1923.499	2855.502	85.001	B
74	1924.325	2853.526	85.194	LC
75	1925.972	2852.392	84.993	B
76	1928.146	2850.263	85.21	LD
77	1924.179	2860.943	84.977	PTE
78	1915.903	2847.07	85.549	PC-2
79	1904.412	2830.425	86.684	PR
80	1920.081	2837.092	86.233	PTC
81	1904.136	2810.312	87.771	LD
82	1901.121	2812.258	87.539	BD
83	1898.97	2813.589	87.683	LC
84	1897.394	2814.693	87.494	BI
85	1895.175	2816.371	87.682	LI
86	1893.189	2811.938	88.111	LC-PTE
87	1888.987	2806.348	88.752	BI
88	1891.07	2804.436	88.383	B
89	1892.842	2803.226	88.594	LC
90	1894.53	2801.782	88.51	B
91	1897.055	2799.9	88.957	LD
92	1893.347	2793.543	89.616	PTC
93	1890.816	2794.801	89.06	B
94	1888.738	2796.043	89.239	LC
95	1886.598	2797.143	89.059	B
96	1884.313	2798.68	90.083	LI
97	1863.064	2762.025	91.011	LI
98	1864.927	2761.108	90.865	B
99	1866.746	2760.072	90.95	LC
100	1868.831	2758.584	90.889	B
101	1871.086	2756.624	91.001	LD
102	1863.026	2746.058	90.785	LD
103	1863.503	2746.115	90.752	LC-3
104	1857.561	2736.205	90.813	PR
105	1868.414	2752.921	91.019	PTC
106	1861.406	2762.689	91.242	ESQ
107	1862.169	2762.549	91.148	PTE
108	1858.707	2758.456	91.31	LC

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 19. Levantamiento topográfico (4)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
109	1856.217	2754.092	91.393	ESQ
110	1842.546	2711.621	90.369	LD
111	1831.699	2714.729	90.577	PTE
112	1826.149	2709.166	90.478	LC
113	1822.339	2700.369	90.659	LI
114	1834.352	2699.619	90.102	LD
115	1829.701	2691.183	90.008	LD
116	1827.603	2692.381	89.998	B
117	1825.031	2693.87	90.371	LC
118	1822.743	2695.323	90.308	B
119	1820.272	2696.815	90.653	LI
120	1821.054	2680.282	90.66	PTE
121	1800.348	2656.534	92.007	ESQ-PTC
122	1799.722	2657.201	91.83	B
123	1798.039	2658.536	92.207	LC
124	1796.113	2660.055	92.111	B
125	1794.114	2661.802	92.409	LI
126	1784.081	2639.581	93.967	PC-4
127	1774.372	2631.429	94.502	PR
128	1793.245	2640.992	93.16	PR
129	1763.175	2632.544	95.798	PTE
130	1757.194	2611.617	96.175	PTC
131	1747.836	2615.079	96.638	B
132	1748.774	2614.464	96.387	B
133	1751.721	2612.151	96.493	LC
134	1754.405	2609.522	96.196	B
135	1764.734	2634.112	94.961	LI
136	1766.091	2633.157	94.792	B
137	1769.176	2630.469	95.037	LC
138	1771.918	2627.943	94.808	B
139	1773.353	2626.463	95.135	BD
140	1743.523	2606.119	97.073	PC-5
141	1749.541	2617.022	96.617	PR
142	1755.65	2604.07	96.304	HIDRANTE
143	1759.912	2602.473	96.204	LD
144	1757.909	2600.894	96.126	B

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 20. Levantamiento topográfico (5)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
145	1755.859	2598.78	96.361	LC
146	1752.824	2595.938	96.105	B
147	1751.211	2594.024	96.799	LI
148	1774.411	2588.751	95.362	LD
149	1772.493	2587.174	95.43	B
150	1769.872	2585.1	95.68	LC
151	1767.011	2582.455	95.44	B
152	1765.472	2580.824	95.878	B
153	1814.178	2551.492	93.267	LD
154	1812.277	2549.314	93.013	B
155	1809.935	2546.775	93.312	LC
156	1807.271	2544.354	93.112	B
157	1805.602	2542.403	93.338	LI
158	1832.763	2532.96	92.272	LD
159	1831.07	2531.286	91.856	B
160	1828.933	2528.815	92.107	LC
161	1826.248	2526.395	91.872	B
162	1852.345	2514.269	90.872	LD
163	1851.021	2513.193	90.789	B
164	1848.016	2510.609	90.893	LC
165	1845.673	2507.991	90.741	B
166	1858.694	2503.405	90.611	PC-6
167	1868.52	2507.832	90.514	PR
168	1746.46	2614.139	96.665	B
169	1743.968	2611.465	97.177	LC
170	1741.67	2608.938	97.147	B
171	1738.733	2606.09	97.793	B
172	1737.952	2604.104	98.527	PTE
173	1729.633	2632.399	97.756	LI
174	1727.774	2629.775	98.145	B
175	1726.142	2627.716	98.53	LC
176	1724.633	2625.742	98.408	B
177	1721.677	2623.201	99.031	LI
178	1705.265	2653.849	98.909	LI
179	1703.857	2652.275	99.604	B
180	1701.98	2649.779	99.839	LC

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 21. Levantamiento topográfico (6)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
181	1700.346	2648.027	99.664	B
182	1698.264	2645.352	100.588	LI
183	1685.257	2673.705	99.398	LI
184	1684.174	2672.063	99.384	B
185	1682.379	2670.086	99.759	LC
186	1680.742	2667.95	99.804	B
187	1678.503	2666.212	100.24	LI
188	1609.957	2735.323	103.266	PC-7
189	1600.203	2745.46	103.891	PR
190	1795.692	2636.006	93.429	PTC
191	1798.827	2632.782	93.17	L
192	1800.049	2634.173	92.893	B
193	1802.713	2637.149	92.818	LC
194	1805.311	2640.207	92.609	B
195	1806.796	2641.715	92.329	L
196	1821.987	2625.605	92.185	PTE
197	1820.383	2614.253	92.295	PTC
198	1833.302	2600.066	91.623	L
199	1834.658	2601.651	91.547	B
200	1836.729	2604.063	91.569	B
201	1839.642	2607.114	91.386	B
202	1851.029	2597.333	91.191	PTE
203	1854.197	2581.733	91.428	PTC
204	1878.806	2569.546	90.88	B
205	1876.415	2566.991	90.901	LC
206	1873.378	2563.751	90.957	B
207	1871.158	2561.191	91.254	L
208	1895.527	2554.034	90.508	B
209	1892.794	2551.357	90.584	LC
210	1889.23	2548.331	90.705	B
211	1900.33	2546.695	90.517	PC
212	1897.055	2541.037	90.573	PR
213	1885.49	2544.471	91.016	L
214	1887.564	2548.371	91.002	PTC
215	1887.566	2543.441	90.711	B
216	1890.653	2540.957	90.583	LC

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 22. Levantamiento topográfico (7)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
217	1893.564	2538.369	90.677	B
218	1895.158	2536.659	90.427	L
219	1884.243	2524.19	90.326	L
220	1882.125	2526.223	90.684	B
221	1879.114	2529.207	90.498	LC
222	1876.497	2531.775	90.579	B
223	1874.401	2533.922	90.859	L
224	1852.557	2511.632	90.914	PTC
225	1855.215	2509.487	90.517	B
226	1858.565	2505.316	90.693	LC
227	1861.56	2502.298	90.472	B
228	1863.044	2500.927	90.146	L
229	1847.122	2501.602	90.589	L
230	1850.335	2498.584	90.494	LC
231	1853.65	2495.134	90.494	B
232	1854.538	2494.748	90.493	PTE
233	1824.053	2469.374	90.685	PC
234	1816.165	2458.716	90.026	PR
235	1820.439	2473.067	91.364	L
236	1822.34	2475.496	90.902	B
237	1825.492	2479.373	91.436	LC
238	1827.642	2483.203	91.332	B
239	1828.974	2484.742	91.305	L
240	1831.584	2475.033	91.107	LC
241	1830.066	2463.218	90.973	PTE
242	1816.386	2443.41	89.174	L
243	1814.015	2445.291	88.612	B
244	1812.039	2447.034	88.817	LC
245	1809.743	2448.679	88.825	B
246	1808.024	2449.898	89.551	L
247	1806.722	2447.775	89.089	PTE
248	1791.678	2423.969	87.727	L
249	1793.288	2423.224	87.475	B
250	1795.178	2422.188	87.483	LC
251	1797.549	2421.031	87.478	B
252	1800.071	2419.653	87.84	L

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 23. Levantamiento topográfico (8)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
253	1781.338	2407.751	87.618	PTE
254	1785.225	2406.086	87.062	B
255	1787.336	2405.401	87.237	LC
256	1789.543	2404.487	87.112	B
257	1792.11	2403.279	87.171	L
258	1776.359	2394.735	87.364	L
259	1780.333	2393.807	86.914	B
260	1783.26	2393.16	86.952	LC
261	1785.742	2392.528	86.911	B
262	1787.705	2391.805	86.901	L
263	1773.891	2384.784	87.26	L
264	1778.776	2384.12	86.704	B
265	1781.268	2383.501	86.84	LC
266	1783.563	2382.893	86.714	B
267	1773.987	2372.054	86.717	PC
268	1773.613	2325.497	85.036	PR
269	1773.821	2376.617	87.083	L
270	1776.526	2376.239	86.566	B
271	1779.071	2375.53	86.725	LC
272	1781.703	2374.705	86.549	B
273	1784.246	2374.261	86.896	L
274	1771.526	2356.936	86.727	L
275	1773.796	2356.608	86.372	B
276	1777.375	2356.588	86.45	LC
277	1780.178	2356.327	86.354	B
278	1782.784	2356.16	86.56	L
279	1772.511	2346.862	86.365	PTE
280	1772.625	2338.526	85.722	B
281	1777.307	2338.243	86.329	LC
282	1783.575	2337.629	85.555	B
283	1782.719	2331.436	85.717	B
284	1777.318	2332.175	86.411	LC
285	1772.833	2332.901	86.034	LI
286	1772.453	2317.194	86.519	L-ESQ
287	1772.974	2311.003	86.701	LC
288	1773.429	2306.505	86.746	L-ESQ

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 24. Levantamiento topográfico (9)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
289	1774.011	2298.363	87.661	L
290	1778.304	2298.924	87.024	B
291	1781.706	2299.866	87.295	LC
292	1784.873	2300.567	87.302	B
293	1787.318	2300.415	87.329	L
294	1786.635	2274.505	89.024	L
295	1783.511	2274.5	88.58	B
296	1781.154	2274.496	88.605	LC
297	1778.706	2274.858	88.323	B
298	1775.944	2274.921	88.83	L
299	1786.794	2244.859	90.787	L
300	1783.735	2245.35	90.689	B
301	1781.24	2245.62	90.885	LC
302	1779.432	2245.646	90.808	B
303	1789.075	2284.4	88.837	BM
304	1789.603	2658.584	93.079	LI
305	1787.978	2657.03	92.979	B
306	1785.352	2655.072	93.113	LC
307	1782.612	2652.613	93.373	B
308	1780.317	2651.021	94.118	LI
309	1786.934	2660.943	93.299	PTE
310	1776.645	2655.642	94.17	PTC
311	1777.041	2669.953	93.917	LI
312	1775.985	2668.675	94.08	B
313	1773.937	2666.867	94.204	LC
314	1771.44	2664.888	94.146	C
315	1769.581	2664.073	94.405	LI
316	1764.867	2682.747	94.567	LI
317	1763.753	2681.293	94.75	B
318	1761.788	2679.413	94.864	LC
319	1761.008	2675.704	94.654	B
320	1758.78	2674.358	95.067	LI
321	1754.124	2690.685	94.978	PC
322	1749.049	2696.393	95.268	AUX
323	1746.76	2687.141	95.25	PTC
324	1748.367	2697.17	95.189	PTL

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 25. Levantamiento topográfico (10)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
325	1736.535	2710.271	94.671	LI
326	1734.611	2708.554	95.173	B
327	1732.563	2706.328	95.256	LC
328	1730.13	2704.281	95.197	B
329	1728.678	2702.817	95.512	LI
330	1722.126	2711.507	95.066	PTC
331	1727.698	2720.323	94.406	B
332	1724.959	2723.156	94.325	LC
333	1722.555	2725.787	94.449	B
334	1719.243	2725.422	94.421	PTL
335	1714.511	2717.193	94.973	B
336	1716.835	2715.095	95.131	LC
337	1719.737	2712.708	95.087	B
338	1710.885	2722.5	94.622	PTC
339	1695.622	2733.395	94.702	LI
340	1698.442	2735.964	94.013	B
341	1700.31	2737.859	94.148	LC
342	1702.737	2739.93	93.989	B
343	1689.237	2744.089	93.989	PTC
344	1644.523	2786.986	95.156	PC
345	1637.24	2792.64	95.318	AUX
346	1684.944	2758.639	94.061	PTE
347	1670.385	2775.34	94.384	LI
348	1667.898	2772.982	94.58	3B
349	1665.675	2771.023	94.787	LC
350	1663.05	2769.278	94.639	LI
351	1662.046	2768.42	94.846	LI
352	1655.734	2775.153	95.1	PTC
353	1660.524	2785.753	94.703	LI
354	1659.147	2787.078	94.694	B
355	1656.901	2788.963	94.653	LC
356	1654.495	2791.351	94.611	B
357	1652.563	2794.457	94.321	LI
358	1651.272	2790.808	94.989	PTE
359	1648.978	2775.3	95.901	B
360	1646.852	2777.321	95.773	LC

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 26. Levantamiento topográfico (11)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
361	1644.474	2780.342	95.723	B
362	1651.4	2789.676	95.017	B
363	1649.175	2787.361	95.041	LC
364	1646.467	2784.475	95.136	B
365	1623.011	2819.398	95.077	LI
366	1621.457	2817.727	95.15	B
367	1619.514	2815.445	95.2	LC
368	1617.206	2813.144	95.128	B
369	1615.782	2811.854	95.349	LI
370	1619.55	2808.949	95.738	PTC
371	1619.918	2820.596	95.007	PTE
372	1594.929	2844.402	94.054	LI
373	1593.845	2843.329	94.07	B
374	1535.886	2890.772	93.459	PC
375	1519.638	2907.121	93.585	AUX
376	1592.309	2840.643	94.218	LC
377	1590.327	2838.453	94.077	B
378	1589.147	2836.6	94.347	LI
379	1589.075	2849.108	94.05	PTE
380	1582.227	2842.884	94.679	PTC
381	1549.983	2884.39	93.493	PTE
382	1547.146	2876.44	93.55	PTC
383	1549.628	2889.67	93.407	LI
384	1546.464	2886.62	93.313	B
385	1544.457	2884.162	93.451	LC
386	1542.513	2882.122	93.336	B
387	1540.641	2880.203	93.668	LI
388	1522.04	2912.553	93.683	PTE
389	1509.57	2910.937	94.247	PTC
390	1505.007	2930.044	94.104	LI
391	1503.571	2928.424	93.93	B
392	1501.576	2926.41	93.984	LC
393	1499.542	2924.001	94.043	B
394	1496.059	2920.56	94.395	LI
395	1476.179	2957.508	93.454	BM
396	1474.853	2955.63	93.44	B

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 27. Levantamiento topográfico (12)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
397	1472.493	2953.609	93.484	LC
398	1468.751	2950.548	93.919	B
399	1466.76	2948.337	94.315	LI
400	1617.346	2738.791	102.516	PC
401	1671.067	2673.179	100.432	PTE
402	1640.651	2701.635	100.844	LI
403	1642.782	2704.41	100.558	B
404	1643.973	2706.019	100.692	LC
405	1645.45	2707.256	100.498	LC
406	1649.59	2711.359	98.851	LI
407	1620.161	2723.519	102.225	LI
408	1622.322	2725.727	101.744	B
409	1623.657	2727.283	101.976	LC
410	1625.209	2728.906	101.745	B
411	1626.744	2730.133	101.123	B
412	1620.603	2735.384	102.118	PTC
413	1617.496	2739.716	102.433	PTC
414	1617.968	2742.018	102.173	B
415	1615.597	2744.41	102.253	LC
416	1612.815	2747.31	102.461	B
417	1601.208	2739.445	104.285	PTE
418	1596.034	2746.196	104.412	LI
419	1598.777	2748.648	103.718	LI
420	1600.321	2750.022	103.858	LI
421	1602.226	2751.939	103.628	B
422	1603.924	2753.618	102.599	LI
423	1569.247	2771.171	105.978	PTE
424	1558.045	2786.768	104.255	PC
425	1586.221	2769.102	103.806	PTC
426	1562.798	2778.593	105.866	LI
427	1564.97	2781.039	104.229	B
428	1566.439	2783.184	104.411	LC
429	1568.253	2785.539	104.261	B
430	1569.625	2786.801	103.271	LI
431	1556.269	2798.658	103.151	PTC
432	1539.773	2801.133	103.784	LI

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 28. Levantamiento topográfico (13)

Levantamiento topográfico				
Punto No.	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación	Descripción
433	1533.213	2806.775	102.682	LI
434	1534.664	2808.281	101.534	B
435	1536.012	2810.467	101.749	LC
436	1537.634	2812.556	101.604	B
437	1538.728	2813.699	101.609	LI
438	1516.979	2822.872	100.679	PTE
439	1498.682	2839.761	100.298	LI
440	1499.989	2840.284	100.15	B
441	1501.663	2841.716	100.25	LC
442	1503.439	2843.781	100.178	LI
443	1504.873	2844.801	98.576	LI
444	1493.988	2844.739	100.2	PTE
445	1475.468	2862.055	99.925	LI
446	1476.453	2863.015	99.813	B
447	1478.19	2864.587	99.929	LC
448	1480.047	2866.38	99.787	B
449	1480.986	2867.27	99.894	LI
450	1470.09	2877.843	99.694	PTC
451	1458.01	2879.455	99.632	PTE
452	1447.094	2889.37	99.469	LI
453	1448.182	2890.584	99.348	B
454	1450.226	2891.689	99.367	LC
455	1452.234	2893.498	99.323	B
456	1453.002	2894.317	99.404	LI
457	1432.547	2914.357	98.527	LI
458	1431.66	2913.524	98.574	B
459	1430.092	2912.126	98.627	LC
460	1427.832	2910.312	98.785	B
461	1426.721	2909.132	99.017	LI

Fuente: Elaboración por sustentantes

3.2. Procesamiento de los datos

Los datos recopilados con ayuda de la estación total, fueron procesados con el software “AUTODESK AUTOCAD CIVIL 3D” en su versión del año 2019, el cual, es una herramienta fundamental para el desarrollo y realización de dibujos topográficos.

Los planos topográficos elaborados para este estudio incluyen la vista de planta de cada eje y su respectivo perfil longitudinal, detalles como curvas de nivel y rasante de diseño, cabe destacar que las curvas representadas fueron generadas de manera propuesta, sin tomar en cuenta criterios de diseño geométrico, puesto que el tema no lo abarca en los objetivos.

Cada uno de los planos, se detallan en la sección de anexos, ver láminas 1 – 8, pág. XXXII - XXXIX.

ESTUDIO DE SUELO

IV. ESTUDIO DE SUELO

Un estudio de suelo permite ayudar a conocer las principales características físicas – mecánicas del suelo en un sitio determinado, y así poder determinar la calidad del material sobre el cual se va a construir. Es muy importante resaltar que el suelo es el que al final va soportar toda la carga generada por y en la estructura, y que un suelo de mala calidad podría producir que la construcción colapse.

En este capítulo del documento se detallan todos y cada uno de los procesos realizados durante el estudio de suelo, así como los datos y cada uno de los resultados obtenidos en las pruebas y análisis realizados en el laboratorio de suelos. Tanto para el suelo presente en la línea como para los distintos bancos de materiales disponibles en la ciudad de Juigalpa, los cuales se utilizarán como préstamo para el sitio en estudio.

4.1. Trabajo de campo

Con el objetivo de determinar las principales características del sub suelo y de los materiales que lo conforman, se realizaron sondeos manuales con ubicaciones estratégicas a lo largo de la red de calles estudiadas en el barrio Nuevo Amanecer y camino al Rastro Municipal.

Se realizaron 10 sondeos en la red de calles estudiadas que consistieron en excavaciones manuales de aproximadamente 1.5 m de profundidad, de forma alternada a la izquierda y derecha de la línea central. Se extrajeron 19 muestras (una por cada estrato encontrado en la exploración de campo), siendo esta una muestra representativa de los suelos en el sitio estudiado.

En la siguiente tabla se detallan las ubicaciones estratégicas de cada uno de los sondeos que fueron realizados y las profundidades de las muestras que fueron extraídas, cabe destacar que en la localización está representado la letra del eje donde se encuentra el punto.

Tabla 29. Ubicación de los sondeos manuales y profundidad de muestreo

Sondeo Nº	Ubicación	Profundidad de sondeo	Muestra Nº	Profundidad de muestra
1	0 + 200 A	1.5 m	1	0.0 m-0.6 m
			2	0.6 m-1.5 m
2	0 + 400 A	1.5 m	1	0.0 m-1.5 m
3	0 + 100 B	1.5 m	1	0.0 m-0.7 m
			2	0.7 m-1.5 m
4	0 + 400 B	1.5 m	1	0.0 m-0.6 m
			2	0.6 m-1.5 m
5	0 + 585 B	1.5 m	1	0.0 m-0.7 m
			2	0.7 m-1.5 m
6	0 + 000 C	1.5 m	1	0.0 m-0.6 m
			2	0.6 m-1.5 m
7	0 + 200 C	1.5 m	1	0.0 m-0.7 m
			2	0.7 m-1.5 m
8	0 + 400 C	1.5 m	1	0.0 m-1 m
			2	1 m-1.5m
9	0 + 100 D	1.5 m	1	0.0 m-0.5 m
			2	0.5 m-1.5 m
10	0 + 300 D	1.5 m	1	0.0 m-0.7 m
			2	0.7 m-1.5 m

Fuente: Elaboración por sustentantes

4.2. Estudios de laboratorio

Se trasladaron al laboratorio de materiales y suelos del departamento de construcción (Laboratorio Julio Padilla M), las muestras extraídas en los sondeos (19 muestras), para ser estudiadas y analizadas, para la determinación de ciertos parámetros, todo esto siguiendo las normas técnicas ASTM.

La siguiente tabla muestra cada uno de los ensayos realizados a las muestras de suelo, especificando la norma técnica, la cual se tuvo como base para cada uno de los procedimientos y consideraciones.

Tabla 30. Ensayos realizados a muestras

Tipo de ensaye	Norma técnica	
	ASTM	AASHTO
Análisis granulométrico de los suelos	D - 422	T - 88
Límite líquido de los suelos	D- 4318	T - 89
Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	D - 4318	T - 90
Compactación de suelo (Próctor estándar)	D - 698	T - 99
C. B. R.	D - 1883	T - 193

Fuente: Elaboración por sustentantes

4.2.1. Granulometría ASTM D 422

Los ensayos de granulometría se llevaron a cabo con el propósito de conocer el tamaño de las partículas y los porcentajes en cada uno de los pesos para los diferentes tamaños en cada una de las muestras extraídas en campo. Además, este análisis es de mucha ayuda para el proceso de clasificación del suelo por medio del método propuesto por la AASHTO (M – 145).

Para esto, se prepararon las muestras con secado al horno durante 24 horas, y se procedió con el tamizado, utilizando dichos tamices de manera descendente con respecto a los tamaños de las aberturas, y contabilizando el peso de la muestra retenido en cada uno.

Presentación de resultados

Para cada una de las muestras se determinó el porcentaje retenido por los tamices, así como también los porcentajes retenidos acumulados. Cada uno de los resultados obtenidos en este ensayo se presentan en la sección 1 de la tabla de reporte de laboratorio, ver anexos, tablas 57 - 59, pág. VII – IX.

4.2.2. Determinación de límites de consistencia (Norma ASTM 4318-84)

Se determinaron los límites de consistencia mediante ensayos de límite líquido y límite plástico, repitiendo el proceso para cada una de las 19 muestras de suelo recolectadas.

4.2.2.1. Determinación de Límite Líquido (L.L)

En la determinación de los límites de consistencia o límites Atterberg, se inicia el proceso, con en el ensaye para obtener el límite líquido.

Según (ASTM, 2004, p.7 - 8), el ensaye se realiza con la porcion de la muestra que pasa por el tamiz número 40, con ayuda del equipo Arturo Casa Grande; de este proceso se obtienen valores de contenido de humedad y numero de golpes necesarios (en el equipo), datos importantes para el calculo de limite liquido.

Fotografía 1. Realización de ensaye limite líquido, haciendo uso de equipo Casa Grande



Fuente: Trabajo de laboratorio por sustentantes

Según (ASTM, 2004, p.9) las fórmulas para determinar el límite líquido son las siguientes:

$$\text{Limite Liquido} = Wn\left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad \text{Ecuación 7}$$

O

$$\text{Limite Liquido} = k * wn \quad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

N= número de golpes

W_n= contenido de humedad del suelo para cada número de golpes.

k= factor dado para cada número de golpes.

Imagen 1. Factores de k para distintos números de golpes

N (Numero de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,022

Fuente: (ASTM, 2004, p.9)

Resultados

Luego de realizar el ensayo, se procedió a determinar el límite líquido para cada una de las muestras, haciendo uso de la fórmula 8, ingresando los datos recopilados a lo largo del ensayo. Los resultados obtenidos se presentan en la sección 2 de la tabla de reporte de laboratorio (ver anexos, tablas 57 - 59, pág. VII - IX).

4.2.2.2. Determinación de Límite Plástico (L.P)

El límite plástico fue definido por Atterberg como la frontera que existe entre los estados plástico y semisólido del suelo. En términos de laboratorio este límite es definido como el momento (en términos de contenido de humedad), en que, la muestra de suelo estudiada presenta desmoronamiento y/o agrietamiento.

Según lo indica (ASTM, 2004, p.10) se toman porciones de 2g aproximadamente, rodándolas constantemente con presión suficiente para eliminar su humedad y obtener "rollos" con diámetros (3mm) uniformes en toda

su longitud (15 a 20 cm), hasta que dicha masa de suelo se fracture y no sea posible volver a enrollarla.

Fotografía 2. Proceso del ensayo para determinación de límite plástico



Fuente: Elaboración por sustentantes

Resultados

Los resultados obtenidos en el ensayo se presentan en la sección de la tabla de reporte de laboratorio (ver anexos, tablas 57 - 59, pág. VII - IX).

4.2.2.3. Determinación del Índice de Plasticidad (I.P)

Una vez determinado el Límite Líquido y Limite Plástico se calcula el Índice de Plasticidad, este dato es el rango de humedades que tienen las muestras de suelo, y, es la diferencia entre el resultado de los dos factores antes mencionados.

$$IP= LL - LP \quad \text{Ecuación 9}$$

Resultados

Los resultados obtenidos para índice de plasticidad, se presentan en la sección 2 de la tabla de reporte de laboratorio (ver anexos, tablas 57 - 59, pág. VII - IX).

Resultados de límites de consistencia

Se determino un valor promedio para cada uno de los casos (limite liquido y limite plastico), con ayuda de las siguientes formulas:

$$\text{Promedio LL} = \frac{\text{sumatoria de limites liquidos de cada ensayo}}{\text{numero de ensayos}} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\text{Promedio LP} = \frac{\text{sumatoria de limites plásticos de cada ensayo}}{\text{numero de ensayos}} \quad \text{Ecuación 11}$$

Los resultados de limites de consistencia obtenidos para la muestra 19, se muestran en la sección de anexos, ver tabla 60, pág. X, como ejemplo representativo de cálculo.

4.2.3. Clasificación de los suelos

Habiendo determinado las características granulométricas y los límites de consistencia para cada una de las muestras de suelo, se procedió a su clasificación. Este proceso se llevó a cabo por medio del método sugerido por AASHTO. Para dicho método se utilizaron los resultados de la granulometría y los límites de consistencia o Atterberg.

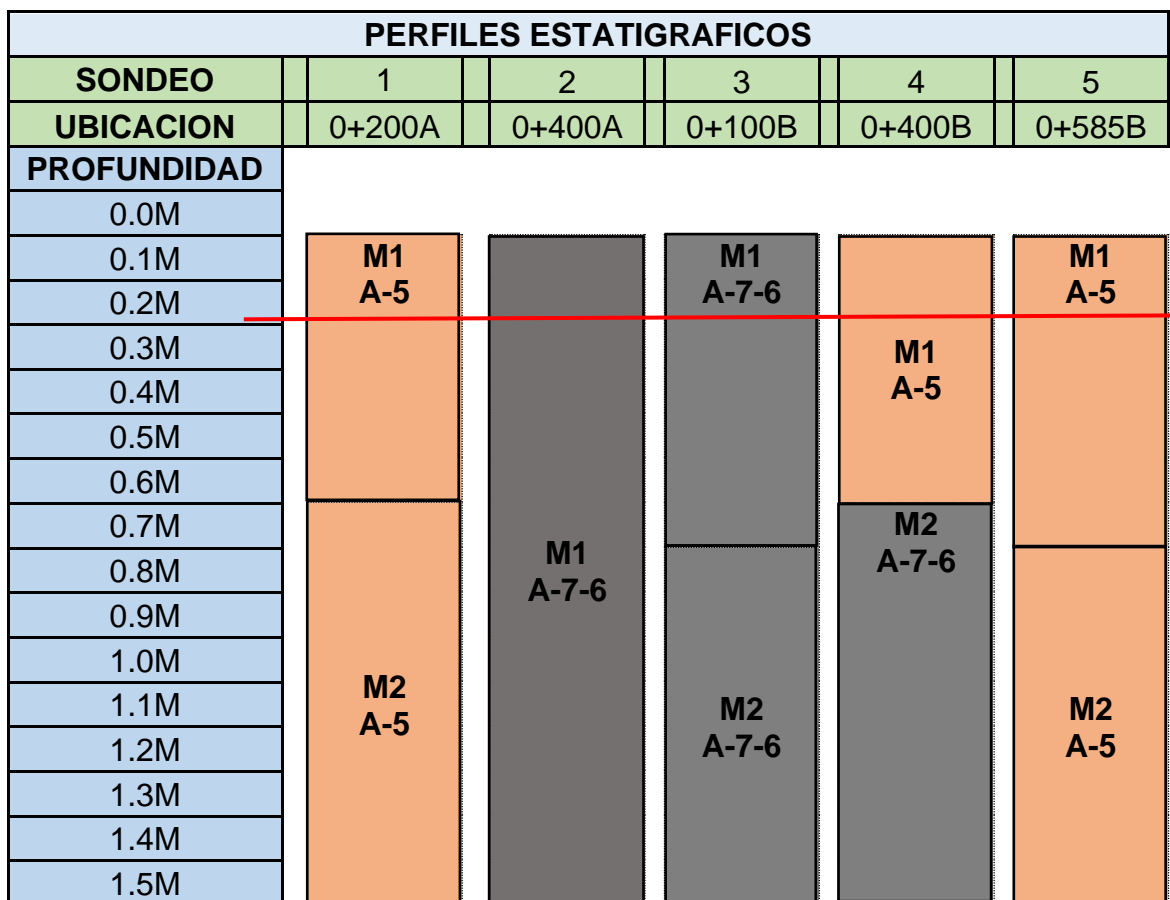
Resultados

Se obtuvieron dos tipos de suelo presentes en las 19 muestras recolectadas, los cuales son: A-5 y A-7-6. Los resultados obtenidos se detallan para cada una de las muestras en la sección 3 de la tabla de reporte de laboratorio (ver anexos, tablas 57 - 59, pág. VII - IX). Dicha tabla incluye la clasificación para cada muestra, y una descripción visual de cada estrato, determinado en el proceso de laboratorio. La clasificación de suelos se llevó a cabo siguiendo la norma técnica AASHTO M – 145. La cual se encuentra detallada en anexos, ver tabla 56, pág. VI.

4.2.3.1. Perfiles estratigráficos

Una vez clasificadas cada una de las muestras analizadas en laboratorio, y teniendo en cuenta la profundidad de las excavaciones y el espesor de cada estrato estudiado (datos considerados en el trabajo de campo), se procedió a generar los perfiles estratigráficos para cada uno de los sondeos realizados.

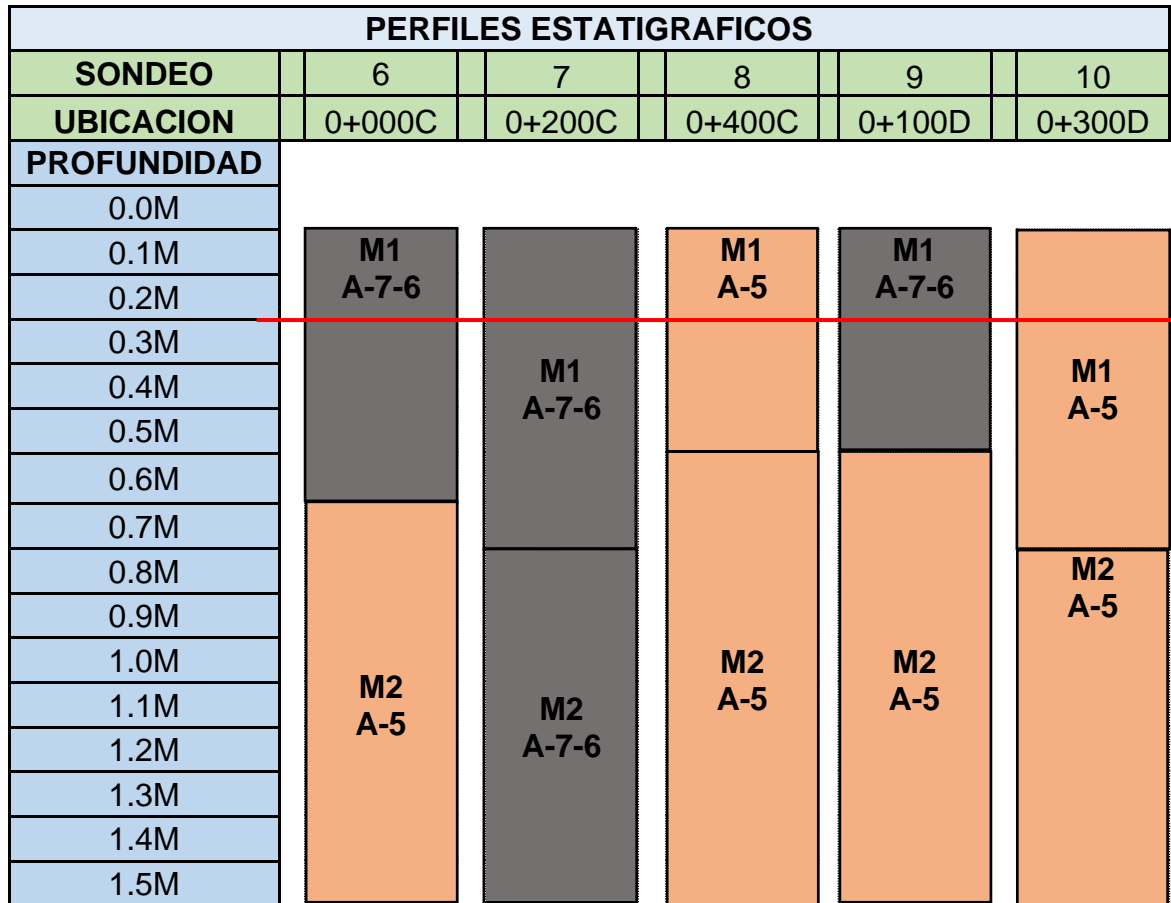
Gráfico 8. Perfiles estratigráficos sondeos 1 - 5



Fuente: Elaboración por sustentantes

Los gráficos 1 y 2, nos muestran los perfiles estratigráficos para los diez sondeos realizados, de los cuales se obtuvo una cantidad de 19 muestras. En estos podemos apreciar, la profundidad a la cual se encuentran dichos estratos y su debida clasificación de suelo.

Gráfico 9. Perfiles estratigráficos sondeos 6 – 10



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 31. Descripción de la simbología utilizada en perfiles estratigráficos

	M1 Y M2	NÚMERO DE MUESTRA
	A-5	SUELO LIMO ARCILLOSO CON POCA ARENA
	A-7-6	SUELO ARCILLOSO CON LIMO Y POCA ARENA

Fuente: Elaboración por sustentantes

Nota: se consideró tomar la línea de la sub-rasante por debajo de los 0.20 metros, para retirar material orgánico presente en el terreno natural. La cual se puede observar en los perfiles estratigráficos de los gráficos 8 y 9, marcando la línea de sub-rasante de color rojo.

4.2.4. Ensayo de compactación de suelos (Norma ASTM D 698 - 00)

El proceso de compactación en los suelos produce un mejoramiento considerable en sus propiedades ingenieriles, en el aumento de su resistencia al corte, la disminución en su deformabilidad, un aumento en su peso específico seco y mejoramiento de su condición de permeabilidad. Es importante aclarar que los métodos utilizados para la compactación varían dependiendo las características de los suelos a compactar.

Objetivo de la compactación de suelo

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- ✓ Contenido de Humedad óptima.
- ✓ Peso Unitario Seco máximo
- ✓ Gráfico Contenido de Humedad vs Peso Unitario

Ensayo de compactación estándar, Método A

El procedimiento realizado, para dicho ensayo, fue de acuerdo a la norma D 698 – 00, en la cual según (ASTM, 2004, p.1), se exponen los distintos métodos para la realización de ensayos de compactación estándar, en el caso de este estudio, el procedimiento adecuado según las características del suelo, es el método A, que especifica los siguientes parámetros para su realización:

Utilizar molde de 4" de diámetro, material que pasa por el tamiz No. 4, tres capas compactadas, con 25 golpes por cada una. Dicho método, debe ser usado si el 20% o menos del material es retenido en el tamiz No. 4.

En el ensayo se evalúan las muestras a distintos grados de humedad, para de esta manera obtener el porcentaje óptimo para cada tipo de suelo.

Resultados

Con ayuda de la curva de densidad seca vs humedad se obtiene el porcentaje de humedad óptimo y peso unitario seco máximo, para cada tipo de suelo.

A continuación, se presentan los resultados de densidad seca máxima y porcentaje óptimo de humedad para ambos tipos de suelo, presentes en el terreno natural.

Tabla 32. Resultados de densidad seca máxima y porcentaje de humedad óptimo, Tipo de suelo: A-5

Densidad seca máxima	1,635 kg/m ³
% de humedad óptima	22%

Fuente: Elaboración por sustentantes

En la sección de anexos se presenta la tabla con los datos recopilados en laboratorio durante el proceso del ensayo, (ver tabla 61 y 62, pág. XI). Además, se encuentra el gráfico 14 (pág. XII), a través del cual se obtienen los valores de la tabla 32.

Tabla 33. Resultados de densidad seca máxima y porcentaje de humedad óptimo, Tipo de suelo: A-7-6

Densidad seca máxima	1,400 kg/m ³
% de humedad óptima	27%

Fuente: Elaboración por sustentantes

En la sección de anexos se presenta la tabla con los datos recopilados en laboratorio durante el proceso del ensayo. (Ver tabla 63 y 64, pág. XII y XIII, respectivamente). Además, se encuentra el gráfico 15 (pág. XIII), a través del cual se obtienen los valores de la tabla 33.

4.2.5. Ensayo de valor relativo de soporte (C.B.R.) Norma técnica (ASTM D 1883-99)

La abreviación “CBR” corresponde al California Bearing Ratio, con el fin de darle una clasificación a la capacidad del suelo para ser utilizado como material de base, sub-base o sub-rasante. También denominado ensayo de relación de soporte, es el procedimiento por medio del cual, mediante pruebas de

laboratorio, y bajo condiciones de humedad y densidad controlada se puede medir la resistencia al corte de un suelo.

El C.B.R. se determina como la relación en porcentaje entre la fuerza utilizada para la penetración de 0.25 cm (0.1 pulgada) con un vástago de 19.35 cm² (3 pulg²) de área con una velocidad de penetración de 1.27 mm/minutos (0.05 pulg/min) y la fuerza ejercida en un material patrón (piedra triturada) para esa misma penetración.

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Contenido de Humedad
- Densidad Humedad y Densidad Seca
- Valor de CBR a 0,1 “y 0,2 “de Penetración.
- Curva de Presiones de Penetración.

Según (ASTM, D 1883-99 , 2004, p.3) se realiza el ensayo con la preparación de tres muestras para cada uno de los tipos de suelo obtenidos, las muestras se preparan con el contenido de humedad óptimo calculado en la prueba de compactación.

Luego se introduce el material en el molde previamente preparado y pesado, con un número de capas determinadas (3 capas, en este caso). Se procede a ejercer la compactación, según (ASTM, D 1883 – 99, 2004, p.4) se elaboran tres especímenes de muestra, uno con 56 golpes por cada capa, un con 25 golpes por cada capa y por último un tercero con 10 golpes a cada capa, respectivamente.

Posterior a la compactación de los cilindros, se colocan discos de papel filtro, y se procede a saturar las muestras por un tiempo especificado de 96h, según (ASTM, D 1883 – 99, 2004, p.5) esto con el fin de simular las condiciones más desfavorables.

Pasadas 96 horas las muestras de saturación, se procede a la prueba de penetración por medio de un pistón de diámetro conocido y una velocidad de penetración estandarizada.

Fórmula para el cálculo de CBR

$$CBR (\%) = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patron}} \times 100 \quad \text{Ecuación 12}$$

Tabla 34. Cargas unitarias patrón

PENETRACION			CARGA UNITARIA PATRON		
(mm)	(cm)	(pulg.)	(Kg/cm ²)	MPa	PSI
2.5	0.25	0.10	70.31	6.9	1,000
5.0	0.50	0.20	105.46	10.3	1,500
7.5	0.75	0.30	133.58	13.0	1,900
10.0	1.00	0.40	161.71	16.0	2,300
12.7	1.27	0.50	182.80	18.0	2,600

Fuente: Guía de laboratorio de suelos UNI

Tabla 35. Distancia de penetración de pistón ensayo de CBR

PENETRACIONES		
	Mm	Pulgadas
Primera	0.635	0.025
Segunda	1.27	0.05
Tercera	2.54	0.10
Cuarta	3.81	0.15
Quinta	5.08	0.20
Sexta	7.62	0.30
Séptima	10.16	0.40
Octava	12.70	0.50

Fuente. Guías de laboratorio de mecánica de suelos UNI

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el ensayo de CBR, estos resultados corresponden a la muestra de suelo tipo A-5 y A-7-6 de los suelos ensayados

Tabla 36. Resultados obtenidos en ensayo CBR

CAPACIDAD SOPORTE DE LOS SUELOS OBTENIDOS EN LA LINEA					
TIPO DE SUELO SEGÚN AASTHO M-145	NORMA ASTM D-698, AASHTO T99		NORMA ASTM D-1883, AASHTO T193		
	Densidad máxima	Humedad óptima	Valor de C.B. R		
			90.00	95.00	100.00
	(kg/m ³)	(%)	(%)	(%)	(%)
A-5	1635	22	4	10	13
A-7-6	1400	27	2.8	4.8	7.2

Fuente: Elaboración por sustentantes

La tabla 36, muestra los resultados de CBR obtenidos en el ensayo, para ambos tipos de suelo, determinado valores para tres grados de compactación (90%, 95% y 100%).

En la sección de anexos se muestran las tablas de compactación y humedad óptima para los ensayos de CBR para cada tipo de suelo, así mismo, tablas de resultados para CBR con 10, 25, 56, 71 golpes respectivamente. Para la determinación del CBR de diseño se consideran los suelos a nivel de subrasante, y se hace una estimación con el método que sugiere el Instituto del Asfalto.

Para ello se consideran los dos CBR y se estiman la cantidad de valores iguales o mayores a cada uno respectivamente para luego porcentuar, estos valores se grafican y se dibuja una línea recta ente los puntos generados (Ver anexos, tablas 91 y gráfico 23, pág. XXXI).

Para la elección del CBR de diseño se usa el percentil sugerido por el Instituto del Asfalto que depende del ESAL's de diseño, en este caso como este valor se encuentra en el intervalo entre 10,000 y 1,000,000 se utiliza el percentil 75. (Ver anexos, tabla 92, pág. XXXI).

Obteniendo así un CBR de **7.4**, con la ayuda de las especificaciones de la **NIC-2000** y en correspondencia con la tabla de clasificación de valor de soporte relativo en estructura de pavimento AASHTO, el tipo de suelo que existe en la línea, presenta características que permiten que este sea utilizado como subrasante. (Ver anexos, tablas 81 y 82, pág. XXII).

4.3. Banco de material

Se consideraron dos bancos de materiales ubicados en la ciudad de Juigalpa, los cuales son: "Liceo agrícola" y "El basurero".

4.3.1. Liceo agrícola

Con el objetivo de tener a disposición en el proyecto, un material adecuado para ser utilizado como base se consideró el banco de material "Liceo Agrícola".

Según (Alcaldía de Juigalpa, 2016, p. 25) "Este Banco se ubica en la vecindad del Liceo Agrícola, Sur-Este de la ciudad de Juigalpa. Coordenadas: 0678758 X – 1336518 Y. Es un banco que ha sido usado, y tiene un volumen aproximado de 78,000 m³"

Cabe destacar que la granulometría que este presentó fue comparada y evaluada respecto a la Tabla de graduaciones recomendada para sub-base, base o capas superficiales de la **NIC-2000** en su sección 1003; con el objetivo de constatar que los materiales de este banco cumplan con los requisitos establecidos. Cuadro 1003-3 de la norma NIC-2000 (ver anexos, tabla 84, pág. XXIII).

Con límite líquido de 39 % y 12 % de índice de plasticidad, peso volumétrico seco máximo de 1,799 kg/m³ con humedad óptima de 17.6 %. Su peso

volumétrico seco suelto es de 1,455 kg/m³, factor de abundamiento e 1.24. Tiene un CBR de 54%, 60% y 100%, en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado (ASTM D 1557). El resultado del ensayo de Desgaste Los Ángeles es de 30.0%.

4.3.1.1. CBR de diseño (banco Liceo Agrícola)

De acuerdo a las normas **NIC-2000**, el valor de C.B.R y los otros parámetros encontrados en las muestras, estas cumplen con los valores permisibles, para ser utilizado como material de base de tipo 2, los cuales están indicados en la sección 1003.23 II (b) de la norma. (Ver anexo, tabla 83, pág. XXIII).

Para este proyecto se va considerar un porcentaje de compactación del 95%. La alcaldía de Juigalpa ha proporcionado los datos de los valores relativos de soporte (CBR) para distintos porcentajes de compactación del banco de material “Liceo Agrícola”.

En la tabla 37 (Pág. 62) se puede apreciar que el valor relativo de soporte para el 95% de compactación es de 60%. Este será utilizado en el diseño de los espesores de capa en el capítulo V. Cabe destacar que este material es excelente y puede ser usado para base en la estructura de pavimento.

4.3.2. El Basurero

Con el objetivo de tener a disposición en el proyecto, un material adecuado para ser utilizado como sub - base, se consideró el banco de material “El Basurero”

Según (Alcaldía de Juigalpa, 2016, p. 25) “Este Banco se ubica unos 1,400 m al Sur-Este del Banco Liceo Agrícola. Coordenadas: 0679267 X – 1335286 Y. Es un banco que ha sido usado, y tiene un volumen aproximado de 72,000 m³”.

Se especifican cada una de las características del material de banco considerado para este proyecto, entre ellas se puede verificar que ciertos materiales corresponden corresponde a una grava con limo arcilloso y arena tipo A-2-7 (0) color café claro.

Cabe destacar que la granulometría que este presente fue comparada y evaluada respecto a la Tabla de graduaciones recomendada para sub-base, base o capas superficiales de la **NIC-2000** en su sección 1003; con el objetivo de constatar que los materiales de este banco cumplan con los requisitos establecidos. Cuadro 1003-3 de la norma NIC-2000 (ver anexo, tabla 84, pág. XXIII).

Con límite líquido de 42 % y 13 % de índice de plasticidad, peso volumétrico seco máximo de 2,012 kg/m³ con humedad óptima de 10.5 %. Su peso volumétrico seco suelto es de 1,691 kg/m³, factor de abundamiento e 1.19. Tiene un CBR de 32%, 43% y 64%, en muestras saturadas y compactadas al 90, 95 y 100% Próctor Modificado (ASTM D 1557). El resultado del ensayo de Desgaste Los Ángeles es de 28.0%.


4.3.2.1. CBR de diseño (Banco El Basurero)

De acuerdo a las normas **NIC-2000**, el valor de C.B.R y los otros parámetros encontrados en las muestras, estas cumplen con los valores permisibles, para ser utilizado como material de sub - base, los cuales están indicados en la sección 1003.23 II (b) de la norma. (Ver anexos, tabla 83, pág. XXIII).

Para este proyecto se va considerar un porcentaje de compactación del 95%. La alcaldía de Juigalpa ha proporcionado los datos de los valores relativos de soporte (CBR) para distintos porcentajes de compactación del banco de material “El Basurero”.

En la tabla 37 (Pág. 62) se puede apreciar que el valor relativo de soporte para el 95% de compactación es de 43%. Este será utilizado en el diseño de los espesores de capa en el capítulo V. Cabe destacar que este material es excelente y puede ser usado para sub - base en la estructura de pavimento.

Tabla 37. Resumen de datos de los bancos de materiales

		REPORTE DE LABORATORIO																	
		Resultados de las propiedades físicas y capacidad soporte de suelos de bancos de materiales.																	
PROYECTO:		30 Calles Nuevas de la Ciudad de Juigalpa			CLIENTE:	Alcaldía Municipal de Juigalpa.		UBICACIÓN:	Municipio de Juigalpa, Departamento Chontales,										
IDENTIFICACIÓN DE BANCO		LOCALIZACIÓN DE BANCO		FRACCIONES DE MUESTRA			NORMA AASHTO T89 AASHTO T 90			NORMA AASHTO T 180		NORMA AASHTO T193			Desgaste de los Angeles	CLASIFICACIÓN			DESCRIPCIÓN VISUAL
Nombre del Banco	Nombre de dueño	Coordena da X	Coordena da Y	G	S	F	Limites de Atterberg			Densidad máxima	Humedad óptima	Valor de C.B.R				NORMA: AASHTO M 145	INDICE DE	SUCS	
				% L.L	% L.P	% I.P	(kg/m3)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)						
Liceo Agrícola	Alcaldía Municipal de Juigalpa	0678758	1336518	78	14	8	39.6	27.472	12.17	1799	17.6	56	60	100	30	A-2-6	0	GW-GM	Grava con limo arcilloso de baja plasticidad color gris con pintas amarillas.
El Basurero	Alcaldía Municipal de Juigalpa	0679267	1335286	71	22	7.5	44.7	30.973	13.76	2012	10.5	32	43	64	28	A-2-7	0	GW-GM	Grava con limo arcilloso y arena de baja plasticidad color café claro.

Fuente: Estudios topográficos, geotécnicos y de diseño de espesores de pavimento para el proyecto de 30 calles nuevas

DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

V. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

Luego de haber analizado el comportamiento y las características del tránsito presente en la red de calles estudiada, y de realizar las respectivas proyecciones. Además, de haber realizado un análisis de los materiales presentes en el sub suelo, se procedió al diseño de los espesores de las capas que componen la estructura de pavimento.

El método comúnmente usado en nuestro país, para el diseño de pavimentos flexibles es el propuesto por la AASHTO, este método es aplicable para el tipo de estructura a considerar en este estudio, el cual consiste en pavimento flexible

Para la utilización de este método se emplearán parámetros calculados y/o propuestos en capítulos anteriores, como, por ejemplo, el ESAL's de diseño, el CBR de la sub-rasante, así como también otros parámetros como la confiabilidad, la desviación estándar, el coeficiente de drenaje, la servicialidad y el módulo resiliente.

5.1. Diseño de espesores por el método AASHTO 93

El diseño de los espesores de la carpeta de rodamiento de la red de calle estudiadas se lleva a cabo con el método AASHTO 93, el cual está basado en la siguiente ecuación, la cual depende de varios parámetros mencionados anteriormente es el presente capítulo.

Ecuación 13:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Dónde:

W_{18} : Número de ejes equivalentes

Z_R : Coeficiente estadístico de desviación estándar

S₀: Desviación estándar combinada

SN: Número estructural

ΔPSI: Variación de servicialidad

M_R: Módulo de Resiliente

5.1.1. Variables para el diseño

A continuación, se detallan los valores considerados para cada uno de los criterios de diseños que se tomaron en cuenta es este estudio:

5.1.1.1. Confiabilidad (R)

La confiabilidad es la probabilidad a que el diseño se comporte de manera satisfactoria durante el periodo de tiempo estimado para el cual se diseñó, es decir, la probabilidad de que las cargas reales a las cuales vaya a ser sometida la estructura no superen a las cargas teóricas con las cuales fue diseñado.

Tabla 38. Niveles de confiabilidad

Tipo de camino	Zona Rural	Zona Urbana
Autopistas interestatales	80 - 99.9	85 - 99.9
Carreteras principales	75 - 99	80 - 99.9
Colectoras	75 - 95	80 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía para el Diseño de Estructura de pavimento, AASHTO, 1993, p.137.

En la tabla anterior se muestran los valores para los niveles de confiabilidad, esta depende del tipo de camino y del tipo de zona en donde se encuentra la carretera a diseñar, para el presente diseño considera una colectoras en zona urbana, por lo tanto, se tendrá en cuenta un valor de **80 %**. Siendo éste el mínimo del intervalo, esto también para obtener un diseño lo más económico posible.

5.1.1.2. Desviación normal estándar Z_r

Este valor se determina en función de la confiabilidad R, para ello se utiliza la siguiente tabla, la cual asigna un valor de Z_r para cada porcentaje de confiabilidad.

Tabla 39. Valores de Z_r en función de la confiabilidad R

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z_r
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía para el Diseño de Estructura de pavimento, AASHTO, 1993, p.196.

En el presente diseño se establece un valor de **-0.841**, correspondiente al valor de confiabilidad considerado anteriormente, el cual es del 80 %.

5.1.1.3. Desviación estándar (S_o)

Este parámetro está relacionado directamente con la confiabilidad. A continuación, se selecciona un valor de desviación estándar, dependiendo de las condiciones locales. La siguiente tabla muestra los valores de los cuales se considera uno para el presente diseño.

Tabla 40. Valores de desviación estándar

Condición	Pavimento Rígido	Pavimento Flexible
En construcción nueva	0.30 - 0.40	0.40 - 0.50
Sobre capas	0.39	0.49

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de Carreteras (SIECA), cap.7, p.5.

Para el presente diseño se considera un valor de desviación estándar de **0.40**.

5.1.1.4. Coeficiente de drenaje

Es un factor determinante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil, y por lo tanto lo es también en el diseño del mismo. El exceso de agua combinado con el incremento de volúmenes de tránsito y cargas, se anticipa con el tiempo para ocasionar daños a las estructuras del pavimento.

Tabla 41. Coeficientes de drenaje

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

Fuente: Guía para el Diseño de Estructura de pavimento, AASHTO, 1993, p.148

En el presente diseño se propone que la calidad del drenaje sea buena, para un porcentaje de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación mayor al 25 %. Por lo tanto, se considera un coeficiente de drenaje $m_i = 1$.

5.1.1.5. Servicialidad

Este valor depende del grado de comodidad que prestará la vía para los usuarios que transiten por ésta, para que esta sea fácil, rápida y segura para la circulación de los vehículos.

5.1.1.5.1. Servicialidad inicial (P_0)

Este es el valor de servicialidad que tendrá la vía al inicio después de su construcción, según la AASHTO, se recomienda un valor de **4.2** para pavimento flexible.

5.1.1.5.2. Servicialidad final (P_t)

Este es el valor de servicialidad que tendrá la vía en el momento en que se necesite una rehabilitación o reconstrucción. Para el presente diseño se propone un valor de **2** (para caminos con menor tránsito).

5.1.1.5.3. Pérdida de servicialidad (ΔPSI)

La pérdida de servicialidad es la diferencia entre los valores finales e iniciales entre ambos.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t \quad \text{Ecuación 14}$$

Para el presente diseño se tiene lo siguiente

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

5.1.1.6. Módulo resiliente (MR)

El módulo resiliente se calcula a través del valor de CBR, y este lo reemplaza como parámetro para caracterizar la a los mariales que componen la estructura de pavimento. Este se calcula utilizando una ecuación determinada para ciertos rangos de valores de CBR.

El valor de CBR de diseño para la sub – rasante en la red de calles estudiadas es de 7.4 %, este siendo determinado por el método sugerido por el Instituto del Asfalto.

$$MR = 1500 * CBR$$

Ecuación 15

Sustituyendo:

$$MR = 1500 * 7.4$$

$$MR = 11,100 \text{ PSI}$$

5.1.2. Coeficientes de capa

Estos coeficientes están relacionados con parámetros resistentes, y permite convertir de manera directa espesores de capa a cantidades de número estructural, siendo cada uno de estos coeficientes una medida relativa de la capacidad de cada material para funcionar como parte de una estructura de pavimento.

5.1.2.1. Carpeta de rodamiento asfáltica (a₁)

El coeficiente estructural de capa para la carpeta de rodamiento asfáltica se determina considerando la estabilidad de Marshall, el cual es calculado a partir de la cantidad de ejes equivalentes, la siguiente tabla muestra los valores de estabilidad para ciertos rangos de Esal's de diseño.

Tabla 42. Estabilidad de Marshall

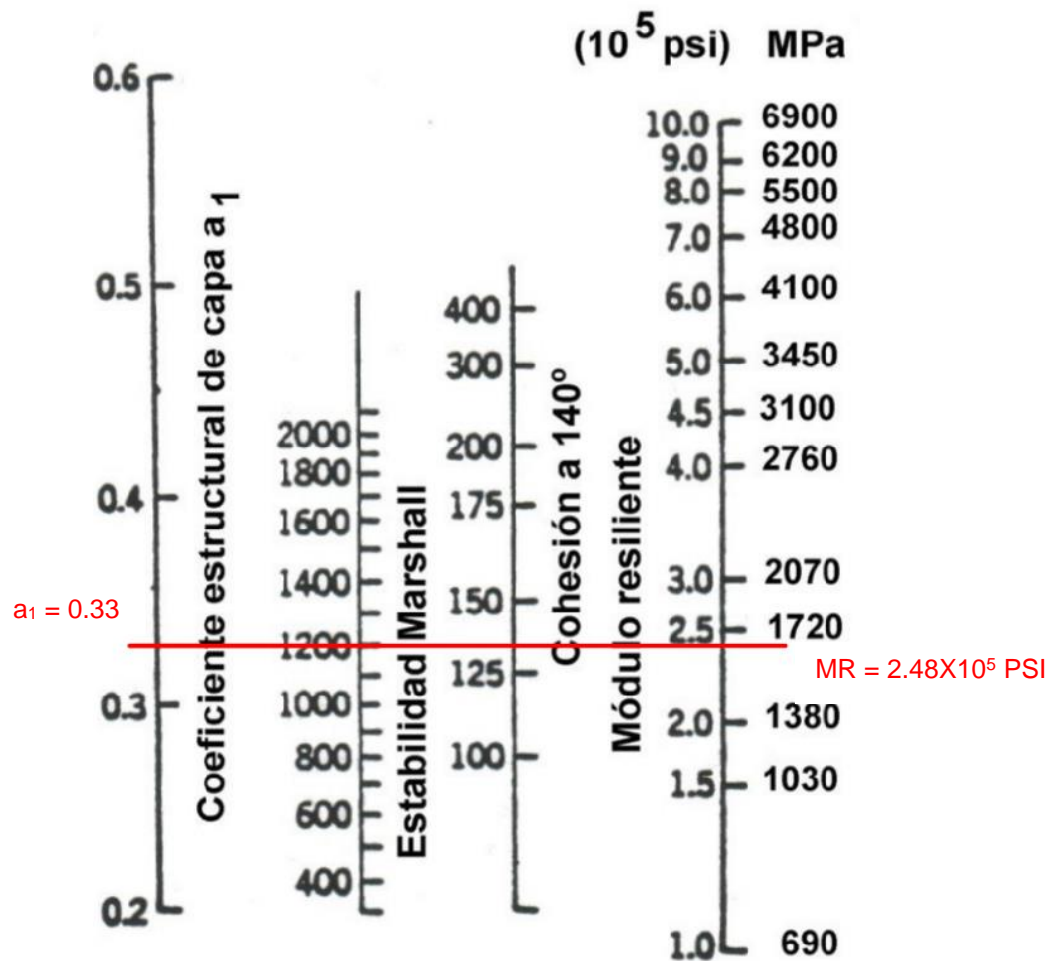
Esal's de diseño	Estabilidad de Marshall (lbs)
< 10 ⁴	750
10 ⁴ – 10 ⁶	1200
> 10 ⁶	1800

Fuente: Manual del Instituto del asfalto

Ya que se determinó en el presente estudio un Esal's de diseño de 865,874.37 El cual se encuentra entre 10^4 y 10^6 . Se tomará en cuenta un valor para la estabilidad de Marshall de 1200 lbs.

Ahora, con ayuda del siguiente ábaco, el cual relaciona el coeficiente de capa de la carpeta de rodamiento asfáltica con la estabilidad de Marshall, se determina el valor del coeficiente a_1 .

Gráfico 10. Nomograma para la determinación del coeficiente de capa a_1 para pavimento flexible



Fuente: Guía para el Diseño de Estructura de pavimento, AASHTO, 1993, p.111.

Tras la proyección se ha logrado estimar que el coeficiente de capa para la carpeta de rodamiento asfáltica a considerar será de:

$$a_1 = 0.33$$

Además, se logra determinar el módulo resiliente de la capa asfáltica, la cual es de 2.48×10^5 PSI

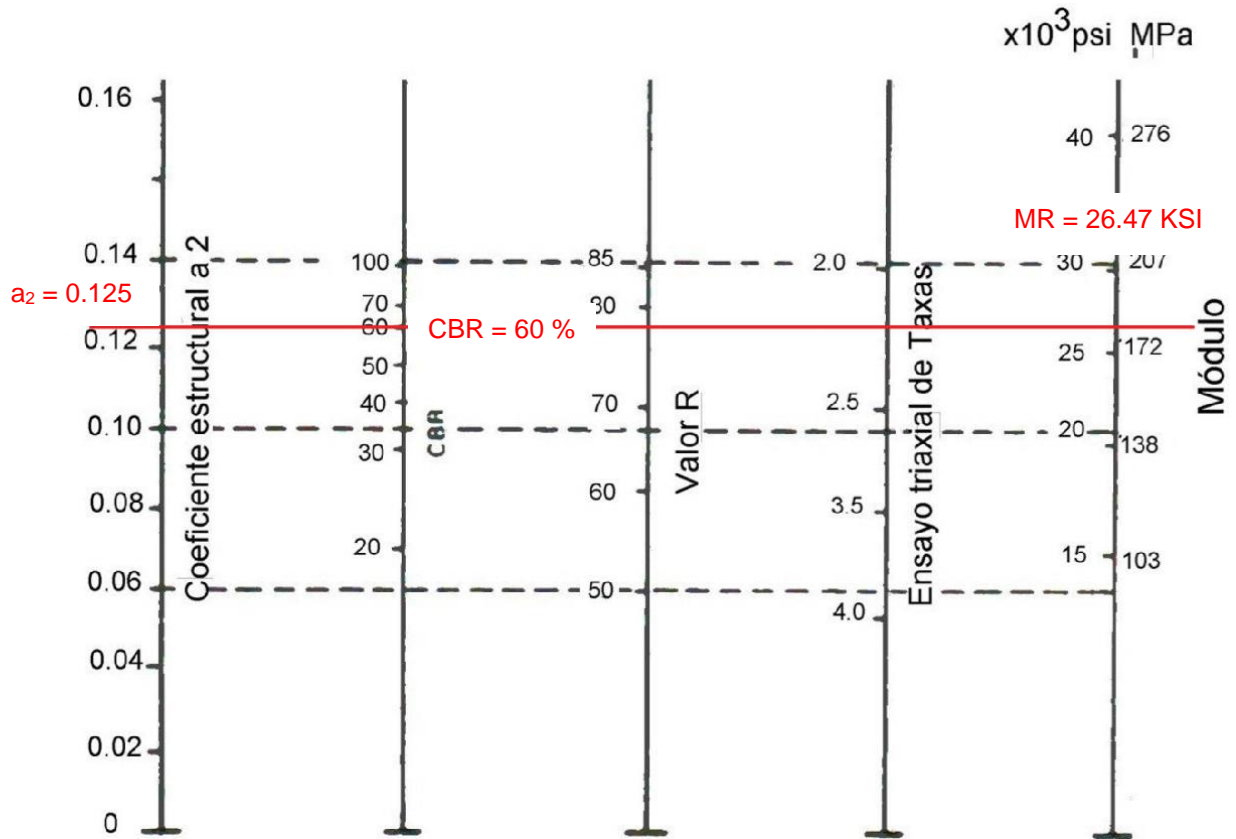
5.1.2.2. Bases granulares (a₂)

El coeficiente de capa para las bases granulares se determina basándose en la relación de soporte California del material de banco (Liceo agrícola), el cual dio un C.B.R. de diseño del 60% al 95% de compactación.

Cabe destacar que según la **NIC. 2000** en la sección 1003.23 II (b) de la norma. Se pueden utilizar las condiciones de tipo 2 para bases (ver anexo, tabla 83, pág. XXIII) donde se especifica que, este es utilizado para acabado superficial y cuando los niveles de tráfico no exceden de 300 ejes equivalentes estándar (EE) (8200 Kg) por día, parámetros que se cumplen en el caso de este proyecto.

Así que con el C.B.R. ya establecido, se puede obtener el coeficiente de capa para las bases granulares, esto por medio del monograma para coeficientes de capas de bases granulares, el cual se puede observar en el gráfico 11. Pág. 71.

Gráfico 11. Nomograma para coeficientes de capas de bases granulares



Fuente: Guía para el Diseño de Estructura de pavimento, AASHTO, 1993, p.118.

Como se puede observar en la gráfica anterior el coeficiente de capa a considerar es el siguiente:

$$a_2 = 0.125$$

Además, se puede determinar que el módulo resiliente de la base granular es de 26.47×10^3 PSI

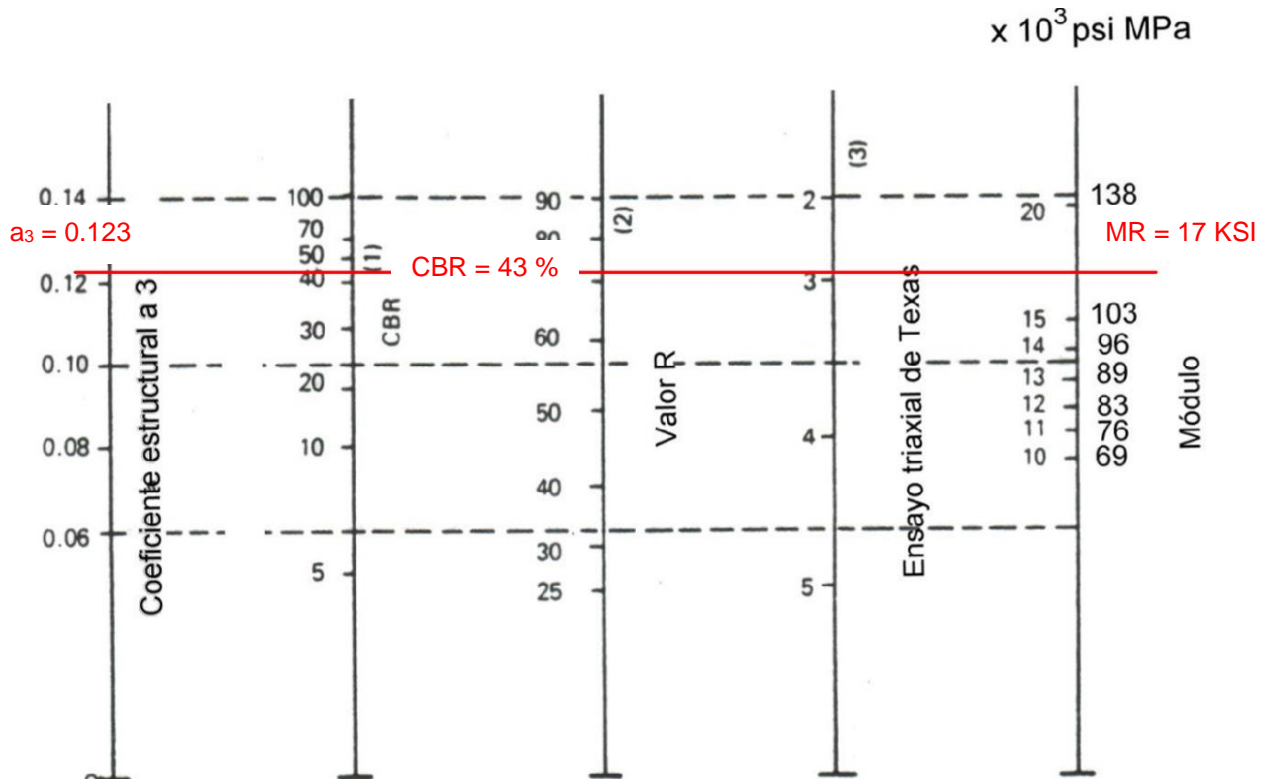
5.1.2.3. Sub - bases granulares (a₃)

El coeficiente de capa para las sub bases granulares se determina basándose en la relación de soporte California del material de banco (El Basurero), el cual dio un C.B.R. de diseño del 43% al 95% de compactación.

Cabe destacar que según la **NIC. 2000** en la sección 1003.22.02 (a) de la norma. El valor de CBR mínimo que recomienda la norma es de 20 % para una compactación del 95 % según proctor modificado.

Así que con el C.B.R. ya establecido, podemos obtener el coeficiente de capa para la sub - base granular, esto por medio del nomograma para coeficientes de capas de sub - bases granulares, el cual se puede observar en el gráfico 12.

Gráfico 12. Nomograma para coeficientes de capas de sub - bases granulares



Fuente: Guía para el Diseño de Estructura de pavimento, AASHTO, 1993. p.118.

Como se puede observar en la gráfica anterior el coeficiente de capa a considerar es el siguiente:

$$a_3 = 0.123$$

Además, se puede determinar que el módulo resiliente de la sub - base granular es de 17 X 10³ PSI

5.2. Cálculo de los espesores de la estructura de pavimento flexible

Luego de la determinación de todos los criterios de diseño y cada una de las consideraciones a tomar en cuenta para el presente diseño, se procede al cálculo de los espesores de capa. Para ello se utilizará la siguiente ecuación para el diseño de pavimento flexible, derivada de la información obtenida empíricamente por la AASHTO ROAD TEST:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3 \quad \text{Ecuación 16}$$

Dónde:

a_1 , a_2 , a_3 son los coeficientes estructurales o de capa, adimensionales.

m_2 , m_3 son los coeficientes de drenaje.

D_1 , D_2 , D_3 son los espesores de capas, en pulg o mm, en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

5.2.1. Números estructurales (SN)

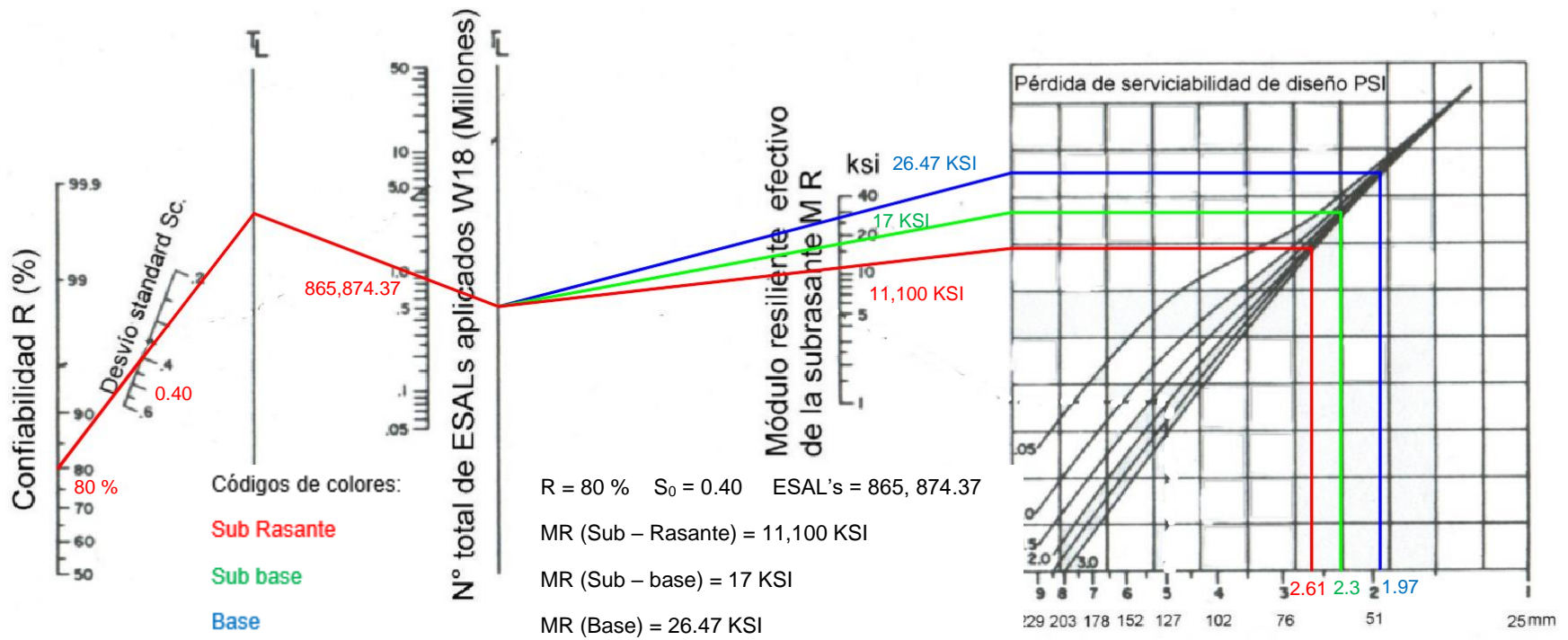
Es un valor que representa la capacidad portante del pavimento. Indica la cantidad total de espesor que requiere una estructura de pavimento para soportar las cargas a la que será sometida durante su vida útil. Para determinarlo, se utiliza el ábaco de diseño para pavimentos flexibles propuesto por la AASHTO en donde se consideran datos anteriormente calculados en el presente documento.

En el gráfico 13 (pág. 74), se observa las proyecciones que se hicieron en el ábaco para el diseño, en donde se obtiene un número estructural:

$$SN = 2.61$$

Además, se hace una estimación para el número estructural de la base granular de 1.97 y la sub – base granular de 2.3.

Gráfico 13. Determinación de SN



Fuente: Guía para el Diseño de Estructura de pavimento, AASHTO, 1993, p.174.

La siguiente tabla muestra cada uno de los parámetros calculados relacionados al diseño de pavimento del presente estudio.

Tabla 43. Resumen de datos calculados

Parámetros	Datos
ESAL's	865,874.37
Confiabilidad (R)	80%
Desviación Estándar (So)	0.40
Módulo resiliente de la sub – rasante	11,100 PSI
Servicialidad inicial (Po)	4.2
Servicialidad final (Pt)	2
Δ PSI	2.2
Coeficientes de capa (ai)	a1 = 0.33
	a2 = 0.125
	a3 = 0.123
Coeficiente de drenaje (mi)	1

Fuente: Elaboración por sustentantes

Cálculo del espesor de la capa asfáltica

$$D_1 = \frac{SN_1}{a_1 m_1} = \frac{1.97}{(0.33)(1)} = 5.96" \Rightarrow D_1^* = 6"$$

Ahora se determina el aporte de la capa asfáltica calculada

$$SN_1^* = a_1 D_1^* = (0.33)(6) \Rightarrow SN_1^* = 1.98$$

Ahora se determina el espesor de la capa de la base granular

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 m_2} = \frac{2.3 - 1.98}{(0.125)(1)} = 2.56" \Leftrightarrow D_2^* = 6"$$

Se considera el espesor mínimo sugerido por la AASHTO para el rango de numero de ESAL's entre 500,000 y 2,000,000 (Ver anexo, tabla 89, pág. XXVII).

Y el aporte de la base granular es el siguiente

$$SN_2^* = a_2 D_2^* = (0.125)(6) \Rightarrow SN_2^* = 0.75$$

Ahora se determina el espesor de la sub - base granular

$$D_3 = \frac{SN_3 - (SN_2^* + SN_1^*)}{a_3 m_3} = \frac{2.61 - (0.75 + 1.98)}{(0.123)(1)} = -0.976''$$

El valor negativo significa que no hay necesidad de una sub - base

A continuación, se comprueba los aportes de las capas diseñadas.

$$SN_2^* + SN_1^* \geq SN$$

$$0.75 + 1.98 \geq 2.61$$

$$2.73 \geq 2.61 \text{ ok}$$

5.3. Resultados

Luego de los cálculos respectivos, los resultados del diseño fueron los siguientes:

- Espesor de la capeta de rodamiento asfáltica: 15 cm
- Espesor de base granular: 15 cm
- No se necesita de sub - base

ESTUDIO HIDROTÉCNICO

VI. ESTUDIO HIDROTÉCNICO

6.1. Estudio hidrológico

El objetivo primario de la hidrología es el estudio de las interrelaciones entre el agua y su ambiente. Ya que la hidrología se interesa principalmente en el agua localizada cerca de la superficie del suelo, su movimiento y distribución, además es de importancia establecer el tamaño del área de estudio, con la cual posteriormente se realizarán los análisis de interés.

En la actualidad hay diversos métodos para el estudio de una cuenca, pero para aplicar cualquiera de ellos hay factores que se deben de tomar en cuenta antes de realizar dicho análisis, ya que estos suelen a afectar la naturaleza de la escorrentía de lluvia en el área. Algunos de los factores tomados son:

- Cantidad de escorrentía y distribución de la lluvia
- Cobertura vegetal y tipo de suelo
- Pendientes del terreno y canales de corriente
- Antecedentes de condiciones de humedad
- Potencial de almacenaje (áreas inundables, lagunas, humedales, reservorios, canales, etc.)
- Características del sistema de drenaje local

Tabla 44. Restricciones en el uso de los Métodos Hidrológicos

Método	Limitación de tamaño	Comentarios
Racional	0 – 3.0 km ²	El Método puede ser usado para la estimación de flujos picos y el diseño de sitios pequeños o subdivisión de sistemas de alcantarillado pluvial. No usarse para diseñar almacenamientos.
SCS ²	0 – 8.10 km ²	El Método puede ser usado para la estimación de flujos picos e hidrogramas para todas las aplicaciones de diseño.
USGS	0.10 km ² a 64.75 km ²	El Método puede ser usado para estimación de flujos picos para todas las aplicaciones de diseño.
USGS	0.51 km ² a 64.75 km ²	El Método puede ser usado para estimación de hidrogramas para todas las aplicaciones de diseño.

Fuente: Manual para la revisión de estudios Hidrotécnicos de drenaje mayor (MTI 2008, p.17)

6.1.1. Métodos seleccionados para apoyar en análisis del sitio hidrológico:

Debido a que el área de estudio a analizar cuenta con un área pequeña, se opta por tomar el **método Racional**. Para cuencas o áreas de un alcance mayor se tiene que hacer una modelación de mayor acercamiento esto requiere un estudio a mayor profundidad.

La fórmula general que define el método racional es expresada de la siguiente forma:

$$Q = \frac{C.I.A}{K} \quad \text{Ecuación 17}$$

El método está basado principalmente para cuencas pequeñas que presentan las siguientes características:

1. Se asume que la lluvia esta uniformemente distribuida en el tiempo y en el espacio.
2. Usualmente la duración de la lluvia excede el tiempo de concentración.
3. La escorrentía es primariamente por flujo sobre suelo.
4. Los procesos de almacenamientos en canales son insignificantes.

Para el cálculo del caudal por el método racional el área en estudio tendrá que ser de 3 km² o menos para mayor efectividad de la formula, este método es el más usado para el análisis de escorrentía de cuencas pequeñas y toma en cuenta las siguientes características:

1. Intensidad de la lluvia
2. Duración de la lluvia
3. Frecuencia de la lluvia
4. Área de la cuenca
5. Concentración y difusión de la escorrentía

6.2. Trabajo de campo

Una vez establecida el área que se someterá al estudio hidrológico, se procedió a retomar datos de lo que fue el estudio topográfico. El cual se realizó en un tiempo de 21 días, del cual se obtendrán las características del área como perfiles longitudinales, pendientes, curvas de nivel, la delimitación del área de estudio y así conocer los caudales de diseño para las obras que se propondrían.

6.2.1. Procesamiento de datos y obtención de resultados

Con los datos proporcionados por el programa (AutoCAD Civil 3D) se logró determinar datos necesarios para la aplicación del método racional y así conocer los caudales de diseños de las obras de drenaje menor que estarán involucradas en la propuesta de diseño, estos cunetas y vados, las cunetas estarán ubicadas a lo largo de todas las calles en ambas bandas de estas y los vados estarán ubicados en los puntos más bajos de estas o donde se interceptarán las vías.

6.2.2. Caudal de diseño para cunetas

Se determinó el caudal de diseño por el método racional, la fórmula general para el caudal de diseño es la siguiente:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{K} \quad \text{Donde:}$$

C: el coeficiente de escorrentía de la cuenca o superficie drenada, es adimensional.

A: área de drenaje de la cuenca en hectáreas o km².

I: la intensidad de precipitación en mm/hora, correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración.

K: un coeficiente que depende de las unidades en que se expresen Q y A, y que incluye un aumento del 20 % en Q para tener en cuenta el efecto de los picos de precipitación. Se utilizará **K=3.6** cuando el área introducida sea en km² para obtener el valor d Q en m³/s como es en este caso.

6.2.3. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía (**C**) en esta fórmula del método racional es también dependiente de las características del suelo. El tipo y condición de un suelo determina su capacidad de infiltración en tiempo de precipitación. Ya que el área en estudio será el de la calzada se utilizará un coeficiente de **C= 0.83** para un tiempo de retorno de 10 años.

6.2.4. Área de drenaje de la superficie

La superficie de drenaje que proporcionara el caudal para las cunetas será el área de la calzada el cual será el ancho de esta por su distancia y se calculó por tramos según la dirección de las pendientes en las que se encuentren y para la del diseño de los vados se utilizara el caudal acumulado generado por las cunetas, tomando este el de mayor volumen.

6.2.5. Intensidad de precipitación

Cuando se tiene el grafico de curvas de Intensidad- Duración y Frecuencia (IDF) en el eje de las abscisas se encuentra el tiempo de duración en minutos y en el de las ordenadas la intensidad de lluvia en mm/h, será necesario determinar el tiempo de duración o el tiempo de concentración.

En el caso que no se cuenta con la gráfica de curvas IDF el Instituto Nicaragüense de estudios Territoriales (INETER) proporciona una tabla donde fácilmente se pueden conocer los parámetros para poder calcular la intensidad de lluvia, considerando un tiempo de retorno de 10 años.

Tabla 45. Intensidades de lluvia estación meteorológica Juigalpa, chontales

Estacion	$I = A/(t + d)^b$			
	Tr	A	d	b
juigalpa	2	4039.82	19	1.042
codigo:69034	5	3532.192	18	0.959
Tipo: HMP	10	3038.445	16	0.902
12°06'00'' Lat N	15	3069.322	16	0.889
85°22'00''	25	3616.242	18	0.901
Elevacion : 90	50	2975.955	15	0.846
Periodo :1971 - 2013	100	2449.683	12	0.793

Fuente: Estación meteorológica Juigalpa, Chontales (INETER)

Cuando se conocen los parámetros de A, b, d, la intensidad de lluvia se calculó con la siguiente fórmula:

$$I = \frac{A}{(tc+d)^b} \quad \text{Ecuación 18}$$

I (mm\h): la intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al período de retorno.

T, d, b: parámetros que varían para las curvas que se generan en cada estación hidrometeoro lógica.

6.2.6. Tiempo de concentración

Para el caso de cuencas pequeñas el tiempo de concentración en Nicaragua se ha venido aplicando, la fórmula propuesto por el Ing. Eduardo Basso, el método del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA), la que depende de la longitud del cauce principal en km (**L**) y la pendiente de la misma (**s**), Este se calcula con la siguiente fórmula:

$$tc = 0.0041 \left(\frac{3.28*L}{\sqrt{Sc}} \right)^{0.77} \quad \text{Ecuación 19}$$

Para conocer el caudal de diseño de las cunetas se analizaron por ejes donde también dichos ejes se representan en los planos topográficos según el sentido de la pendiente a las que estas se encuentren, así mismo la cantidad de agua que pueden suministrar los techos de las casas entre otras.

Después de la interpretación de la fórmula y con todos los datos a introducir los cuales son coeficiente de escorrentía, área de la cuenca, Intensidad de precipitación y el valor constante de K, se elaboraron tablas en el programa de cálculo Microsoft Excel para la obtención precisa de los resultados de las cunetas así mismo de los vados.

Tabla 46. Cálculo de tiempo de concentración

Cálculo del Tiempo de Concentración para el diseño de cunetas por ejes				
EJES	ESTACION	LONGITUD (KM)	% DE LA PENDIENTE	TIEMPO DE CONCENTRACION
EJE A	0+000 - 0+040	0.4	0.0598	0.0149
	0+040 - 0+200	0.16	0.1058	0.0059
	0+200 - 0+340	0.14	0.0557	0.0068
	0+340 - 0+400	0.06	0.0256	0.0048
	0+400 - 0+517.55	0.11	0.0603	0.0055
EJE B	0+000 - 0+180	0.18	0.0082	0.0174
	0+180 - 0+300	0.12	0.0035	0.0176
	0+300 - 0+380	0.08	0.0099	0.0087
	0+380 - 0+480	0.1	0.026	0.0071
	0+480 - 0+581.93	0.1	0.0189	0.0080
EJE C	0+000 - 0+100	0.1	0.0112	0.0098
	0+100 - 0+200	0.1	0.0463	0.0057
	0+200 - 0+300	0.1	0.0378	0.0061
	0+300 - 0+380	0.08	0.0086	0.0091
	0+380 - 0+579.67	0.2	0.0443	0.0098
EJE D	0+000 - 0+080	0.08	0.0174	0.0070
	0+080 - 0+140	0.06	0.0603	0.0035
	0+140 - 0+180	0.04	0.0308	0.0033
	0+180 - 0+230	0.05	0.0259	0.0042
	0+230 - 0+332.18	0.102	0.049	0.0056

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 47. Intensidad media de precipitación

Intensidad media de precipitación						
EJES	ESTACION	parámetro constante A	Tiempo de concentración (min)	Parámetro constante (d)	parámetro constante (b)	Intensidad media de precipitación mm/h
EJE A	0+000 - 0+040	3038.445	0.0149	16	0.902	248.983
	0+040 - 0+200	3038.445	0.0059	16	0.902	249.109
	0+200 - 0+340	3038.445	0.0068	16	0.902	249.096
	0+340 - 0+400	3038.445	0.0048	16	0.902	249.125
	0+400 - 0+517.55	3038.445	0.0055	16	0.902	249.115
EJE B	0+000 - 0+180	3038.445	0.0174	16	0.902	248.949
	0+180 - 0+300	3038.445	0.0176	16	0.902	248.945
	0+300 - 0+380	3038.445	0.0087	16	0.902	249.071
	0+380 - 0+480	3038.445	0.0071	16	0.902	249.093
	0+480 - 0+581.93	3038.445	0.0080	16	0.902	249.080
EJE C	0+000 - 0+100	3038.445	0.0098	16	0.902	249.055
	0+100 - 0+200	3038.445	0.0057	16	0.902	249.113
	0+200 - 0+300	3038.445	0.0061	16	0.902	249.106
	0+300 - 0+380	3038.445	0.0091	16	0.902	249.064
	0+380 - 0+579.67	3038.445	0.0098	16	0.902	249.054
EJE D	0+000 - 0+080	3038.445	0.0070	16	0.902	249.095
	0+080 - 0+140	3038.445	0.0035	16	0.902	249.144
	0+140 - 0+180	3038.445	0.0033	16	0.902	249.147
	0+180 - 0+230	3038.445	0.0042	16	0.902	249.134
	0+230 - 0+332.18	3038.445	0.0056	16	0.902	249.113

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 48. Caudal de diseño para cunetas

Calculo de caudal de diseño para cunetas							
EJES	ESTACION	Coficiente de Escorrentía	Intensidad media de precipitación	Área de Drenaje (k2)	Parámetro constante (K)	Caudal de diseño (m3/seg)	Caudal acumulado
EJE A	0+000 - 0+040	0.83	249.15	0.0012	3.6	0.0689	
	0+040 - 0+200	0.83	242.383	0.00048	3.6	0.0276	
	0+200 - 0+340	0.83	236.294	0.00042	3.6	0.0241	
	0+340 - 0+400	0.83	244.025	0.00018	3.6	0.0103	
	0+400 - 0+517.55	0.83	240.08	0.00033	3.6	0.0190	0.1499
EJE B	0+000 - 0+180	0.83	234.412	0.00054	3.6	0.0310	
	0+180 - 0+300	0.83	233.172	0.00036	3.6	0.0207	
	0+300 - 0+380	0.83	238.554	0.00024	3.6	0.0138	
	0+380 - 0+480	0.83	229.801	0.0003	3.6	0.0172	
	0+480 - 0+581.93	0.83	229.487	0.0003	3.6	0.0172	0.0827
EJE C	0+000 - 0+100	0.83	234.925	0.0003	3.6	0.0172	
	0+100 - 0+200	0.83	232.063	0.0003	3.6	0.0172	
	0+200 - 0+300	0.83	241.281	0.0003	3.6	0.0172	
	0+300 - 0+380	0.83	236.528	0.00024	3.6	0.0138	
	0+380 - 0+579.67	0.83	239.876	0.0006	3.6	0.0345	0.0999
EJE D	0+000 - 0+080	0.83	243.345	0.00024	3.6	0.0138	
	0+080 - 0+140	0.83	242.677	0.00018	3.6	0.0103	
	0+140 - 0+180	0.83	241.353	0.00012	3.6	0.0069	
	0+180 - 0+230	0.83	233.56	0.00015	3.6	0.0086	
	0+230 - 0+332.18	0.83	237.076	0.000306	3.6	0.0176	0.0572

Fuente: Elaboración por sustentantes

6.3. Diseño Hidráulico

El sistema de drenaje es un escudo de protección el cual se le debe de proporcionar a las estructuras de la carretera para la protección de agentes de erosión o en caso de inundaciones por las aguas superficiales o las subterráneas que son problemas más típicos que se presentan a diario y el más usual por el que la estructura suele fallar.

Para dar solución a estos problemas en cualquier diseño de obras horizontales se proponen algunos tipos de obras que sirven de artificios para la recolección, transporte y descarga segura de las aguas las cuales estas deben estar proyectadas por el diseñador de modo que sean económicas y que garanticen la vida útil de la vía.

El sistema de drenaje tiene como principal objetivo evacuar o transportar las aguas que se precipitan sobre la superficie de rodamiento de la carretera o de la calle y que estas penetren lateralmente a la estructura y la deterioren de esta forma acortando su vida útil.

Un estudio de diseño Hidráulico para drenaje se realiza de forma longitudinal y transversalmente, los cuales estos varían de muchas formas dependiendo de la dirección del flujo o en el sentido que se dirigen las aguas que necesitan evacuarse. Algunos sistemas de drenajes muy usuales que se utilizan para la protección de la calzada son:

El bombeo de la calzada

En este caso la sección típica de la vía la convierte en un parte aguas ya que a partir del eje se le proporciona una pendiente lateral y geoméricamente para ambos lados, con el objetivo de drenar la superficie de rodamiento, esta puede variar dependiendo del material utilizado en el recubrimiento, ya que en este caso será de asfalto se propone usar el 1.5%, (ver tabla 49, p.86).

Tabla 49. Bombeos típicos utilizados en carreteras

Bombeos típicos utilizados	
Para adoquinados	2% - 2.5%
Para asfalto	1% - 1.5%
Para macadam	3% - 4%

Fuente: Manual para la revisión de estudios Hidrotécnicos de drenaje menor (MTI 2008, p.39).

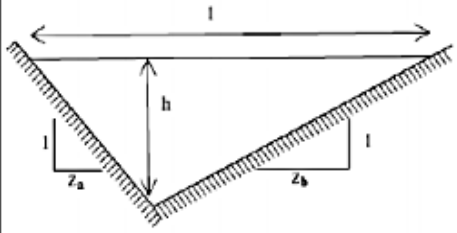
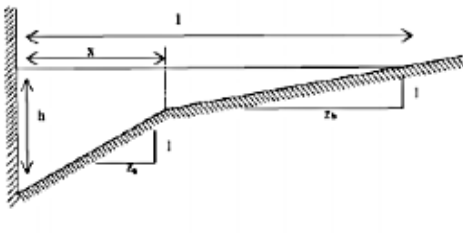
Cunetas

Son conocidas como canales de drenaje, generalmente de sección triangular y se ubican a lo largo de la calzada para todos los tramos, al pie de los taludes de corte.

6.3.1. Dimensionamiento de cunetas

En el manual para la revisión de drenaje menor del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), se pueden encontrar fórmulas con las cuales dimensionar el canal según sea su forma geométrica, estos, se utilizan principalmente para carreteras interurbanas por su mayor capacidad de evacuar las aguas pluviales, (ver imagen 2, p.87).

Imagen 2. Fórmulas para el dimensionamiento de canales para carreteras inter urbanas

Tipo de Cuneta o Canal	
	
Ancho Superficial (l)	$(z_a + z_b) \cdot h$
Area (n)	$x + z_b \cdot \left(h - \frac{x}{z_a} \right)$
Perímetro Mojado (P)	$\frac{(z_a + z_b) \cdot h^2}{2}$
Radio Hidráulico (R)	$x \cdot h + \frac{z_b \cdot h^2}{2} + \frac{x^2}{2 \cdot z_a} \cdot \left(\frac{z_b}{z_a} - \frac{2 \cdot z_b \cdot h}{x} - 1 \right)$
	$h + \sqrt{x^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{z_a^2} \right)} + \sqrt{z_b^2 + 1} \cdot \left(h - \frac{x}{z_a} \right)$
	$\frac{x \cdot h + \frac{z_b \cdot h^2}{2} + \frac{x^2}{2 \cdot z_a} \cdot \left(\frac{z_b}{z_a} - \frac{2 \cdot z_b \cdot h}{x} - 1 \right)}{h + \sqrt{x^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{z_a^2} \right)} + \sqrt{z_b^2 + 1} \cdot \left(h - \frac{x}{z_a} \right)}$

Fuente: Manual para la revisión de estudios Hidrotécnicos de drenaje menor (MTI 2008, p.40)

De la misma forma el MTI, brinda valores para diferentes zonas del país donde se establecen el ancho y la profundidad, las cuales son las dimensiones mínimas para estos canales, (ver tabla 50, pág.88).

Tabla 50. Dimensiones de cunetas

CUADRO DE DIMENSIONES MINIMAS DE CUNETAS		
Región	profundidad (m)	ancho (m)
Seca	0.20	0.50
Lluviosa	0.30	0.75
Muy lluviosa	0.50	1.00

Fuente: Manual para la revisión de estudios Hidrotécnicos de drenaje menor (MTI 2008, p.41)

Área de Diseño

Para el caso del dimensionamiento de las cunetas se propuso una sección típica triangular de una región lluviosa, con los siguientes parámetros:

$$H = 0.30\text{m} \quad Z_a = 0.5 \quad Z_b = 1.5$$

Donde:

H= será la profundidad verticalmente desde el nivel del borde de la subrasante al fondo o vértice de la cuneta.

Z_a= al talud externo de la cuneta.

Z_b= al talud interno de la cuneta.

Para asegurarse que la sección propuesta cumpla con la demanda de los caudales de aporte calculados anteriormente, se prosiguió a utilizar la ecuación de **Manning** la cual nos permite obtener un caudal de diseño y así saber realmente si la sección propuesta cumple con la demanda.

$$Q = \frac{1}{n} * \left(\frac{A^5}{P^2} \right)^{1/3} * S^{1/2} \quad \text{Ecuación 20}$$

Dónde:

Q: caudal de diseño, (m³/s)

So: pendiente longitudinal de la cuneta, (m/m)

A: área mojada, (m²)

n: coeficiente de rugosidad, de Manning, (adimensional)

P: perímetro mojado, (m)

RH: radio hidráulico, (m)

Para la obtención de resultados se hizo el uso del software Microsoft Excel en el cual se realizaron los cálculos del área mojada de la cuneta, su perímetro mojado y su caudal de diseño, utilizando un coeficiente de rugosidad **N = 0.015**, ya que este es el valor dado para superficies de hormigón simple.

Ejemplo de cálculos

Estación 0+000 – 0+040

$$A = \frac{(Za+Zb)*H^2}{2} = \frac{(0.5+1.5)*0.30^2}{2} = \mathbf{0.09 \text{ m}^2}$$

$$p = (\sqrt{1 + Za^2} + \sqrt{1 + Zb^2}) * H = (\sqrt{1 + 0.5^2} + \sqrt{1 + 1.5^2}) * 0.30 = \mathbf{0.87 \text{ m}}$$

Luego reemplazando todos los valores en la ecuación de Manning.

$$Q = \frac{1}{0.015} * \left(\frac{(0.09\text{m}^2)^5}{(0.87\text{m})^2} \right)^{\frac{1}{3}} * (0.0598)^{\frac{1}{2}} = \mathbf{0.322 \text{ m}^3/\text{seg}}$$

Tabla 51. Diseño hidráulico de cunetas

DISEÑO HIDRÁULICO DE CUNETAS				
EJES	ESTACION	% DE LA PENDIENTE	Caudal de diseño (m3/seg)	Caudal de Manning (m3/seg)
EJE A	0+000 - 0+040	0.0598	0.0689	0.322
	0+040 - 0+200	0.1058	0.0276	0.428
	0+200 - 0+340	0.0557	0.0241	0.311
	0+340 - 0+400	0.0256	0.0103	0.211
	0+400 - 0+517.55	0.0603	0.0190	0.323
EJE B	0+000 - 0+180	0.0082	0.0310	0.119
	0+180 - 0+300	0.0035	0.0207	0.078
	0+300 - 0+380	0.0099	0.0138	0.131
	0+380 - 0+480	0.026	0.0172	0.212
	0+480 - 0+581.93	0.0189	0.0172	0.181
EJE C	0+000 - 0+100	0.0112	0.0172	0.139
	0+100 - 0+200	0.0463	0.0172	0.283
	0+200 - 0+300	0.0378	0.0172	0.256
	0+300 - 0+380	0.0086	0.0138	0.122
	0+380 - 0+579.67	0.0443	0.0345	0.277
EJE D	0+000 - 0+080	0.0174	0.0138	0.174
	0+080 - 0+140	0.0603	0.0103	0.323
	0+140 - 0+180	0.0308	0.0069	0.231
	0+180 - 0+230	0.0259	0.0086	0.212
	0+230 - 0+332.18	0.049	0.0176	0.291

Fuente: Elaboración por sustentantes

Los resultados obtenidos muestran que el Caudal obtenido para la cuneta típica triangular, con las secciones propuestas, cumple con la demanda de caudales de aporte en cada tramo de los ejes correspondientes.

6.3.2. Dimensionamiento de vado con HCANALES

Para el dimensionamiento de los vados los datos obtenidos del estudio hidrológico fueron procesados en el programa de diseño **HCANALES**. Este software, nos permite determinar, las características hidráulicas de los canales.

La versión del programa utilizada es la versión V₃, Hcanales, su principal ventaja es que, permite simplificar los cálculos y así mismo obtener rápidamente resultados para brindar respuestas rápidas, este ofrece varios tipos de opciones como, por ejemplo:

1. Calcular el tirante crítico.
2. Calcular el tirante normal
3. Calcular caudales
4. Calcular resaltos hidráulicos
5. Entre otras principales funciones para el cálculo de diseño de los vados de tirante normal solamente basta con introducir el dato del caudal, el ancho de la solera, la pendiente del talud, la rugosidad del material que se está utilizando para la construcción y la pendiente longitudinal.

Resultados de análisis de vados en HCANALES


Para el diseño del vado como ya se había mencionado antes, será la suma de los caudales de aporte que transcurren por cada tramo dependiendo de su eje, por lo cual, se opta por realizar el diseño de un solo vado, con una sección propuesta, la cual, pueda cumplir con la demanda, utilizando como referencia el mayor caudal acumulado que es de **0.1499 m³/s** correspondiente al eje **A**, (ver tabla 48, p.68).

Imagen 3. Resultado de Diseño de Vado en software Hcanales

Lugar:	<input type="text" value="Juigalpa, chontales"/>	Proyecto:	<input type="text" value="Vados"/>
Tramo:	<input type="text" value="B. Nuevo Amanecer"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="concreto"/>

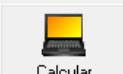





Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.1499"/>	m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="4"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.015"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.004"/>	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="0.2039"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="1.6811"/>	m
Área hidráulica (A):	<input type="text" value="0.1662"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.0989"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="1.6309"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.9017"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.9017"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="0.2453"/>	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

 <u>C</u> alcul	 <u>L</u> impiar Pantalla	 <u>I</u> mprimir	 <u>M</u> enú Principal	 <u>C</u> alculadora	 <u>R</u> eporte
--	--	--	--	---	---

Fuente: HCanales

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

A continuación, se detallan las conclusiones para conforme a cada uno de los objetivos propuestos.

- A través de un aforo vehicular se logró determinar que el TPDA es de 1,505 vehículos por día, para el cual 92.82 % corresponde a vehículos de pasajeros y un 7.18 % a vehículos de carga.
- Haciendo análisis con el comportamiento histórico de algunas variables que influyen en el crecimiento del tránsito se determinó una tasa anual de crecimiento del 2.91 %. Tomando en cuenta valores promedio de las tasas de PIB, crecimiento poblacional, consumo de combustible, crecimiento de parque vehicular y TPDA.
- Se calculó una cantidad total de ESAL's para el carril de diseño de 865,874.37
- A través de un levantamiento topográfico y posterior análisis en el software AUTODESK AUTOCAD CIVIL 3D, se logró generar la superficie del terreno natural en una vista de planta para cada eje, en los cuales, los ejes A y D, presentan curvas en su alineamiento, y los ejes B y C presentan tramos rectos. Además se lograron determinar sus respectivos perfiles longitudinales, en los cuales se evidencian los cambios de pendiente de cada tramo.
- Se determinó que los materiales que componen el sub suelo en la red de calles estudiadas son en su mayoría limos y arcillas, con clasificaciones A – 5 y A – 7 – 6, con un valor de CBR de diseño de 7.4% para un porcentaje de compactación de 95 % según proctor estándar, siendo este un material apto para sub rasante. Y los bancos de materiales cuya

clasificación de suelos son A – 2 – 6 con CBR de 60 % con 95 % de compactación (Liceo Agrícola) y A – 2 – 7 con CBR de 43 % con 95 % de compactación (El basurero), lo cual asegura que estos materiales se pueden usar como base y sub base respectivamente.

- El diseño el cual se llevó a cabo por el método AASHTO 93. A través de este se estableció un valor para el espesor de la carpeta de rodamiento asfáltica de 6 pulg (15 cm), para la base granular de 6 pulg (15 cm) sin necesidad de sub - base. Cabe destacar que el número estructural que aportan estas dos capas en conjunto es de 2.73 el cual es mayor que el valor que se necesita para proteger la sub – rasante (que es de 2.61).
- En el estudio hidrotécnico se lograron determinar los caudales de diseños para cada tramo según la dirección de su pendiente, los cuales serían de utilidad para las propuestas de dimensionamiento para las obras hidráulicas correspondientes a la vía, utilizando el método Racional y las estaciones meteorológicas más cercanas, en este caso ubicada en la ciudad de Juigalpa Chontales, con un periodo de retorno de 10 años.
- Luego se prosiguió a proponer el diseño de las obras menores de drenaje las cuales fueron, cunetas y vados, por medio del manual del MTI de estudios hidrotécnicos de drenaje menor, y la herramienta de Microsoft Excel, se logró el dimensionamiento de cunetas, dando como resultado una cuneta típica triangular con una profundidad de 0.30 mt, y para los vados se utilizó el software Hcanales, obteniendo un tipo de flujo sub crítico con una velocidad de 0.9017 m/s.

7.2. Recomendaciones

- Hacer mantenimientos periódicamente para que las calles puedan tener una mayor probabilidad de trabajar de manera óptima durante todo el periodo y reducir costos de rehabilitación y colocar señalizaciones para evitar accidentes de tránsito.

- Respetar las especificaciones técnicas del presente diseño a la hora de ejecutar el proyecto, en lo que se refiere a los espesores de las capas, y los bancos de materiales sugeridos (en función de los cuales se realizó el diseño) para que la estructura de pavimento responda de manera óptima a los agentes a los cuales será sometido durante su vida útil.

- Los materiales con los cuales se deben construir las obras de drenaje como cunetas y vados deben de tener una calidad que cumplan las especificaciones y normas nacionales (sección 701.2 y 913 de las normas NIC-2000). De tal forma que estas obras no puedan ser deteriorados a corto plazo y no se afecte el óptimo funcionamiento de la red de calles.

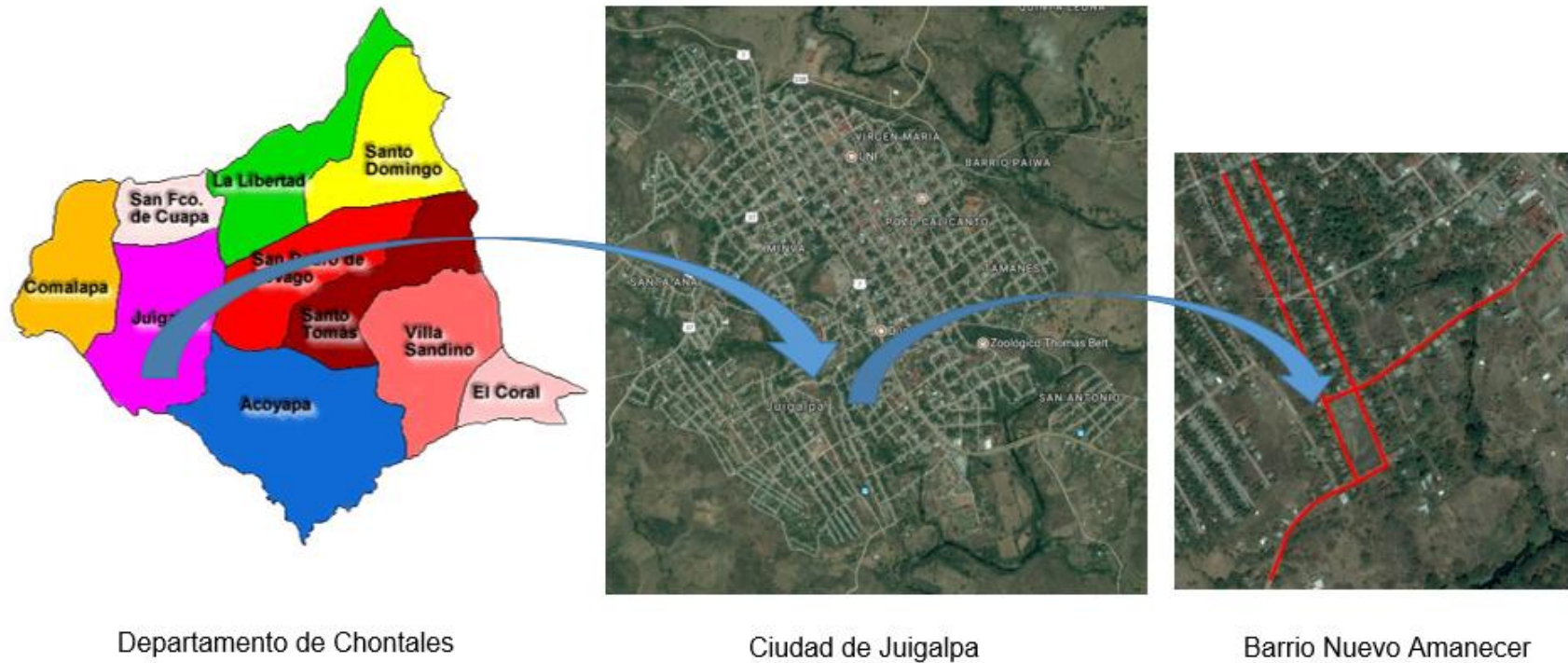
VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Juigalpa. (2016). *Estudio topográficos, geotécnicos, y de diseño de espesores de pavimento para el proyecto de 30 calles nuevas*. Juigalpa.
- ASTM. (2004). *Soils and rocks* .
- ASTM. (2004). *Soils and rocks D 4318 - 00*.
- Banco Central de Nicaragua BCN. (2017). *Estadísticas Macroeconómicas*.
- Bowles, J. (1981). *Manual de suelos de ingeniería*.
- Delgado, A. S. (2014). *Propiedades físicas y mecánicas del suelo*. Villavicencio, Meta.
- Instituto Nicaragüense de Energía. (2016). *Consumo mensual comparativos de los derivados del petróleo*.
- Instituto Nicaragüense de Información de Desarrollo. (2005). *Senso 2005*.
- Iturbide, I. J. (2002). *Manual centroamericano para el diseño de pavimentos*. Guatemala.
- Lazo, M. B. (2010). *Guía de laboratorio de Suelos I*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería, dpto de Tecnología y construcción.
- M, I. G. (2017). *Maestría en vías terrestres Modulo III, Diseño de pavimentos I*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería UNI.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2017). *Actualización de especificaciones generales, construcción de caminos, calles y puentes (NIC - 2000)*.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura. (2017). *Anuario del aforo*.
- SCT, S. d. (2016). *Manual de proyectos geométricos de carreteras*. Mexico.
- Secretaria de integración económica centroamericana SIECA. (2002). *Manual centroamericano de normas para el diseño de carreteras*.
- Ing. Oscar Cordo (2006). *Manual de diseño de pavimentos AASHTO 93 (traducción del libro original "AASHTO Desing procedures for new paviments")*

- Rafael Cal y Mayor R, y James Cárdenas G (2007). *Ingeniería de tránsito (8va Edición)*
- Dirección de Adaptación al Cambio Climático y Gestión Estratégica de Riesgo DACGER (2016). *Manual de consideraciones técnicas hidrológicas e hidráulicas para la infraestructura vial en centro américa*. El salvador
- Ministerio de Transporte e infraestructura (2008). *Manual para la revisión de diseño de pavimentos*. División general de planificación.
- Ministerio de Transporte e infraestructura (2008). *Manual para la revisión de estudios hidrotécnicos de drenaje menor*. División general de planificación.
- Ministerio de Transporte e infraestructura (2008). *Manual para la revisión de diseño geométrico*. División general de planificación.
- Ministerio de Transporte e infraestructura (2008). *Manual para la revisión de estudios topográficos*. División general de planificación.

ANEXOS

Imagen 4. Macro y Micro localización del sitio en estudio



Fuente: Google Maps

Tabla 52. Dependencia de estaciones



MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION
DIVISION ADMINISTRACION VIAL
OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS

DEPENDENCIA DE ESTACIONES
2017

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	Pkm	NOMBRE DEL TRAMO
300 Sébaco - Quebrada Honda	NIC-5	511	ECD	150.0	Santa Emilia - El Tuma
	NIC-5	510	ECS	295.0	El Naranjo - Emp. El Hormiguero
	NIC-5	512	ECS	330.0	Emp. El Hormiguero - Siuna (Inter NIC-21)
	NIC-7	709	ECD	72.9	Emp. Teustepe - Emp. Boaco
	NIC-7	703	ECD	103.0	Tecolostote - Juigalpa
	NIC-7	704	ECD	161.5	Juigalpa - Emp. Acoyapa ←
	NIC-7	705	ECD	166.1	Emp. Acoyapa - Santo Tomás
	NIC-7	706	ECD	170.0	Santo Tomás - Villa Sandino
	NIC-7	710	ECD	192.2	Villa Sandino - La Curva
	NIC-9	901	ECD	78.3	Emp. Boaco - Boaco
	NIC-13C	1303	ECS	250.0	Emp. Wanawana - San Pedro del Norte

Fuente: Anuario de aforos del Tráfico, MTI 2017

Tabla 53. Factores de ajuste para TPDA, MTI 2017



MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA
 DIVISION GENERAL DE PLANIFICACION
 DIVISION DE ADMINISTRACION VIAL
 OFICINA DE DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS



ESTACION DE MAYOR COBERTURA 300
SEBACO - QUEBRADA HONDA
FACTORES - 2017

Factores del tercer cuatrimestre del año septiembre - Diciembre

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	1.22	1.28	1.30	1.29	1.25	1.33	1.22	1.32	1.48	1.40	1.00	1.53	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30
Factor Semana	0.96	1.03	1.00	0.93	0.94	1.14	0.97	0.89	0.90	0.90	1.00	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.02
Factor Fin de Semana	1.10	0.93	1.01	1.23	1.20	0.76	1.07	1.44	1.38	1.37	1.00	1.32	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95
Factor Expansión a TPDA	1.04	1.05	1.04	1.05	1.11	1.27	1.05	0.96	1.03	1.17	1.00	1.15	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95

Fuente: Anuario de aforos del Tráfico, MTI 2017

Tabla 54. Tipología y descripción vehicular de los conteos de tráfico MTI

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

Fuente: Anuario de aforos del Tráfico, MTI 2017

Tabla 55. Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, Pt = 2. Ejes simples

Carga p/eje (Kips)	Numero Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
6	0,009	0,012	0,011	0,01	0,009	0,009
8	0,03	0,035	0,036	0,033	0,031	0,029
10	0,075	0,085	0,09	0,085	0,079	0,076
12	0,165	0,177	0,189	0,183	0,174	0,168
14	0,325	0,338	0,354	0,35	0,338	0,331
16	0,589	0,598	0,613	0,612	0,603	0,596
18	1	1	1	1	1	1
20	1,61	1,59	1,56	1,55	1,57	1,59
22	2,49	2,44	2,35	2,31	2,35	2,41
24	3,71	3,62	3,43	3,33	3,4	3,51
26	5,36	5,21	4,88	4,68	4,77	4,96
28	7,54	7,31	6,78	6,42	6,52	6,83
30	10,4	10	9,2	8,6	8,7	9,2
32	14	13,5	12,4	11,5	11,5	12,1
34	18,5	17,9	16,3	15	14,9	15,6
36	24,2	23,3	21,2	19,3	19	19,9
38	31,1	29,9	27,1	24,6	24	25,1
40	39,6	38	34,3	30,9	30	31,2
42	49,7	47,7	43	38,6	37,2	38,5
44	61,8	59,3	53,4	47,6	45,7	47,1
46	76,1	73	65,6	58,3	55,7	57
48	92,9	89,1	80	70,9	67,3	68,6
50	113	108	97	86	81	82

Fuente: Guía de diseño AASHTO – 93, p.22.

Tabla 56. Clasificación de Suelos según ASTM D – 3282 / AASHTO M – 145

CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos pasan la malla Nº 200)							MATERIALES LIMO-ARCILLA (Más del 35% pasan la malla Nº 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Análisis de mallas.(%) que pasa por la:											
Nº 10	50 máx.										
Nº 40	50 máx.	50 máx.	51 máx.								
Nº 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 máx.	36 máx.	36 máx.	36 máx.
Características de la fracción que pasa la malla Nº 40.	6 máx.		N.P								
Límite Líquido (%)				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 máx.
Índice de Plásticidad (%)				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo.	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos usuales de materiales constituyentes significativos	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena Fina	Grava y Arena limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Clasificación general como sub-rasante	Excelente a Bueno						Regular a Pobre				
<p>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.</p> <p>El LP del sub-grupo A-7-5 es igual o menor que el LL menos 30.</p> <p>El LP del sub-grupo A-7-6 es mayor que el LL menos 30.</p>											
$IG = (F-35) [0.2 + 0.005 (LL-40)] + 0.01 (F-15)(IP-10)$											

Fuente: Crespo Villalaz – Mecánica de suelos

Tabla 57. Reporte de laboratorio (1) (Granulometría, Límites de consistencia y clasificación de suelo)

REPORTE DE LABORATORIO														
RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS EN LA LINEA DE ESTUDIO														
PROYECTO		DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE 2 KILÓMETROS LINEALES DE CALLE POR EL MÉTODO AASHTO 93												
ESTACION	Muestra N°	NORMA: AASHTO T-88, ASTM D-422						NORMA AASHTO T89, T90, ASTM D-4318			SECCIÓN 3. CLASIFICACIÓN DE SUELO		DESCRIPCIÓN VISUAL	
		SECCIÓN 1. GRANULOMETRÍA (% que pasa)						SECCIÓN 2. LÍMITES DE CONSISTENCIA			NORMA: AASHTO M 145	ÍNDICE DE GRUPO		
		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	% <u>LL</u>	% <u>LP</u>				% <u>IP</u>
		19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2 mm	0.425 mm	0.075 mm						
0+200A	1	99.6%	97.2%	95.9%	91.3%	83.4%	66.1%	45.7%	41	32	9	A - 5	2	Limo arcilloso con poca arena de color café claro
	2	96.2%	92.5%	89.5%	81.0%	74.4%	61.9%	44.5%	41	32	9	A - 5	2	Limo arcilloso con poca arena de color café claro
0+400A	1	98.6%	97.2%	97.2%	90.6%	89.4%	85.2%	76.3%	64	26	38	A - 7 - 6	20	Arcilloso con limo de color gris oscuro
0+100B	1	98.6%	97.1%	94.1%	72.8%	68.1%	56.2%	44.0%	44	28	16	A - 7 - 6	4	Arcilloso con limo de color gris oscuro
	2	100.0%	96.5%	92.9%	73.3%	70.6%	59.9%	46.7%	44	28	16	A - 7 - 6	5	Arcilloso con limo de color

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 58. Reporte de laboratorio (2) (Granulometría, Límites de consistencia y clasificación de suelo)

REPORTE DE LABORATORIO														
RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS EN LA LINEA DE ESTUDIO														
PROYECTO		DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE 2 KILÓMETROS LINEALES DE CALLE POR EL MÉTODO AASHTO 93												
ESTACION	Muestra N°	NORMA: AASHTO T-88, ASTM D-422						NORMA AASHTO T89, T90, ASTM D-4318			SECCIÓN 3. CLASIFICACIÓN DE SUELO		DESCRIPCIÓN VISUAL	
		SECCIÓN 1. GRANULOMETRÍA (% que pasa)						SECCIÓN 2. LÍMITES DE CONSISTENCIA			NORMA: AASHTO M 145	ÍNDICE DE GRUPO		
		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	% LL	% LP				% IP
		19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2 mm	0.425 mm	0.075 mm						
0+400B	1	100.0%	97.8%	96.1%	89.3%	84.6%	67.4%	47.1%	41	33	8	A - 5	2	Limo arcilloso con poca arena de color café claro
	2	98.3%	96.2%	90.4%	65.7%	61.8%	54.7%	45.7%	53	29	24	A - 7 - 6	7	Arcilloso con limo de color gris oscuro
0+585B	1	99.1%	96.1%	94.2%	85.4%	77.8%	62.0%	44.5%	41	32	9	A - 5	2	Limo arcilloso con poca arena de color café claro
	2	97.6%	95.4%	93.7%	87.3%	81.7%	65.5%	46.6%	41	32	9	A - 5	2	Limo arcilloso con poca arena de color café claro
0+000C	1	97.4%	94.8%	94.1%	80.5%	74.7%	62.5%	50.4%	43	25	18	A - 7 - 6	6	Arcilloso con limo de color gris oscuro
	2	96.8%	94.4%	93.2%	80.1%	77.6%	64.5%	49.1%	45	35	10	A - 5	3	Limo arcilloso con poca

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 59. Reporte de laboratorio (3) (Granulometría, Límites de consistencia y clasificación de suelo)

REPORTE DE LABORATORIO														
RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS EN LA LÍNEA DE ESTUDIO														
PROYECTO		DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE 2 KIÓMETROS LINEALES DE CALLE POR EL MÉTODO AASHTO 93												
ESTACION	Muestra N ^o	NORMA: AASHTO T-88, ASTM D-422						NORMA AASHTO T89, T90, ASTM D-4318			SECCIÓN 3. CLASIFICACIÓN DE SUELO		DESCRIPCIÓN VISUAL	
		SECCIÓN 1. GRANULOMETRÍA (% que pasa)						SECCIÓN 2. LÍMITES DE CONSISTENCIA			NORMA: AASHTO M 145	ÍNDICE DE GRUPO		
		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	% L.L	% L.P				% I.P
		19 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2 mm	0.425 mm	0.075 mm						
0+200C	1	97.0%	95.2%	93.2%	86.2%	78.4%	60.9%	46.0%	41	29	12	A - 7 - 6	3	Arcilloso con limo de color gris oscuro
	2	99.4%	96.3%	93.5%	82.2%	76.0%	61.0%	46.4%	41	30	11	A - 7 - 6	3	Arcilloso con limo de color gris oscuro
0+400C	1	100.0%	92.3%	90.7%	84.2%	75.8%	57.9%	41.1%	41	32	9	A - 5	1	Limo arcilloso con poca arena de color café claro
	2	98.1%	97.5%	95.4%	87.9%	81.8%	66.0%	46.5%	42	35	7	A - 5	3	Limo arcilloso con poca arena de color café claro
0+100D	1	98.0%	95.9%	94.3%	85.6%	79.9%	62.0%	44.2%	42	29	13	A - 7 - 6	3	Arcilloso con limo de color gris oscuro
	2	99.3%	98.1%	96.3%	87.1%	81.3%	62.8%	39.6%	42	35	7	A - 5	1	Limo arcilloso con poca arena de color café claro
0+300D	1	93.3%	91.0%	89.1%	78.7%	73.7%	59.7%	43.5%	41	31	10	A - 5	2	Limo arcilloso con poca arena de color café claro
	2	93.3%	91.0%	89.1%	78.7%	73.7%	59.7%	43.5%	41	31	10	A - 5	2	Limo arcilloso con poca arena de color café claro

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 60. Resultados de límites de consistencia, muestra 19

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION			
LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELO			
"ING. Julio padilla M"			
Ensayo de límites de consistencia			
Proyecto			
Muestra Núm.	19	Ensayo Núm.	19
Sondeo Núm.	0+400C	Profundidad	1.20 m
Procedencia del material			
Prueba del material tamizado por la malla Núm. 40			
Operador	Rosario Alexander García Urbina		
Fecha	Mario José Castro Moreno		
Martes 15 de enero del 2019	Karen Jazmina Romero Lumbí		
Limite Liquido			
Núm. De golpes	15	23	29
Tara Núm.	A-19	A-47	B-204
Pw + Tara (grs) (1)	41.60	39.7	38.7
Ps + Tara (grs) (2)	35.6	34.5	34.1
Agua (grs)= (1)-(2) (3)	6.00	5.20	4.60
Peso de tara (4)	21.7	21.7	21.5
Peso seco (grs)= (2)-(4) (5)	13.9	12.8	12.6
% de agua= (3)/(5)*100 (6)	43.17	40.63	36.51
Factor (K) (7)	0.95	0.99	1.018
Limite Liquido= (6)*(K)	41.01	40.22	37.17
limite Plástico			
Tara Núm.	A-26	A-36	
Pw + Tara (grs) (8)	34.2	34.6	
Ps + Tara (grs) (9)	31.2	31.6	
Agua (grs)= (8)-(9) (10)	3	3	
Peso de tara (11)	21.6	21.7	
Peso seco (grs)= (9)-(11) (12)	9.6	9.9	
L. Plástico=(10)/(12)*100	31.25	30.30	
Limite Liquido (%)	Limite Plástico (%)	Índice Plástico (%)	
39.46	30.78	8.69	

Fuente: Formato Guía de laboratorio de Mecánica de suelos UNI

Tabla 61. Datos recopilados en el ensayo, Tipo de suelo: A-5

Ensayo Proctor Estándar				
Compactación de la muestra				
Prueba N°	1	2	3	4
N° de capas	3	3	3	3
N° de golpes por capa	25	25	25	25
W del molde + suelo compactado (kg)	5.807	5.956	6.161	6.075
W del molde (kg)	4.283	4.283	4.283	4.283
Peso del suelo compactado (kg)	1.524	1.673	1.878	1.792
Volumen del molde (m ³)	0.00094	0.00094	0.00094	0.00094
Densidad húmeda (kg/m ³)	1621	1780	1998	1906
Densidad seca (kg/m ³)	1489	1546	1633	1485

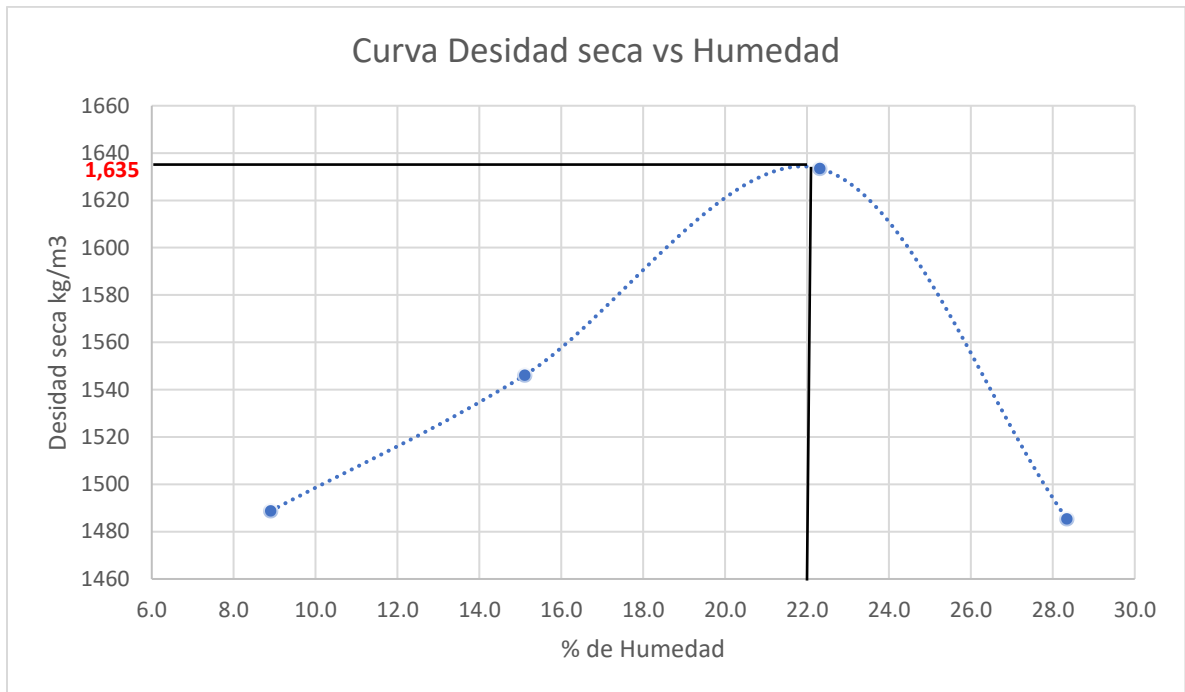
Fuente: Elaboración propia

Tabla 62. Contenido de humedad, Tipo de suelo: A-5

Contenido de humedad				
Prueba N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (g)	217.1	216.1	198	174.8
Tara + suelo seco (g)	202.8	193.3	170.6	145.3
W del agua (g)	14.3	22.8	27.4	29.5
W de la tara (g)	42.2	42.4	47.8	41.2
W de suelo seco (g)	160.6	150.9	122.8	104.1
Contenido de humedad (%)	8.9	15.1	22.3	28.3

Fuente: Elaboración por sustentantes

Gráfico 14. Determinación de la densidad máxima y humedad óptima de la línea, Tipo de suelo: A-5



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 63. Datos recopilados en el ensayo, Tipo de suelo; A-7-6

Ensayo de compactación estándar, tipo de suelo A-7-6				
Prueba N°	1	2	3	4
N° de capas	3	3	3	3
N° de golpes por capa	25	25	25	25
W del molde + suelo compactado (kg)	5.714	5.906	6.004	5.912
W del molde (kg)	4.283	4.283	4.283	4.283
Peso del suelo compactado (kg)	1.431	1.623	1.721	1.629
Volumen del molde (m³)	0.00094	0.00094	0.00094	0.00094
Densidad húmeda (kg/m³)	1522	1727	1831	1733
Densidad seca (kg/m³)	1343	1394	1382	1235

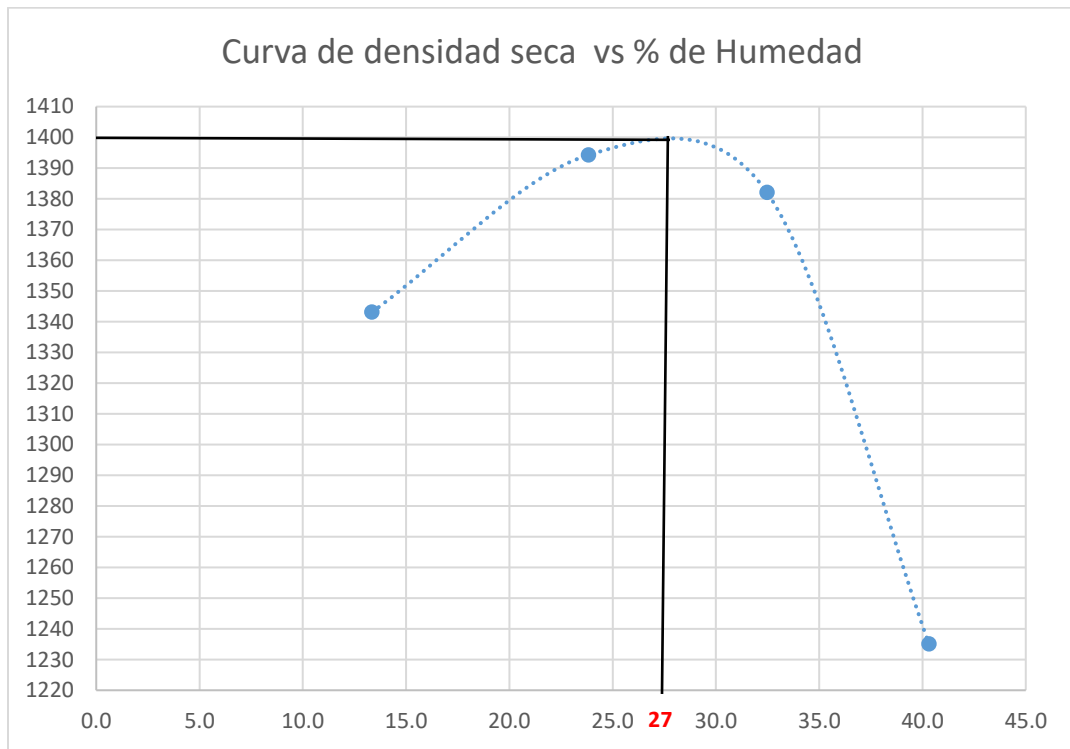
Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 64. Contenido de humedad, tipo de suelo A-7-6

Contenido de humedad, proctor estándar.				
Prueba N°	1	2	3	4
Tara N°	A-08	A-05	A-15	N-27
Tara + suelo húmedo (g)	158.8	182.5	215.5	228.1
Tara + suelo seco (g)	144.8	155.4	172.8	176.5
W del agua (g)	14	27.1	42.7	51.6
W de la tara (g)	39.9	41.7	41.3	48.5
W de suelo seco (g)	104.9	113.7	131.5	128
Contenido de humedad (%)	13.3	23.8	32.5	40.3

Fuente: Elaboración por sustentantes

Gráfico 15. Determinación de la densidad máxima y humedad óptima de la línea, Tipo de suelo: A-7-6



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 65. Datos de compactación para ensayo CBR, suelo: A-5

Compactación de la muestra				
Prueba N°	1	2	3	4
N° de capas	3	3	3	3
N°de golpes por capa	10	25	56	71
W del molde + suelo compactado (kg)	11.108	11.296	11.329	11.602
W del molde (kg)	7.198	7.113	7.145	7.116
Peso del suelo compactado (kg)	3.910	4.183	4.184	4.486
Volumen del molde (m3)	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
Densidad húmeda (kg/m3)	1700	1819	1819	1950
Densidad seca (kg/m3)	1409	1500	1541	1627

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 66. Contenido de humedad para ensayo CBR, Suelo A-5

Contenido de humedad				
Prueba N°	1	2	3	4
Tara N°	A-15	A-05	A-08	A-01
Tara + suelo húmedo (g)	184.9	212.2	222	201.4
Tara + suelo seco (g)	160.3	182.3	194	175
W del agua (g)	24.6	29.9	28	26.4
W de la tara (g)	41.2	41.8	39	42
W de suelo seco (g)	119.1	140.5	155	133
Contenido de humedad (%)	20.7	21.3	18.1	19.8

Fuente: Elaboración por sustentantes

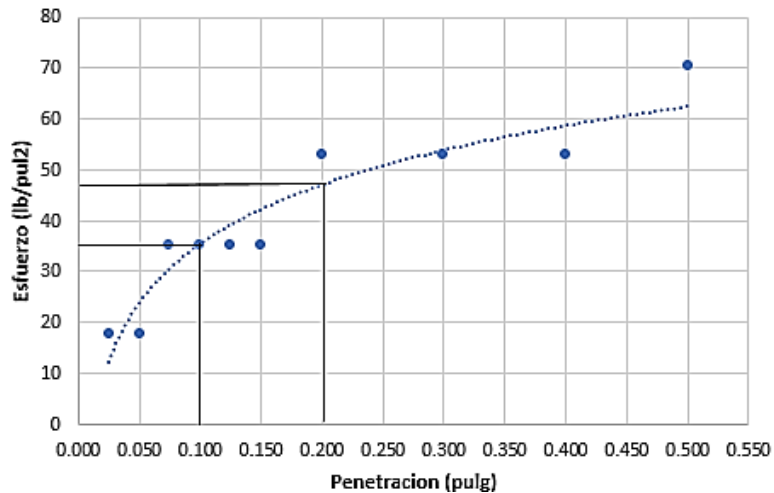
Tabla 67. Resultados de lectura para ensayo CBR con 10 golpes, Suelo: A-5

Resultado de lectura de ensayo CBR para 10 golpes						
Penetración mm	Penetración pulg	Dial	factor lb	carga en lb	área del pistón pulg ²	esfuerzo lb/pulg ²
0.63	0.025	1	52.95	52.95	3	17.65
1.27	0.050	1	52.95	52.95	3	17.65
1.90	0.075	2	52.95	105.9	3	35.3
2.54	0.100	2	52.95	105.9	3	35.3
3.17	0.125	2	52.95	105.9	3	35.3
3.81	0.150	2	52.95	105.9	3	35.3
5.08	0.200	3	52.95	158.85	3	52.95
7.62	0.300	3	52.95	158.85	3	52.95
10.16	0.400	3	52.95	158.85	3	52.95
12.70	0.500	4	52.95	211.8	3	70.6

Fuente: Elaboración por sustentantes

Gráfico 16. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR con 10 golpes, Suelo A-5

Grafica esfuerzo - penetracion



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 68. Resultados para CBR 10 golpes, Suelo: A-5

Cálculo de CBR 10 golpes			
Penetración pulg	esfuerzo en (lb/pulg ²)	esfuerzo patrón (lb/pulg ²)	C.B.R (%)
0.1	35	1000	3.5
0.2	46	1500	3.07

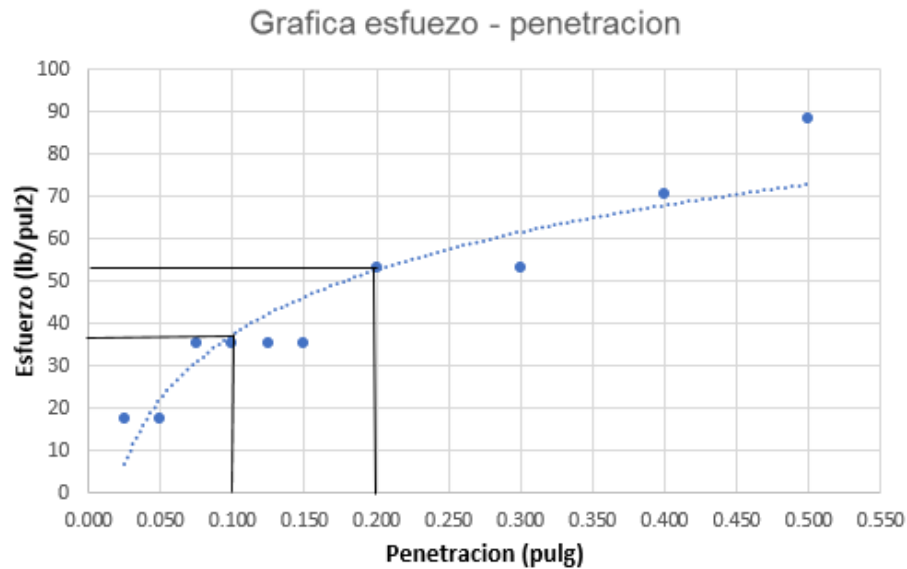
Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 69. Resultados de lectura para CBR con 25 golpes, Suelo: A-5

Resultado de lectura de ensayo CBR para 25 golpes						
Penetración mm	Penetración pulg	Dial	factor lb	carga en lb	Área del pistón pulg2	esfuerzo lb/pulg2
0.63	0.025	1	52.95	52.95	3	17.65
1.27	0.050	1	52.95	52.95	3	17.65
1.90	0.075	2	52.95	105.9	3	35.3
2.54	0.100	2	52.95	105.9	3	35.3
3.17	0.125	2	52.95	105.9	3	35.3
3.81	0.150	2	52.95	105.9	3	35.3
5.08	0.200	3	52.95	158.85	3	52.95
7.62	0.300	3	52.95	158.85	3	52.95
10.16	0.400	4	52.95	211.8	3	70.6
12.70	0.500	5	52.95	264.75	3	88.25

Fuente: Elaboración por sustentantes

Gráfico 17. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR 25 golpes, Suelo A-5



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 70. Resultados para CBR 25 golpes, Suelo: A-5

Cálculo de CBR 25 golpes			
penetración pulg	esfuerzo en (lb/pulg2)	esfuerzo patrón (lb/pulg2)	C.B.R (%)
0.1	37	1000	3.7
0.2	53	1500	3.53

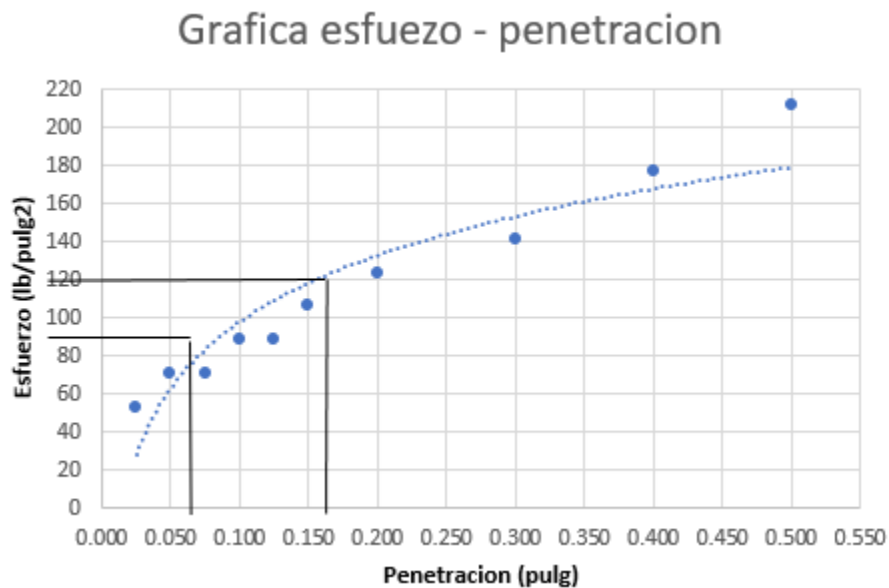
Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 71. Resultados de lectura para CBR con 56 golpes, Suelo: A-5

Resultado de lectura de ensayo CBR para 56 golpes						
Penetración mm	Penetración pulg	Dial	factor lb	carga en lb	área del pistón pulg ²	esfuerzo lb/pulg ²
0.63	0.025	3	52.95	158.85	3	52.95
1.27	0.050	4	52.95	211.8	3	70.6
1.90	0.075	4	52.95	211.8	3	70.6
2.54	0.100	5	52.95	264.75	3	88.25
3.17	0.125	5	52.95	264.75	3	88.25
3.81	0.150	6	52.95	317.7	3	105.9
5.08	0.200	7	52.95	370.65	3	123.55
7.62	0.300	8	52.95	423.6	3	141.2
10.16	0.400	10	52.95	529.5	3	176.5
12.70	0.500	12	52.95	635.4	3	211.8

Fuente: Elaboración por sustentantes

Gráfico 18. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR 56 golpes, Suelo A-5



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 72. Resultados para CBR 56 golpes, Suelo: A-5

Cálculo de CBR 56 golpes			
Penetración pulg	Esfuerzo en (lb/pulg ²)	Esfuerzo patrón (lb/pulg ²)	C.B.R (%)
0.1	100	1000	10
0.2	130	1500	8.67

Fuente: Elaboración por sustentantes

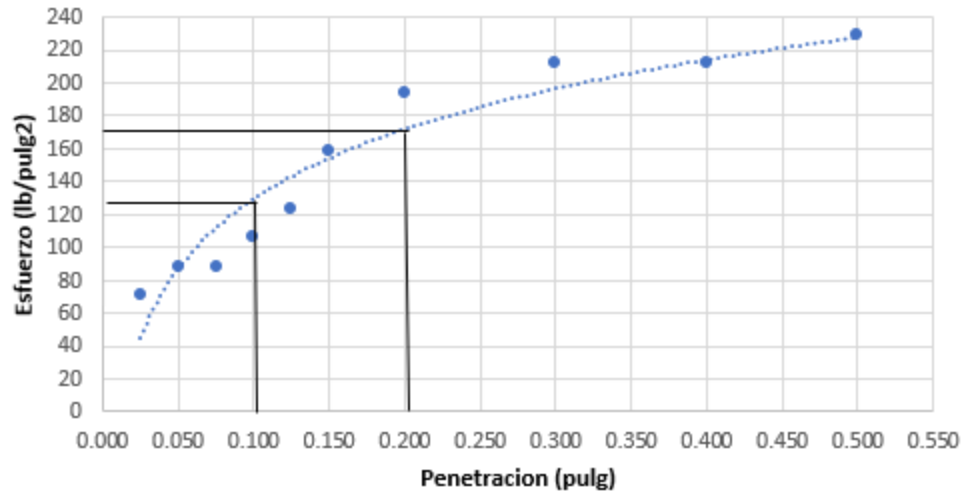
Tabla 73. Resultados de lectura para CBR con 71 golpes, suelo: A-5

Resultado de lectura de ensayo CBR para 71 golpes						
Penetración mm	Penetración pulg	Dial	Factor lb	Carga en lb	Área del pistón pulg ²	Esfuerzo lb/pulg ²
0.63	0.025	4	52.95	211.8	3	70.6
1.27	0.050	5	52.95	264.75	3	88.25
1.90	0.075	5	52.95	264.75	3	88.25
2.54	0.100	6	52.95	317.7	3	105.9
3.17	0.125	7	52.95	370.65	3	123.55
3.81	0.150	9	52.95	476.55	3	158.85
5.08	0.200	11	52.95	582.45	3	194.15
7.62	0.300	12	52.95	635.4	3	211.8
10.16	0.400	12	52.95	635.4	3	211.8
12.70	0.500	13	52.95	688.35	3	229.45

Fuente: Elaboración por sustentantes

Gráfico 19. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR 71 golpes, Suelo A-5

Grafica esfuerzo - penetracion



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 74. Resultados para CBR 71 golpes, Suelo: A-5

Cálculo de CBR 71 golpes			
Penetración pulg	Esfuerzo en (lb/pulg ²)	Esfuerzo patrón (lb/pulg ²)	C.B.R (%)
0.1	128	1000	12.8
0.2	170	1500	11.33

Fuente: Elaboración por sustentantes

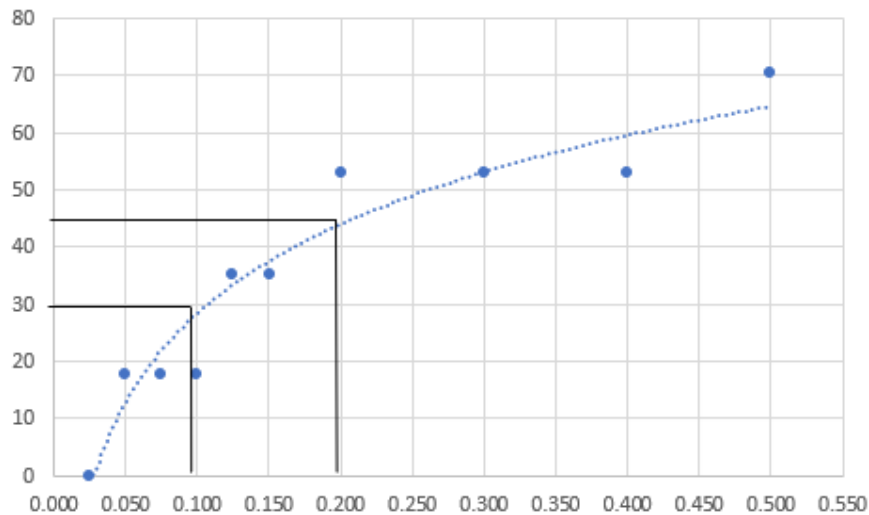
Tabla 75. Resultados de lectura para ensayo CBR con 15 golpes, Suelo: A-7-6

Resultado de lectura de ensayo CBR para 10 golpes						
Penetración mm	Penetración pulg	Dial	factor lb	carga en lb	área del pistón pulg ²	esfuerzo lb/pulg ²
0.63	0.025	0	52.95	0	3	0
1.27	0.050	1	52.95	52.95	3	17.65
1.90	0.075	1	52.95	52.95	3	17.65
2.54	0.100	1	52.95	52.95	3	17.65
3.17	0.125	2	52.95	105.9	3	35.3
3.81	0.150	2	52.95	105.9	3	35.3
5.08	0.200	3	52.95	158.85	3	52.95
7.62	0.300	3	52.95	158.85	3	52.95
10.16	0.400	3	52.95	158.85	3	52.95
12.70	0.500	4	52.95	211.8	3	70.6

Fuente: Elaboración por sustentantes

Gráfico 20. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR con 15 golpes, Suelo A-7-6

Grafica esfuerzo - penetracion



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 76. Resultados para CBR 15 golpes, Suelo: A-7-6

Cálculo de CBR 10 golpes			
Penetración pulg	esfuerzo en (lb/pulg ²)	esfuerzo patrón (lb/pulg ²)	C.B.R (%)
0.1	28	1000	2.8
0.2	43	1500	2.87

Fuente: Elaboración por sustentantes

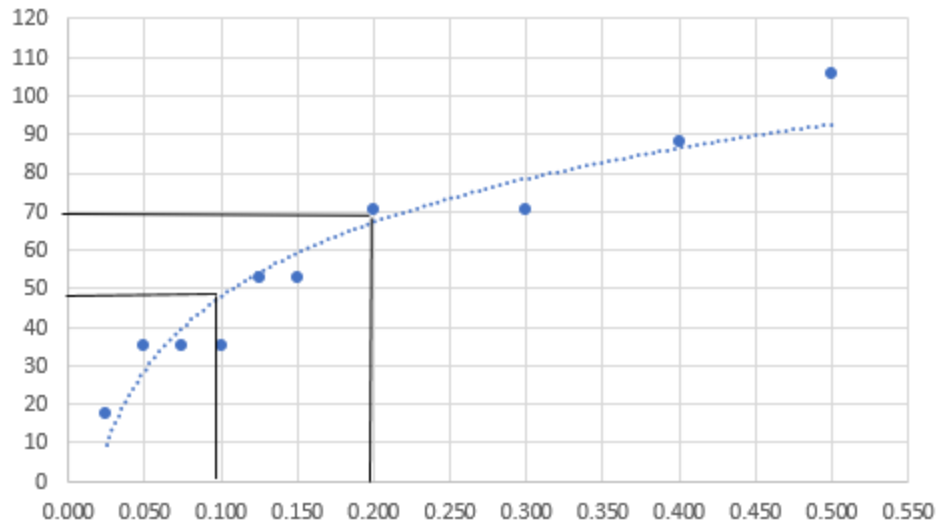
Tabla 77. Resultados de lectura para CBR con 36 golpes, Suelo: A-7-6

Resultado de lectura de ensayo CBR para 25 golpes						
Penetración mm	Penetración pulg	Dial	factor lb	carga en lb	Área del pistón pulg2	esfuerzo lb/pulg2
0.63	0.025	1	52.95	52.95	3	17.65
1.27	0.050	2	52.95	105.9	3	35.3
1.90	0.075	2	52.95	105.9	3	35.3
2.54	0.100	2	52.95	105.9	3	35.3
3.17	0.125	3	52.95	158.85	3	52.95
3.81	0.150	3	52.95	158.85	3	52.95
5.08	0.200	4	52.95	211.8	3	70.6
7.62	0.300	4	52.95	211.8	3	70.6
10.16	0.400	5	52.95	264.75	3	88.25
12.70	0.500	6	52.95	317.7	3	105.9

Fuente: Elaboración por sustentantes

Gráfico 21. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR 36 golpes, Suelo A-7-6

Grafica esfuerzo - penetracion



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 78. Resultados para CBR 36 golpes, Suelo: A-7-6

Cálculo de CBR 25 golpes			
penetración pulg	esfuerzo en (lb/pulg2)	esfuerzo patrón (lb/pulg2)	C.B.R (%)
0.1	48	1000	4.8
0.2	68	1500	4.53

Fuente: Elaboración por sustentantes

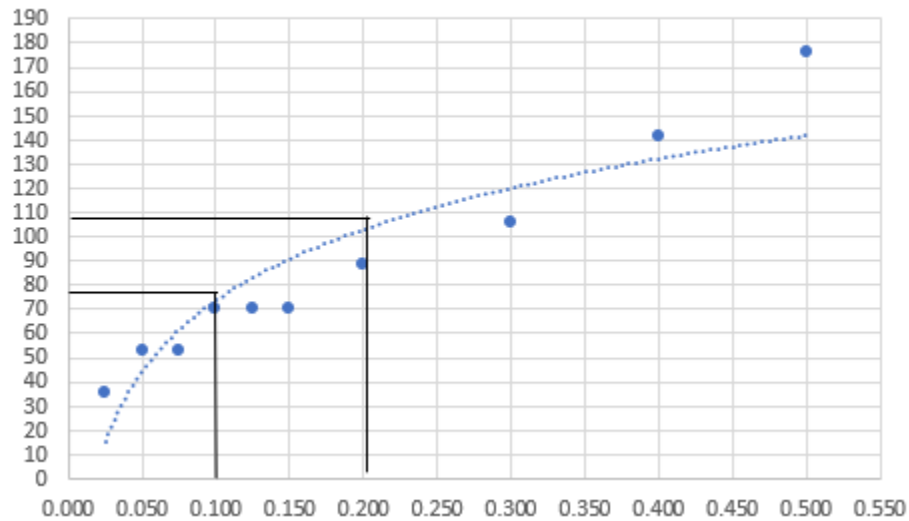
Tabla 79. Resultados de lectura para CBR con 71 golpes, Suelo: A-7-5

Resultado de lectura de ensayo CBR para 56 golpes						
Penetración mm	Penetración pulg	Dial	factor lb	carga en lb	área del pistón pulg ²	esfuerzo lb/pulg ²
0.63	0.025	2	52.95	105.9	3	35.3
1.27	0.050	3	52.95	158.85	3	52.95
1.90	0.075	3	52.95	158.85	3	52.95
2.54	0.100	4	52.95	211.8	3	70.6
3.17	0.125	4	52.95	211.8	3	70.6
3.81	0.150	4	52.95	211.8	3	70.6
5.08	0.200	5	52.95	264.75	3	88.25
7.62	0.300	6	52.95	317.7	3	105.9
10.16	0.400	8	52.95	423.6	3	141.2
12.70	0.500	10	52.95	529.5	3	176.5

Fuente: Elaboración por sustentantes

Gráfico 22. Gráfico esfuerzo – penetración para CBR 71 golpes, Suelo A-7-6

Grafica esfuerzo - penetracion



Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 80. Resultados para CBR 71 golpes, Suelo: A-7-6

Cálculo de CBR 56 golpes			
Penetración pulg	Esfuerzo en (lb/pulg ²)	Esfuerzo patrón (lb/pulg ²)	C.B.R (%)
0.1	72	1000	7.2
0.2	102	1500	6.80

Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 81. Clasificación de valor de soporte relativo en estructura de pavimento

CBR	CLASIFICACION	USOS	AASHTO
0-3	Muy pobre	Sub-rasante	A5, A6, A7
3-7	Pobre a regular	Sub-rasante	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, sub-base	A1, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	A1-a, A2-4, A3

Fuente Bowles, J. (1981). Manual de laboratorio de suelos de Ingeniería. P.19

Tabla 82. Especificaciones de los materiales empleados en capas de sub – rasante

N°	Propiedad	Limite	Norma de Prueba
1	Limite Liquido	30% Máximo	AASHTO T89
2	Índice Plástico	6% Máximo	AASHTO T90
3	Compactación	95% Mínimo de su peso Volumétrico seco máximo Proctor modificado T180	AASHTO T238

Fuente: NIC. 2000, sección 302.02. Artículo 1003.21

Tabla 83. Especificaciones de los materiales utilizados en la Base

	Tipo 1	Tipo 2
- Graduación	Cuadro 1003.10	Cuadro 1003.10
- Desgaste, Los Angeles	máx. 50%	máx. 50%
- Valor de Trituración del Agregado (ASTM D 2940-71 T)	máx. 35%	máx. 35%
- Índice de Plasticidad	máx. 10	máx. 15
- Módulo de Plasticidad	máx. 200	máx. 400
- CBR al 95% de AASHTO Modificado (AASHTO T 180) y 4 días de saturación.	mín. 80%	mín. 60%
- 10% de finos (Húmedo)	mín. 50 kN	mín. 50 kN


Fuente: Nic 2000; sección 302.02. Artículo 1003.09 (a y b). Artículo 1003.23 II (b)

Tabla 84. Márgenes de valores de graduación aceptables para base según la NIC-2000

Tamaño del Tamiz	Designación de la Graduación					
	A (Subbase)	B (Subbase)	C (Base)	D (Base)	E (Base)	F Superficie
63 mm	100 ⁽¹⁾					
50 mm	97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾			
37.5 mm		97-100 ⁽¹⁾	97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾		
25.0 mm	65-79(6)			97-100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾	100 ⁽¹⁾
19.0 mm			67-81 (6)		97-100 ⁽¹⁾	97-100 ⁽¹⁾
12.5 mm	45-59(7)					
9.5 mm				56-70(7)	67-79(6)	
4.75 mm	28-42(6)	40-60(8)	33-47(6)	39-53(6)	47-59(7)	41-71(7)
425 µm	9-17(4)		10-19(4)	12-21(4)	12-21(4)	12-28(5)
75 µm	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: NIC-2000, sección 1003, cuadro 1003-3

Tabla 85. Datos de granulometría del banco de material (Parte gruesa, Liceo agrícola)

Proyecto:		30 Calles Nuevas de la Ciudad de Juigalpa, en las Zonas 2, 6, 7, 8						
Dueño del proyecto:		Alcaldía Municipal de Juigalpa		Banco:	Liceo Agrícola			
Dueño del banco:		Alcaldía Municipal de Juigalpa	Fecha:	08/07/2016	Muestra:			2
Clasificación visual:		Grava con limo arcilloso de baja plasticidad color gris con pintas amarillas.			Coordenada X	0678758	CLASIF. SUCS	GW-GM
					Coordenada Y	1336518		
ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS						CONTENIDO DE HUMEDAD		
ASTM D-422 AASHTO T-88						ASTM D - 2216		
Tamices		Peso Retenido Parcial (gms)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa la malla	Número de la tara	C-9	
Pulgadas	mm					Peso de tara	0	
3"	75	0	0	0	100	Peso de tara + material húmedo	223.6	
2 1/2"	63	0	0	0	100	Peso de tara + material seco	203.7	
2"	50	1670	18	18	82	Peo de material húmedo	223.6	
1 1/2"	37.5	875	9	27	73	Peso de material seco	203.7	
1"	25.0	1285	14	41	59	Peso del agua	19.9	
3/4"	19.0	931	10	51	49	% de humedad	9.8	
1/2"	12.5	950	10	61	39	Lavado		
3/8"	9.5	506	5	67	33	Peso Seco (grs)	244	
No. 4	4.75	1033	11	78	22	Peso seco lavado (grs)	154.8	
Pasa N° 4		2047	22	100		Diferencia (grs)	89.2	
Suma		9297	100					

Fuente: Estudios topográficos, geotécnicos y de diseño de espesores de pavimento para el proyecto de 30 calles nuevas

Tabla 86. Datos de granulometría del banco de material (Parte gruesa, El basurero)

Proyecto:	30 Calles Nuevas de la Ciudad de Juigalpa, en las Zonas 2, 6, 7, 8							
Dueño del proyecto:	Alcaldía Municipal de Juigalpa		Banco:	El Basurero				
Dueño del banco:	Alcaldía Municipal de Juigalpa	Fecha:	08/07/2016	Muestra:				3
Clasificación visual:	Grava con limo arcilloso y arena de baja plasticidad color café claro.			Coordenada X	0679267	CLASIF. SUCS	GW-GM	
				Coordenada Y	1335286			
ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS						CONTENIDO DE HUMEDAD		
ASTM D-422 AASHTO T-88						ASTM D - 2216		
Tamices		Peso Retenido Parcial (gms)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa la malla	Número de la tara	p-7	
Pulgadas	mm					Peso de tara	0	
3"	75	0	0	0	100	Peso de tara + material húmedo	223.6	
2 1/2"	63	0	0	0	100	Peso de tara + material seco	207.6	
2"	50	1400	10	10	90	Peo de material húmedo	223.6	
1 1/2"	37.5	1440	10	21	79	Peso de material seco	207.6	
1"	25.0	1430	10	31	69	Peso del agua	16	
3/4"	19.0	1305	9	40	60	% de humedad	7.7	
1/2"	12.5	1415	10	50	50	Lavado		
3/8"	9.5	940	7	57	43	Peso Seco (grs)	331.9	
No. 4	4.75	1835	13	71	29	Peso seco lavado (grs)	254.4	
Pasa N° 4		4082	29	100		Diferencia (grs)	77.5	
Suma		13847	100					

Fuente: Estudios topográficos, geotécnicos y de diseño de espesores de pavimento para el proyecto de 30 calles nuevas

Tabla 87. Datos de granulometría del banco de material (Parte fina, Liceo agrícola)

Tamices		Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa la malla	FRACCIONES DE MUESTRA		
Pulgadas	mm					GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)
No. 10	2.00	75.5	7	85	15			
No. 40	0.425	66.2	6	91	9	78	14	8
No. 200	0.075	13.1	1	92	8			
Pasa N° 200		89.2	8	100		Realizado por	Yeziel Ramírez G.	
Suma		244.0	22			Revisado por	Ing. Osvaldo Jirón	

Fuente: Estudios topográficos, geotécnicos y de diseño de espesores de pavimento para el proyecto de 30 calles nuevas

Tabla 88. Datos de granulometría del banco de material (Parte fina, El basurero)

Tamices		Peso Retenido Parcial (grs)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa la malla	FRACCIONES DE MUESTRA		
Pulgadas	mm					GRAVA (%)	ARENA (%)	FINOS (%)
No. 10	2.00	102.1	9	80	20			
No. 40	0.425	94.2	8	88	12	71	22	7
No. 200	0.075	58.1	5	93	7			
Pasa N° 200		77.5	7	100		Realizado por	Yeziel Ramírez G.	
Suma		331.9	29			Revisado por	Ing. Osvaldo Jirón	

Fuente: Estudios topográficos, geotécnicos y de diseño de espesores de pavimento para el proyecto de 30 calles nuevas

Tabla 89. Espesores mínimos de concreto asfáltico y base granular

Número de ESALs	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.5 cm	10 cm
50,000 - 15,000	5.0 cm	10 cm
150,000 - 500,000	6.5 cm	10 cm
500,000 - 2,000,000	7.5 cm	15 cm
2,000,000 - 7,000,000	9.0 cm	15 cm
Más de 7,000,000	10.0 cm	15 cm

Fuente: Guía para el Diseño de Estructura de pavimento, AASHTO, 1993, p.175.

Tabla 90. Coeficientes de escorrentía usados en el método racional

Coeficientes de escorrentía para ser usados en el método racional							
Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2 - 7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2 - 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0 - 2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0 - 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48

Fuente: Manual para la revisión de estudios Hidrotécnicos de drenaje menor (MTI)

Fotografía 3. Entrada a la calle hacia el Rastro Municipal (Estación 0+080 A)



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 4. Estación 0+130 A



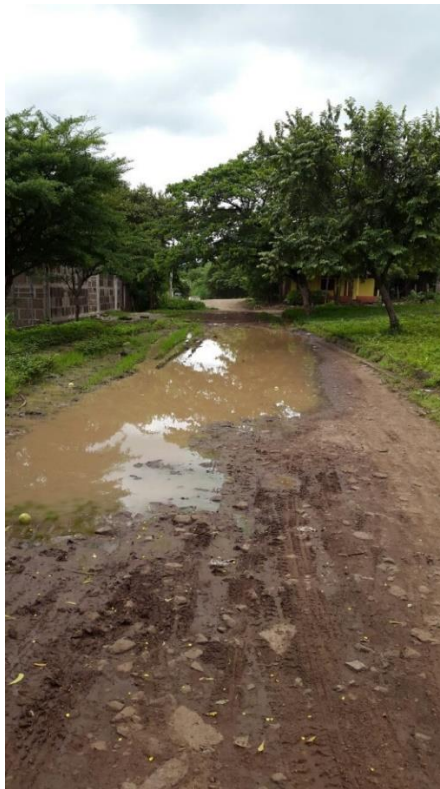
Fuente: Elaboración propia

Fotografía 5. Estación 0+400 A



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 6. Estación 0+010 D



Fuente: Elaboración propia

Tabla 91. Límites de resistencia de los sondeos

CBR encontrado a nivel de Sub - Rasante	Número de valores iguales o mayores	% de Valores Iguales o mayores
4.8	10	100%
10	5	50 %.

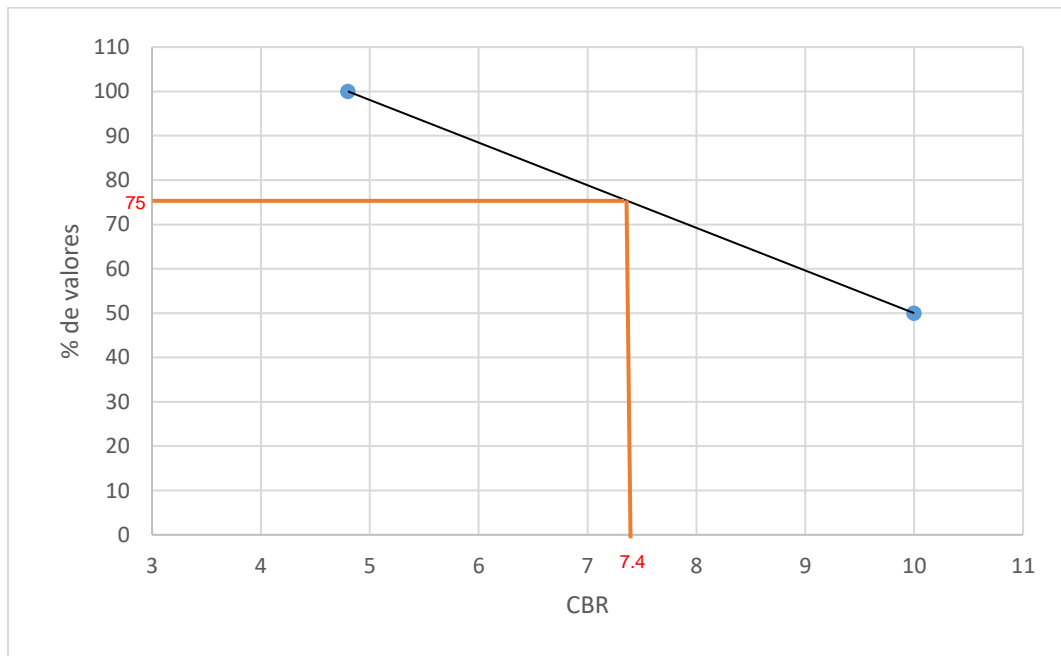
Fuente: Elaboración por sustentantes

Tabla 92. Valor del percentil por nivel del tránsito

Nivel de tránsito (ESAL´s)	Valor percentil para diseño de subrasante
< 10,000	60
10,000 - 1,000,000	75
> 1,000,000	87.5

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el diseño geométrico de Carreteras (SIECA), cap.7, p.29.

Gráfico 23. Selección de CBR para la subrasante



Fuente: Elaboración por sustentantes