

Facultad de Tecnología de la Construcción

DISEÑOS DE ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ARTICULADO (ADOQUINADO) POR EL METODO AASHTO 93 DE 652 METROS EN EL BARRIO SAN PEDRO, MUNICIPIO EL RAMA, UBICADO EN EL DEPARTAMENTO ZELAYA CENTRAL

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero civil

Elaborado por:

Tutor:

Br. Randy Ury
Moncada Salazar
Carnet: 2018-0803U

Br. Kelton Almir
Chacón Colindres
Carnet: 2018-0436I

Ing. Keving Roberto
Sanchez Rocha.

26 de septiembre de 2023
Managua, Nicaragua

DEDICATORIA

A Dios: Por guiarme por el camino correcto, porque nunca me ha abandonado, gracias por haberme dado una excelente familia, por permitirme conocer excelentes profesores y amigos y porque has llenado mi corazón con la luz de tu espíritu dejando que cumpla esta meta.

A mi madre: Dedico con todo mi corazón este trabajo monográfico a mi madre, Alma Colindres, pues sin su apoyo incondicional de madre no lo habría logrado. Tu bendición a diario y a lo largo de mi vida me protege y me lleva por el camino del bien. Por eso y más, te doy este trabajo como ofrenda por tu paciencia y amor madre mía.

A mi padre: Por darme la vida y por enseñarme a vivir, a trabajar duro para conseguir nuestros sueños, y a no dejar que nadie nos haga sentir menos.

A mi mamita: Por ser el principal cimiento de mi vida, mi mamita, Modesta Mairena, por darme siempre los consejos necesarios, por enseñarme a confiar mis proyectos y colocarlos en las manos de Dios, que es el único que puede hacer realidad nuestros sueños con trabajo arduo.

A mi novia: Katerin Barrera por estar siempre a mi lado apoyándome en cada una de mis etapas, por darme su amor incondicional, por darme el aliento necesario en los momentos que sentía que no podía más.

Kelton Almir Chacón Colindres

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por todo lo que me ha permitido llegar a ser, gracias a mis padres por estar apoyándome en todo momento y nunca desampararme en los momentos más difíciles de mi vida, en especial gracia a mi mamá y a mi mamita, por ser las principales mujeres que me forjaron mi caminar, gracias a mi novia, quien día a día ha estado apoyándome en todo este proceso, gracias a mi tutor Ing. Keving Sánchez por estar frente a frente en este trabajo monográfico, e infinitas gracias a mi compañero Randy Moncada por permitirme culminar esta etapa con su apoyo. Muchas Gracias.

Kelton Almir Chacón Colindres

DEDICATORIA

A Dios: Que ha sido ese ser espiritual que siempre me ha acompañado, en el que recibido fortalezas en los momentos de debilidad. Que me regaló la oportunidad de haber estudiado en esta grandiosa universidad.

A mis padres: Por ser esas dos personas maravillosas que me han dado apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, educándome para mantenerme en el camino correcto, recordándome que todo aquello que nos planteamos lo podemos lograr con disciplina y temor de Dios.

A mis hermanos: Que siempre me han animado a continuar hasta llegar a la meta, recordándome lo valioso que somos tanto para nuestra familia, así como la para la sociedad.

Randy Ury Moncada Salazar

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, al creador, que por su infinita misericordia me ha permitido llegar hasta etapa de mi preparación académica, a mis padres que me han brindado todo el apoyo que he necesitado para ir avanzando en cada etapa de mis estudios universitarios. Al tutor Ing. Kevin Sánchez que ha sido un pilar en el que me he auxiliado para el desarrollo de este trabajo monográfico. A mi compañero Kelton Chacon Colindres con el que he compartido muchas experiencias y ha incidido directamente en lograr esta meta.

Randy Ury Moncada Salazar

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo monográfico está representado por 5 capítulos en los cuales se da un breve resumen ejecutivo de cada uno de ellos.

Capítulo I: Generalidades

En el capítulo I se aborda los aspectos básicos del trabajo monográfico, como una introducción del proyecto y su ubicación del sitio donde se hizo el estudio para este documento.

Capítulo II: Estudio de Tránsito

Se realizó el aforo vehicular, el cual permite presentar el estudio de tránsito necesario para determinar el número ESAL's, describe la recopilación de datos, clasificación de vehículos, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, procesamiento de la información, tasas de crecimiento, periodo de diseño, proyección del tránsito, tránsito inicial en el año cero, factor de crecimiento, factor de distribución direccional, factor carril, tránsito en el año n y número de año en el periodo de diseño. Asimismo, se presentan los días y horas en los cuales se hizo el aforo vehicular para este documento.

Capitulo III: Estudio de Suelos.

Se hizo un sondeo sobre la vía del proyecto para lograr llegar a determinar las características físicas y mecánicas que tiene el suelo existente del proyecto, con el fin de realizarles ensayos de laboratorios normados para fines de carreteras tales como: humedad, granulometría, límites de consistencia, proctor estándar y proctor modificado, CBR y límite de consistencia para estabilización de base con suelo cemento. Cabe recalcar que cada uno de estos ensayos se les realizo a los dos tipos de suelos del proyecto, tanto como material de sitio como material de banco de préstamo.

Capitulo IV: Diseño de estructura de pavimento

Este capítulo comprende el diseño de pavimento articulado, de forma manual, el cual permite el cálculo de los espesores de las capas que conforman la estructura de pavimento propuesta para este diseño. A la vez se detalla el procedimiento para seleccionar los parámetros de diseño necesarios tales como: ejes

equivalentes de diseño, confiabilidad, serviciabilidad, desviación estándar y el CBR de diseño de la zona en estudio y del banco de materiales, para determinar el módulo resiliente de la subrasante y el valor de los coeficientes estructurales.

Capítulo V: Costo y Presupuesto

Este capítulo consiste en el cálculo de las cuantificaciones de cantidades de obras del proyecto y sus costos de ejecución, el cual se basa en el diseño presentado en este documento, se toman en cuenta algunas especificaciones técnicas establecidas en la norma NIC-2019 y en el catálogo de etapas y sub etapas proporcionado por el FISE. Este capítulo es desarrollado con el software Microsoft Excel.

Conclusiones y Recomendaciones

Se presentan las conclusiones y algunas recomendaciones de este documento en base a todos los ensayos realizados y cálculos obtenidos que conforman este presente documento para brindar una mejor calidad para fines de diseño y ejecución del mismo proyecto.

Anexos

Consta de esquemas, tablas, fotografías que sirven como complemento para una mejor comprensión al lector sobre el desarrollo de este documento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General.	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5

CAPITULO II: ESTUDIO DE TRÁNSITO

2.1 Introducción	6
2.2 Volumen de tránsito	6
2.2.1 Volumen de tránsito absoluto o total	6
2.2.2 Volúmenes de tránsito promedio diarios:	7
2.2.3 Vector correspondencia	7
2.2.4 Tipos de estaciones de conteo.....	7
2.2.5 Aforo vehicular	8
2.2.6 Factores de ajuste	8
2.2.7 Tránsito promedio diario anual histórico.....	9
2.2.8 Tasa de crecimiento.....	9
2.2.9 Media geométrica	9
2.2.10 Producto interno bruto (PIB).....	9
2.2.11 Crecimiento poblacional	9
2.2.12 Tipología vehicular	9
2.2.13 Tránsito proyectado	10
2.2.14 Tránsito de diseño	10
2.2.15 ESAL de diseño	11
2.3 Procesamiento de datos.....	11
2.3.1 Elección de estación de mayor cobertura relacionada al flujo vehicular que recorre el barrio San Pedro	13
2.3.2 Selección de estación de corta duración relacionada al flujo vehicular que recorre el barrio San Pedro	15
2.3.3 Factores de ajuste empleados para cálculo de TPDA	17

2.3.4 Cálculo de TPDA	17
2.4 Proyección de tránsito futuro.....	19
2.4.1 Producto interno bruto.....	19
2.4.2 TPDA histórico del tramo Nueva Guinea – Los Ángeles – Nueva Holanda	21
2.4.3 Crecimiento Poblacional	23
2.4.4 Tasa de diseño	25
2.5 Tránsito de diseño.....	25
2.5.1 Periodo de diseño	25
2.5.2 Tránsito proyectado para el año 2037	26
2.5.3 Factor direccional (FD).....	27
2.5.4 Factor de distribución carril (Fc´).....	27
2.5.5 Factor crecimiento (FC)	27
2.5.6 Tránsito de diseño	28
2.6 Carga de eje equivalente simple (ESAL)	29
2.6.1 Equivalencia de carga (LEF)	29
2.6.2 Interpolaciones en factores equivalente de carga	31

CAPITULO III: ESTUDIO DE SUELOS

3.1 Introducción	33
3.2 Clasificación de Suelos	34
3.2.1 Clasificación de Suelos AAHSTO:.....	34
3.3 Trabajos de Campo.....	35
3.3.1 Sondeos Manuales en La Línea del Proyecto	35
3.4 Trabajo de Laboratorio	36
3.4.1 Granulometría.....	37
3.4.2 Límites de Atterberg.....	39
3.4.3 Estabilización del Material del Banco de Préstamo	44
3.4.4 Ensayo Proctor Estándar.	48
3.4.5 Ensayo Proctor Modificado.	49
3.4.6 Ensayo de Valor Soporte California (CBR).....	51

CAPITULO IV: DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

4.1 Introducción	57
4.2 Elementos del pavimento articulado.....	57
4.3 Variables de diseño.....	58
4.3.1 Confiabilidad (R)	59
4.3.2 Desviación estándar normal (Zr)	59
4.3.3 Desviación estándar combinada (So).....	60
4.3.4 Índice de Serviciabilidad	61
4.3.5 Pérdida de serviciabilidad	61
4.3.6 Módulo resiliencia (Mr).....	61
4.3.7 Coeficiente de drenaje	62
4.3.8 Coeficiente estructural de pavimento articulado (adoquín)	63
4.3.9 Coeficiente estructural de la base que se estabilizó con cemento	63
4.3.10 Número estructural	64
4.4 Cálculo de espesores de estructura de pavimento	66
4.5 Comprobación de cálculo espesor de base	67

CAPITULO V: COSTO Y PRESUPUESTO

5.1 Introducción.....	69
5.2 Conceptos básicos.....	69
5.2.1 Take off.....	69
5.2.2 Costo directo.....	69
5.2.3 Costo indirecto	70
5.2.4 Presupuesto.....	70
5.2.5 Costo y presupuesto de obras civiles.....	70
5.2.6 Especificaciones técnicas	71
5.2.7 Estructura de desglose de trabajo.....	71
5.3 Cantidades de obras para el adoquinado en el barrio San Pedro.....	75
5.4 Presupuesto del Adoquinado en el Barrio San Pedro.....	79
5.5 Monto total del proyecto del adoquinado	86
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	88

BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXOS.....	90

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Macro localización	2
Imagen 2: Macro localización	2
Imagen 3. Ubicación del lugar de aforo	12
Imagen 4: Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura.....	14
Imagen 5: Porcentajes de vehículos livianos, de pasajeros y pesados de los tramos: El Rama – Emp. Las Lapa y Nueva-Guinea–Los Ángeles–Nueva-Holanda	15
Imagen 6: Dependencia entre EMC y ECS	16
Imagen 7. Factores del segundo cuatrimestre del 2020 de EMC 1802 San Marcos – Masatepe.	17
Imagen 8. PIB y su tasa de crecimiento de Nicaragua del año 2006 al 2022	20
Imagen 9: Estación de corta duración asociada al flujo vehicular de la zona.....	22
Imagen 10. Períodos de diseño.....	25
Imagen 11. Factor direccional	27
Imagen 12. Factor distribución carril.....	27
Imagen 13. Factores equivalentes de carga de ejes simples.....	30
Imagen 14. LEF interpolados	31
Imagen 15: Ensayes de suelos requeridos para la línea del proyecto	34
Imagen 16: Análisis granulométrico para material de sitio.	37
Imagen 17: Análisis granulométrico para el material de banco.	38
Imagen 18: Limite líquido y limite plástico e índice de plasticidad para material del sitio.....	41
Imagen 19: Clasificación de suelo del material del sitio	42
Imagen 20: Limite líquido y limite plástico e índice de plasticidad para material del banco.	43

Imagen 21: Clasificación de suelo de banco de materiales	44
Imagen 22: Índice de plasticidad para estabilización con el 8 % de cemento. ...	46
Imagen 23: Datos del ensaye Proctor Estándar	49
Imagen 24: Datos del ensaye Proctor Modificado.	51
Imagen 25: Clasificación de CBR según su uso	52
Imagen 26: Datos del ensaye CBR para el material del sitio.	53
Imagen 27: Resultados del ensaye CBR para el material del sitio.	54
Imagen 28: Datos del ensaye CBR para el material de banco.	55
Imagen 29: Resultados del ensaye CBR para el material de banco.	56
Imagen 30. Recomendaciones de confiabilidad según la clasificación funcional.	59
Imagen 31. Valores de Zr para cada porcentaje de confiabilidad	60
Imagen 32. So recomendado para pavimentos	60
Imagen 33. Coeficientes de drenajes para pavimentos flexibles	62
Imagen 34. Variación en el coeficiente estructural de la capa de base estabilizada	63
Imagen 35: Determinación de número estructural de la base empleando ábaco	65
Imagen 36. Espesores mínimos para base granular por rango de ESALs.....	67
Imagen 37. Capas de la estructura de pavimento	68
Imagen 38: Catálogo de etapas y subetapas del FISE	71
Imagen 39. Tipología y descripción vehicular	ii
Imagen 40: Formato de aforo vehicular	iii
Imagen 41: Curva granulométrica para material de suelo de sitio	viii
Imagen 42: Curva granulométrica para material de suelo de banco	ix
Imagen 43: Grafica de límites de consistencia para material de sitio.....	ix
Imagen 44: Grafica de límites de consistencia para material de banco	ix

Imagen 45: Grafica de curva de compactación de Proctor estándar.....	x
Imagen 46: Grafica de curva de compactación de Proctor modificado	x
Imagen 47: Grafica de CBR para material de sitio.....	xi
Imagen 48: Grafica de CBR para material de banco	xi
Imagen 49: Movimiento de tierras para calle 1	xii
Imagen 50: Movimiento de tierras para calle 2	xii
Imagen 51: Resultados de ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelos.....	xiii
Imagen 52: Resultados de ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelos.....	xiv

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de resumen del aforo manual realizado del 26 al 28 de julio del 2022	13
Tabla 2. TPDA año 2022 aplicando los factores correspondientes	18
Tabla 3. Proyecciones de población y tasa de crecimiento Periodo 2005 -2020	24
Tabla 4. Tránsito proyectado para el año 2037	26
Tabla 5. Tránsito de diseño	29
Tabla 6. Diagrama de carga permisible para vehículos livianos	29
Tabla 7. ESAL de diseño por tipología vehicular	32
Tabla 8: Especificaciones para estabilización de base con suelo cemento	47
Tabla 9: Resistencia a la compresión de la muestra de suelo estabilizada	47
Tabla 10: Cantidades de Obras para el Adoquinado	76
Tabla 11: Cantidades de Obras para el Adoquinado ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 12: Cantidades de Obras para el Adoquinado	77
Tabla 13: Cantidades de Obras para el Adoquinado	78
Tabla 14: Presupuesto para el Adoquinado	80
Tabla 15: Presupuesto para el Adoquinado	81
Tabla 16: Presupuesto para el Adoquinado	82
Tabla 17: Presupuesto para el Adoquinado	83
Tabla 18: Presupuesto para el Adoquinado	84
Tabla 19: Presupuesto para el Adoquinado	85
Tabla 20: Presupuesto para el Adoquinado	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 21: Requisitos para base estabilizada con cemento.	viii

CAPITULO I: GENERALIDADES



1.1. Introducción

El tramo de carretera en estudio está ubicado en el departamento de Zelaya central, en el municipio de El Rama, específicamente en el barrio San Pedro, de la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur.

El municipio tiene una buena conexión vial al oeste con Juigalpa, Managua y la costa del Pacífico. Al este de Bluefields y el Mar Caribe, la mayor parte del transporte en barco se realiza a lo largo del Río Escondido. El río es navegable por embarcaciones marítimas hasta El Rama y el municipio tiene el puerto caribeño más grande del país, el tercer puerto más grande del país en general y uno de los dos únicos puertos que manejan el tráfico de contenedores, (Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal).

Es de gran importancia que la región cuente con una red de carreteras eficientes tanto en el casco urbano como en la zona rural, ya que esto permite la conexión y comunicación a sus diferentes zonas de la localidad, lo que a su vez permite el fortalecimiento de la actividad económica y social de la región, (Alcaldía de El Rama, enero de 1999).

El tramo de carretera en estudio que tiene una longitud de 652 metros se encuentra en una de las calles urbanas del Barrio San Pedro de la Ciudad El Rama, (Ver pág. 2 macro y micro localización del proyecto), y es el único tramo de la carretera que no cuenta con una estructura de pavimento, por tanto no presta las debidas condiciones para el tráfico de vehículos en esa zona, por lo cual se propone un diseño de pavimento adoquinado en el tramo descrito para que cumpla con los requisitos de la población que habitan contiguo a esta calle y mejore la circulación vehicular, asimismo la producción económica que facilitara un desarrollo sostenible en el Barrio San Pedro de Ciudad El Rama, (Alcaldía del Rama).

Al presentar este estudio se tiene como meta aportar al desarrollo socioeconómico de ciudad El Rama por medio de un diseño de pavimento.

1.2. Antecedentes

El proyecto “Diseño de Espesores Estructura de Pavimento Articulado (Adoquinado) por el método AASHTO 93 de 652 metros en el Barrio San Pedro, Municipio El Rama, ubicado en el departamento de Zelaya central” está ubicado en un área urbana, esta vía conecta al barrio central de Ciudad Rama y al barrio la Esperanza de la misma.

Imagen 1: Macro localización



Fuente: Google maps (Ciudad Rama - Departamento de Zelaya central), recuperado el 18 de mayo de 2023 de <https://www.google.com/maps/search/el+rama+departamento+de+zelaya+central/@13.5949377,-86.5670595,7z?hl=es>

Imagen 2: Macro localización



Fuente: Google Earth Barrio San Pedro – Rama, recuperado el 18 de mayo de 2023 de <https://www.google.com/Earth/place/Barrio+San+Pedro,+El+Rama>

Cabe mencionar que el barrio San Pedro cuenta con la mayoría de las calles pavimentadas, sin embargo, existe una longitud de 652 metros que no cuenta con estructura de pavimento en el cual se basara este documento, esto como parte del programa gubernamental municipal calles para el pueblo.

El tramo en estudio sin pavimentar cuenta solamente con material granular en mal estado, esto hace que las lluvias muy frecuentes hagan que se formen baches en la calle y rara vez se la da un mantenimiento a esta calle con material de relleno como material selecto, el mal estado es lo que no permite un flujo mayor de vehículos que transiten por esta vía, es por esto que se propone un diseño de pavimento articulado (pavimentado), que tendrá las mismas características de las demás calles adoquinadas del Barrio San Pedro.

Asimismo, la presentación de este diseño tendrá como objetivo ser presentado hacia las autoridades municipales de Ciudad Rama para servir como apoyo una vez que la alcaldía municipal decida dar inicio a la construcción de la vía pavimentada, ya que se presentaran desde los estudios preliminares para este proyecto, hasta el diseño definitivo e incluido un presupuesto aproximado para la construcción de la carretera.

El diseño de la estructura de pavimento es considerado como parte fundamental de un tramo de carretera para los futuros mantenimientos continuos que se le proporcionen a la carretera construida, revisando el cumplimiento de las normas las cuales se basan en la seguridad de los usuarios.

1.3. Justificación

Los habitantes del barrio San Pedro de Ciudad Rama está compuesto por 288 viviendas y a pesar de contar con los servicios básicos para vivir, se han presentado problemas en base a la vía por la cual circulan vehículos y peatones ya que en cierta parte del barrio no cuenta con estructura de pavimento, esto ocasiona que haya baches debido a las frecuentes lluvias en la zona ya que el tramo existente sin pavimentar solo es de material granular y no se le hace ningún mejoramiento continuo a esta parte de la vía sin pavimentar del barrio San Pedro.

El tramo en estudio en la actualidad es una superficie conformada por tierra y piedra, la calle es transitable pero no como los pobladores aledaños a esta vía quisieran, por lo cual es necesario y de gran importancia la construcción de la estructura de pavimento en la que este documento se basa para el tramo de 652 metros lineales de pavimento. Es por esto que es necesario realizar todos los estudios necesarios para cumplir con las normas en cuanto al diseño de pavimentos, para que el diseño propuesto resista la demanda actual y proyectada y de esta manera cumplir en estándares de seguridad y economía para fines de construcción de la carretera del tramo descrito.

De este modo, se presentan afectaciones en cuanto al transporte, salubridad e higiene, los habitantes del complejo enfrentan una situación delicada que se considera de gran importancia para la elaboración de este proyecto, el cual incluirá el pavimentado de las calles y su drenaje superficial, que ayudará a mejorar la calidad de vida de las familias.

Para la elaboración de este estudio, como se mencionó anteriormente se realizará el diseño de pavimento articulado (adoquinado) de 652 metros para este barrio haciendo uso de la AASHTO 93, por ser uno de los métodos más confiables y utilizados.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

- Diseñar los espesores de la estructura de pavimento articulado (adoquinado) por el método AASHTO 93 de 652 metros en el barrio san pedro, municipio El Rama, en el departamento de Zelaya Central.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Ejecutar el estudio de tránsito por medio de un aforo manual para la determinación de los datos de cargas sobre el eje simple (Esal's).
- Determinar las propiedades físicas, así como mecánicas de los suelos y banco de materiales mediante sondeos a partir de pruebas de laboratorio para su análisis de uso en la estructura de pavimento y en la subrasante según la normativa NIC 2019.
- Diseñar los espesores de la estructura de pavimento con la finalidad que soporte las cargas solicitadas, utilizando la metodología de diseño AAHSTO-93.
- Elaborar el take-off y presupuesto que determine el costo del proyecto utilizando el catálogo de etapas y sub-etapas del FISE.

CAPITULO II: ESTUDIO DE TRANSITO



2.1 Introducción

El estudio de tránsito es uno de los criterios esenciales para el diseño de pavimentos, debido a que indica el comportamiento de los volúmenes de tránsito que recorren la vía en un lapso de tiempo, así como la intensidad de carga y la cantidad de ejes equivalentes que son responsables del deterioro de obras viales.

En este capítulo se presenta los datos obtenidos del tránsito en el Barrio San Pedro, los cuales son indispensables para el diseño de los espesores de pavimento articulado de tal manera que pueda soportar las cargas impuestas.

2.2 Volumen de tránsito

Cal y Mayor (1993) establece que es el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada durante un periodo determinado.

2.2.1 Volumen de tránsito absoluto o total

De igual manera Cal y Mayor (1993) lo definen como el número total de vehículos que pasan durante un lapso de tiempo determinado. Dependiendo de la duración del lapso de tiempo determinado se tienen algunos de ellos:

Tránsito Diario (TD)

Es el número total de vehículos que pasan durante un día, en este caso $T = 1$ día.

Tránsito Semanal (TS)

Es el número total de vehículos que pasan durante una semana, en este caso $T = 1$ semana.

Tránsito Anual (TA)

es el número total de vehículos que pasan durante un año, en este caso $T = 1$ año.

2.2.2 Volúmenes de tránsito promedio diarios

Tránsito promedio diario anual (TPDA)

Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

2.2.3 Vector correspondencia

De acuerdo a lo que expresa el anuario de aforos del MTI (2020) se adoptó este término para designar la potencialidad con la cual se manifiesta la afinidad que pueda existir entre una estación de conteo largo con una estación de conteo corta. Algunos de ellos son:

Vector geográfico

División del país en cinco regiones físicas/económicas de grandes rasgos.

Vector volumen

Es el rango de volúmenes de TPDA en las estaciones cubiertas por el sistema varía desde menores de 300 hasta mayores de 50 000 vehículos por día.

Vector vehículo pesado de carga

Se refiere al porcentaje de vehículos de carga dentro del volumen total.

2.2.4 Tipos de estaciones de conteo:

Estación de mayor cobertura (EMC)

Son las estaciones de conteo continuo los 365 días del año con conteos clasificados de 24 horas por día.

Estación de corta duración (ECD)

Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores a 300 TPDA.

Estación de conteo sumatoria (ECS)

Son las estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA.

2.2.5 Aforo vehicular

Se refiere al conteo de los vehículos realizado durante un periodo de tiempo determinado, con el objetivo de determinar la cantidad de vehículos que pasan por un tramo o vía.

Aforo vehicular manual

Es el realizado por trabajadores de campo denominados aforadores de tránsito, los cuales obtienen información relevante del tráfico tales como: la tipología y está a su vez brinda número de ejes, si es de pasajero o de carga, etc.

2.2.6 Factores de ajuste

Se usan para estimar el valor de TPDA correspondiente a datos obtenidos de los conteos en las estaciones de corta duración o conteo sumaria, estos son los siguientes:

Factor día

Corresponde a expandir el tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas se obtiene mediante los resultados correspondientes de las estaciones de mayor cobertura de 24 horas.

Factor semana

Expande el resultado obtenido para un periodo corto de tres días de la semana (martes a jueves) a los promedios semanales 7 días (lunes a domingo).

Factor fin de semana

Expande un conteo realizado durante el fin de semana a los 7 días de la semana.

Factor expansión

Expande el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual (TPDA) por tipo de vehículo.

2.2.7 Tránsito promedio diario anual histórico

Son los datos históricos de conteo por tipo de vehículo de las estaciones que conforman el sistema de conteo.

2.2.8 Tasa de crecimiento

Cambio en el porcentaje del tránsito entre dos momentos distintos de tiempo.

2.2.9 Media geométrica

Es un tipo de media que se utiliza para considerar todos los TPDA históricos de cada una de las estaciones de mayor cobertura, con el fin de ponderar o hacer pesar más el resultado final.

2.2.10 Producto interno bruto (PIB)

Es un indicador económico que refleja el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos por un territorio en un determinado periodo de tiempo

2.2.11 Crecimiento poblacional

Es el cambio en la población en un cierto plazo, y puede ser contado como el cambio en el número de individuos en una población por unidad de tiempo para su medición.

2.2.12 Tipología vehicular

Con base a lo que expresa el anuario de aforos del MTI (2020) se refiere al estudio y clasificación de los vehículos de acuerdo a características relevantes como número de ejes, tamaño, etc. A continuación, se hace mención de los más importantes en nuestro país (ver en anexos pág. ii, imagen No.39):

Motocicletas

Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados, con o sin transporte, esta categoría incluye scooter, motonetas, motocarros, cuadra ciclos y otros triciclos a motor.

Vehículos livianos

Son vehículos automotores de cuatro ruedas que incluye, automóviles, jeep, camionetas, y microbuses de uso personal.

Vehículos pesados de pasajeros

Son vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los microbuses pequeños (hasta de 5 pasajeros), Microbuses Medianos (de 25 pasajeros), y también buses medianos y grandes.

Vehículos pesados de carga

Son todos aquellos vehículos destinados al transporte pesado de carga mayores o iguales de tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en 2, 3, 4, 5, y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2), camiones (C3), C2R2 y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de tipos (T3S2) y (T3S3), y otros vehículos para clasificación especial, como agrícolas y de construcción.

Otros

Incluye remolques o tráileres pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal.

2.2.13 Tránsito proyectado

Es el tránsito al final del periodo de diseño seleccionado para el tipo de pavimento.

2.2.14 Tránsito de diseño

Es el que se obtiene aplicando al tránsito proyectado los siguientes factores:

Factor de distribución por dirección

Es el factor del total del flujo vehicular, en la mayoría de los casos este valor es de 0.5; ya que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección.

Factor de distribución por carril

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril.

Factor de crecimiento (FC)

Depende de los años que será proyectado el tránsito, y su tasa de aumento anual vehicular, de igual manera indicará el aumento del flujo vehicular en el periodo de diseño.

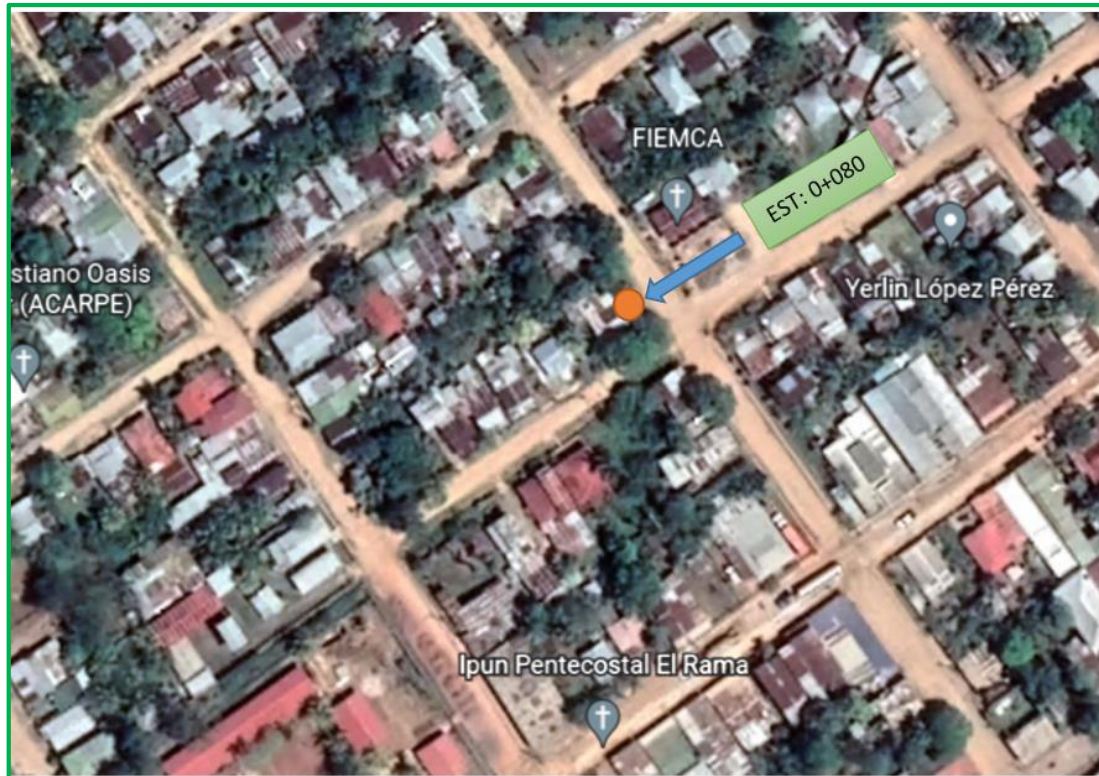
2.2.15 ESAL de diseño

Es un acrónimo en inglés de "Equivalent single axle load", es la cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente de 18 kip. El ESAL es un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos.

2.3 Procesamiento de datos

Se realizó el aforo en una de las calles del barrio San pedro específicamente en la estación 0+080 Km, la cual es de gran importancia debido a su posición estratégica (ver en anexos pág. i, fotografía 1) lo que repercutió en datos confiables que utilizados posteriormente en el diseño de pavimento. Los conteos se realizaron 3 días: martes, miércoles y jueves del 26 al 28 de julio con una duración de 12 horas cada día de acuerdo a lo establecido en el Anuario de aforos de tráfico año 2020 del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), cabe mencionar que esa es la versión más reciente de dicho documento.

Imagen 3. Ubicación del lugar de aforo



Fuente: Google Earth Barrio San Pedro – Rama, recuperado el 18 de mayo de 2023 de <https://www.google.com/Earth/place/Barrio+San+Pedro,+El+Rama>

El formato que se empleó para el levantamiento de los datos de campo es uno que cuenta con la tipología vehicular y las horas de cada día del estudio (Ver en anexos pág. iii, imagen 40). A continuación, se muestra los resultados obtenidos:

Tabla 1: Tabla de resumen del aforo manual realizado del 26 al 28 de julio del 2022

TRÁNSITO PROMEDIO DIURNO DE 12 HRS (TPDi)												
Días	Tipología											
	Vehículos livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos de carga				
	Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Micro bus	Mini bus	Bus	Liviano c.	C2	C3	Tx Sx <= 4	
Martes	219	8	7	10	0	0	0	7	2	0	0	253
Miércoles	207	9	4	9	0	0	0	6	1	0	0	236
Jueves	229	6	8	13	0	0	0	7	2	0	0	265
Total	655	23	19	32	0	0	0	20	5	0	0	754
TPDi (12 h)	218	8	6	11	0	0	0	7	2	0	0	252
Porcentaje	86	3	3	4	0	0	0	3	1	0	0	1
Porcentaje	96.00%				0.00%			4.00%				100.00%

Fuente: Elaboración propia

2.3.1 Elección de estación de mayor cobertura relacionada al flujo vehicular que recorre el barrio San Pedro

Primeramente, se debe hacer una revisión de la tabla de porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura que se encuentra en el anuario de aforos 2020 del MTI, con la finalidad de identificar cuál de estas en las que posee un comportamiento vehicular similar al obtenido en el tramo de estudio.

Imagen 4: Porcentaje vehicular de estaciones de mayor cobertura

N°	EST.	NOMBRE DEL TRAMO	TPDA	Total Pesados	Σ Tx-Sx y Cx-Rx	% de Livianos	% de Pesados	% Tx-Sx y Cx-Rx Vehículos de Carga
1	101B	Zona Franca - La Garita	24,523	5,291	956	78.3%	21.6%	18.1%
2	1205	Emp. Chichigalpa - Rotonda Chinandega	10,585	2,614	934	75.0%	24.7%	35.70%
3	200	Entrada al INCAE - El Crucero	9,403	1,183	283	87.3%	12.6%	23.90%
4	1802	San Marcos - Masatepe	9,392	830	69	91.1%	8.8%	8.30%
5	401	Masaya - Granada	8,882	1,074	69	87.8%	12.1%	6.40%
6	107	Sébaco - Emp. San Isidro	7,877	1,797	463	77.0%	22.8%	25.8%
7	300	Sébaco - Quebrada Honda	6,270	1,459	200	76.5%	23.3%	13.70%
8	2803	Nagarote - La Paz Centro	6,058	2,227	1106	62.8%	36.8%	49.70%
9	2404	Chinandega - Corinto	5,471	1,754	1,110	67.7%	32.1%	63.30%
10	2400	Chinandega (Rotonda) - Rancheria	4,019	686	166	81.1%	17.1%	24.20%
11	700	Emp. San Francisco - Tecolostote	2,024	638	96	68.3%	31.5%	15.0%

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020. MTI Pág. 13 PDF

De la tabla anterior se obtiene que la EMC San Marcos – Masatepe es la que debe ser analizada más a detalle para encontrar la ECD asociada al tráfico del barrio San Pedro.

2.3.2 Selección de estación de corta duración relacionada al flujo vehicular que recorre el barrio San Pedro

Se ha considerado dos tramos para compararlos y encontrar el más adecuado respecto a similitud del tránsito se refiere. Uno de ellos es el tramo: El Rama – Emp. Las Lapas con NN-303 mientras que el otro es el tramo: Nueva Guinea – Los Ángeles – Nueva Holanda cuyo código Nic es NN 133.

Imagen 5: Porcentajes de vehículos livianos, de pasajeros y pesados de los tramos: El Rama – Emp. Las Lapa y Nueva-Guinea–Los Ángeles–Nueva-Holanda.

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A	V.C	Otros	TPDA											
584	NN-303	733	ECD	El Rama - Emp. Las Lapas	2019	179	10	19	99		1	15	43	26	7		66						3	468										
					2015	90		6	115		7	18	13	3	2				4		2	260												
					2014	96		9	100		5	62	74	8		16			1		1	372												
					EMC:2404																													
					Tasa Crecimiento: 8,23%																													
					2020	194	11	21	107		1	16	47	28	8		71					3	507											
					Liv.					332					Pasaj.					17					Pesado					157				
										66%										3%										31%				
443	NN-133	7110	ECD	Nueva Guinea - Los Angeles - Nueva Holanda	2014	281	53	13	36			20	18	1						2		2	426											
					2010	155	37	9	39		1	24	16	66	1					1	3	352												
					2008	138	72	16	57		2	18	35	6	1				2	1		346												
					2004	52	42	8	46	14	7	46	18									232												
					2001	58	41	16	53	10	15	23	19	1				0			9	244												
					1998	24	12	11	20		6	8	9								1	91												
					EMC:1802																													
					Tasa Crecimiento: 6,74%																													
					2020	416	78	19	53			30	27	1						3			3	630										
					Liv.					566					Pasaj.										Pesado					64				
					90%															10%														

El tramo El Rama - Emp. Las Lapas es el que se encuentra geográficamente más cercano a las calles que se están analizando en este estudio, sin embargo, los valores porcentuales distan demasiados de los obtenidos en el aforo manual. Por otro lado, el tramo Nueva Guinea – Los Ángeles – Nueva Holanda posee valores porcentuales que más se aproximan a los arrojados por el conteo vehicular además que geográficamente se encuentra dentro del departamento de Zelaya Central. Por lo tanto, se eligió a este último como el tramo asociado al flujo vehicular que transita por el barrio San Pedro.

Imagen 6: Dependencia entre EMC y ECD

ESTACION DE MAYOR COBERTURA	NIC	Nº ESTACION	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO
1802 San Marcos - Masatepe	NN-126	2305	ECS	San Pedro de Lovago - La Cusuca
	NN-127	726	ECS	La Pita - Los Mollejones
	NN-128	722	ECS	Villa Sandino - El Guarumo
	NN-128	723	ECS	El Guarumo - El Guabo - Ciudad Campana
	NN-129	724	ECS	La Curva - Kamusaska
	NN-130	7115	ECS	El Rótulo - Colonia Río Rama
	NN-131	7116	ECS	Las Miradas - Kurinwas
	NN-132	7117	ECS	El Corocito - El Chasmolar
	NN-133	7110	ECD	Nueva Guinea - Los Angeles
	NN-134	7105	ECD	Nueva Guinea - Colonia Río Plata
	NN-134	7107	ECS	Colonia Río Plata - Los Pinitos - San Antonio
	NN-134	7108	ECS	San Antonio - San Martin

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020. MTI Pág. 76 PDF.

2.3.3 Factores de ajuste empleados para cálculo de TPDA

Los factores tomados están en dependencia de EMC y el cuatrimestre del año en que se realizó el aforo. En este caso equivale al segundo cuatrimestre del año que está dentro del intervalo de mayo – Agosto, ya que el conteo vehicular se llevó a cabo del 26 al 28 de julio del 2022.

Imagen 7. Factores del segundo cuatrimestre del 2020 de EMC 1802 San Marcos – Masatepe.

Factores del segundo cuatrimestre del año Mayo - Agosto

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	1,37	1,33	1,19	1,24	1,28	1,25	1,36	1,20	1,26	1,20	1,00	1,38	1,00	1,00	1,00	1,00	1,09
Factor Semana	0,98	1,06	1,10	1,03	0,94	0,91	0,89	0,92	0,85	0,88	1,00	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	0,85
Factor Fin de Semana	1,05	0,87	0,81	0,93	1,19	1,33	1,43	1,30	1,78	1,51	1,00	1,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,82
Factor Expansión a TPDA	1,02	0,99	0,95	1,00	1,02	0,89	1,01	0,97	1,01	1,01	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	0,66

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020. MTI Pág.385 PDF.

2.3.4 Cálculo de TPDA

En este punto se establece una relación del tránsito promedio diario de 12 horas al TPDA del año 2022 empleando cuatro factores: factor día, factor semana, factor fin de semana y factor expansión a TPDA.

Para ello se usó la siguiente expresión:

$$TPDA = TPDi(12h) * Fdia * Fsemana * Fsemana * Fexpansión TPDA \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

Donde:

TPDA: Tránsito promedio diario anual (vehículos/año)

TPDi(12h): Tránsito promedio diario (vehículos/12 h)

En esta monografía se emplearon solo tres de los cuatros factores debido a que el factor fin de semana no era aplicable ya que el aforo vehicular manual se realizó en días de semanas únicamente.

Tabla 2. TPDA año 2022 aplicando los factores correspondientes

TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL 2022												
Descripción	Tipología											Total
	Vehículos livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos de carga				
	Moto	Auto	Jeep	Camio- neta	Micro bus	Mini bus	Bus	Liviano c.	C2	C3	Tx Sx ≤ 4	
TPD (12 h)	218	8	6	11	0	0	0	7	2	0	0	252
F. Día	1.37	1.33	1.19	1.24	1.28	1.25	1.36	1.2	1.26	1.20	1.00	
TPD (24 h)	299	11	8	14	0	0	0	9	3	0	0	344
F. Semanal	0.98	1.06	1.10	1.03	0.94	0.91	0.89	0.92	0.85	0.88	1.00	
TPD Semanal	294	12	9	15	0	0	0	9	3	0	0	342
F. Exp,TPDA	1.02	0.99	0.95	1.00	1.00	0.89	0.99	0.97	1.01	1.51	1.00	
TPDA	300	12	9	15	0	0	0	9	3	0	0	348
Porcentaje	86	3	3	4	0	0	0	3	1	0	0	1
	96				0			4				100

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados mostrados en la imagen anterior se tiene que el TPDA es de 339 Veh/día de los cuales el 86% pertenece a motocicletas, 3% a automóviles, 3% a Jeep, 4% a camioneta, 3% a liviano de 2 a 5 toneladas y el 1% a C2 de más de 5 toneladas.

2.4 Proyección de tránsito futuro

Un parámetro indispensable para examinar el comportamiento futuro del tráfico es la tasa de crecimiento de diseño, al calcularla es requerido considerar tres tasas: crecimiento producto interno bruto de la república de Nicaragua, crecimiento del TPDA histórico del tramo Nueva Guinea – Los Ángeles – Nueva Holanda y crecimiento poblacional del municipio de El Rama.

2.4.1 Producto interno bruto

Es un indicador económico que refleja el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos por un territorio en un determinado periodo de tiempo. Se utiliza para medir la riqueza que genera un país.

En nuestro país el Banco Central de Nicaragua (BCN) presenta el anuario de estadísticas macroeconómicas que muestra los resultados de los diferentes sectores de la economía nacional.

A continuación, se muestra la información proporcionada por el BCN correspondiente al anuario del año 2022 que es la versión más actualizada.

Imagen 8. PIB y su tasa de crecimiento de Nicaragua del año 2006 al 2022

PIB: ENFOQUE DE LA PRODUCCIÓN EN MILLONES DE CÓRDOBAS CONSTANTES		
AÑO	PIB	TASA . C
2006	118837.7	
2007	124870.3	5.1
2008	129160.5	3.4
2009	124907.7	-3.3
2010	130416.3	4.4
2011	138654.2	6.3
2012	147661.4	6.5
2013	154936.8	4.9
2014	162351.3	4.8
2015	170131.6	4.8
2016	177894.9	4.6
2017	186133.6	4.6
2018	179873.3	-3.4
2019	174662.6	-2.9
2020	171577.6	-1.8
2021	189331.1	10.3
2022	196423.5	3.8

Fuente: Anuario de estadísticas macroeconómicas 2022, Banco Central de Nicaragua.

Pág.10,11.

$$TC \text{ Prom.} = \frac{X1 + X2 + X3 + Xn}{n} \quad (\text{Ecuación No. 2})$$

$$= \frac{TC \text{ Prom}}{16} = \frac{(5.1 + 3.4 + (-3.3) + 4.4 + 6.3 + 6.5 + 4.9 + 4.8 + 4.8 + 4.6 + 4.6 + (-3.4) + (-2.9) + (-1.8) + 10.3 + 3.8)}{16}$$

$$TC \text{ Prom.} = 3.26 \%$$

Al realizar el promedio de las tasas mostradas anteriormente se obtuvo un valor del 3.26%.

2.4.2 TPDA histórico del tramo Nueva Guinea – Los Ángeles – Nueva Holanda

Con el objetivo de calcular la tasa de crecimiento del TPDA histórico del tramo en estudio se revisó el anuario de aforos 2020 del MTI y se extrajo la información necesaria que se empleó en la siguiente expresión:

$$TC_n = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (\text{Ecuación No. 2})$$

Donde:

TC: Tasa de crecimiento que se tenga en el periodo de análisis (%)

TPDAn: Trafico promedio diario del año en análisis (vehículo/día)

TPDAn-1: Tráfico promedio del año anterior (vehículo/día)

n: Diferencia de años (años)

Imagen 9: Estación de corta duración asociada al flujo vehicular de la zona

[illegible]

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020. MTI Pág. 263 PDF

- Cálculo de la tasa de crecimiento del periodo 1998- 2001

$$TC_1 = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] = \left[\left(\frac{244}{91} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = 1.39$$

- Cálculo de la tasa de crecimiento del periodo 2001 - 2004

$$TC_2 = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] = \left[\left(\frac{232}{244} \right)^{\frac{1}{3}} \right] = 0.98$$

- Cálculo de la tasa de crecimiento del periodo 2004 - 2008

$$TC_3 = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{\frac{1}{\bar{n}}} \right] = \left[\left(\frac{346}{232} \right)^{\frac{1}{4}} \right] = 1.11$$

- Cálculo de la tasa de crecimiento del periodo 2008 - 2010

$$TC_4 = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] = \left[\left(\frac{352}{346} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 1.00$$

- Cálculo de la tasa de crecimiento del periodo 2010 - 2014

$$TC_5 = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] = \left[\left(\frac{426}{352} \right)^{\frac{1}{4}} \right] = 1.05$$

- Cálculo de la tasa de crecimiento del periodo 2014 - 2020

$$TC_6 = \left[\left(\frac{TPDA_n}{TPDA_{n-1}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] = \left[\left(\frac{630}{426} \right)^{\frac{1}{6}} \right] = 1.07$$

Una vez obtenida una serie de un año con otro se procede a aplicar la media geométrica mediante la siguiente expresión:

$$Tf = \left((Tc1 * Tc2 * Tc3 * Tcn)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \quad (\text{Ecuación No. 3})$$

Donde:

Tf: Tasa de crecimiento final.

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

n: Cantidad de tasas de crecimiento.

$$Tf = ((1.39 * 0.98 * 1.11 * 1.00 * 1.05 * 1.07)^{\frac{1}{6}} - 1)$$

$$Tf = 9.23 \%$$

2.4.3 Crecimiento Poblacional

El instituto nacional de información de desarrollo (INIDE) es el encargado en Nicaragua de coordinar el sistema estadístico nacional. En la imagen de la siguiente página se muestra la información brindada por INIDE referente al crecimiento poblacional en el Municipio de El Rama.

Tabla 3. Proyecciones de población y tasa de crecimiento Periodo 2005 -2020

EL RAMA		
Año	Ambos sexos	Tasa de crecimiento
2005	54,621	0.7
2006	55,007	
2007	55,375	
2008	55,722	
2009	56,312	
2010	56,617	
2011	56,951	0.4
2012	57,261	
2013	57,537	
2014	57,779	
2015	57,986	
2016	58,179	0.2
2017	58,331	
2018	58,451	
2019	58,515	
2020	58,607	

Fuente: Elaboración Propia

$$TC\ POB. = \frac{0.7 + 0.4 + 0.3}{3} = 0.43 \%$$

Al realizar el promedio aritmético de las tres tasas anteriores se obtuvo un valor de 0.43% de tasa de crecimiento poblacional

2.4.4 Tasa de diseño

Se calculó un promedio entre las tasas del PIB (3.26%) y crecimiento poblacional del municipio (0.43%), considerando como pautas el crecimiento general del país que brinda un panorama amplio de la situación económica, el crecimiento de personas de El Rama específicamente, así como, la tasa de crecimiento del TPDA histórico (9.23%) de una estación de corta duración

$$TD = \frac{(TC_{PIB} + TC_{C.POB} + TC_{TPDA})}{2} = \frac{3.26\% + 0.43\% + 9.23\%}{3} = 4.31 \%$$

La tasa que se usará en el tránsito de diseño es del 4.31 %.

2.5 Tránsito de diseño

2.5.1 Periodo de diseño

Este depende de las características de la carretera de acuerdo a los establecido en Guía AASHTO 1993.

Imagen 10. Períodos de diseño

Highway Conditions	Analysis Period (years)
High-volume urban	30-50
High-volume rural	20-50
Low-volume paved	15-25
Low-volume aggregate surface	10-20

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Pág. II-7.

2.5.2 Tránsito proyectado para el año 2037

Para calcularlo se requiere TPDA del año 2022, la tasa de diseño y el periodo de diseño:

$$T_n = T_o * (1 + i)^n \quad \text{Ecuación No. 4}$$

Donde:

T_n: Tránsito proyectado al año n

T_o: Tránsito inicial en el año n

i: Tasa de crecimiento anual en %

n: Número de años en el periodo de diseño

$$T_n = T_o * (1 + i)^n = T_n = 348 * (1 + 0.0431)^{15} = 656 \text{ veh/día}$$

A continuación, se muestra más a detalle respecto a la tipología vehicular.

Tabla 4. Tránsito proyectado para el año 2037

Proyección del trafico al año 2037				
Tipo de vehiculo	TPDA 2022	TC	n	TPDA Proyectado al 2037 (veh/dia)
Motocicleta	300	0.0431	15	565
Automóvil	12	0.0431	15	23
Jeep	9	0.0431	15	17
Camioneta	15	0.0431	15	28
C2 (2-5 Ton)	9	0.0431	15	17
C2 (>5 Ton)	3	0.0431	15	6
Total	348			656

Fuente: Elaboración propia.

Las calles del barrio San Pedro entra en la categoría de baja intensidad y pavimentación con grava por lo tanto el periodo de diseño se encuentra entre el intervalo de 10 a 20 años, se tomó un valor del promedio de 15 años para el diseño de este proyecto.

2.5.3 Factor direccional (FD)

Se refiere a la distribución porcentual de los vehículos en cada sentido de circulación, se relaciona al número de carriles en ambas direcciones.

Imagen 11. Factor direccional

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

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Pág.II-9.

En este caso se trabajó con un DD = 50% ya que el número de carriles en ambas direcciones es de 2.

2.5.4 Factor de distribución carril (Fc')

Este parámetro corresponde a la distribución de tráfico entre los carriles con el mismo sentido. En carreteras de dos carriles, con un carril por sentido, el valor del factor de distribución direccional es de 1.00, que es la situación este proyecto.

Imagen 12. Factor distribución carril

Number of Lanes in Each Direction	Percent of 18-kip ESAL in Design Lane
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Pág.II-9.

2.5.5 Factor crecimiento (FC)

Es un valor requerido para el cálculo del tránsito de diseño. Proporciona información del aumento del flujo vehicular en el periodo de diseño, el cual se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365 \quad (\text{Ecuación No. 5})$$

Donde:

FC: Factor de crecimiento

i: Tasa de crecimiento del tránsito

n: Periodo de diseño (años)

365: Días del año

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365 = \frac{(1 + 0.0431)^{15} - 1}{0.0431} * 365 = 7479$$

2.5.6 Tránsito de diseño

Este cálculo es indispensable para el posterior cálculo de ejes equivalentes (ESAL). Se emplea la siguiente expresión:

$$TD = TPDA_0 * Fc' * FD * FC \quad (\text{Ecuación No. 6})$$

Donde:

TD: Tránsito de diseño (Vehículos)

TPDA0: Tránsito promedio diario anual del año 0

FC= Factor de crecimiento

FD= Factor direccional

Fc'= Factor carril

$$TD = TPDA_0 * Fc' * FD * FC = 348 * 1 * 0.5 * 7479 = \mathbf{1,301,346 Vehículos}$$

En la siguiente tabla, se muestra más a detalle respecto a la tipología vehicular.

Tabla 5. Tránsito de diseño

Tránsito de diseño					
Tipo de vehículo	TPDA 2022	FC	LD	LC	TD
Motocicleta	300	7479	0.50	1	1,121,850.00
Automóvil	12	7479	0.50	1	44,874.00
Jeep	9	7479	0.50	1	33,655.50
Camioneta	15	7479	0.50	1	56,092.50
C2 (2-5 Ton)	9	7479	0.50	1	33,655.50
C2 (>5 Ton)	3	7479	0.50	1	11,218.50
Total (vehículos)					1,301,346

Fuente: Elaboración propia.

2.6 Carga de eje equivalente simple (ESAL)

Para calcular el ESAL o carga de eje equivalente simple es indispensable saber el tránsito de diseño y los factores de equivalencia de carga.

2.6.1 Equivalencia de carga (LEF)

Se utilizó la tabla de cargas permisibles por tipo de vehículo proporcionada por el MTI, donde se establecen el peso por eje para cada tipología vehicular.

Tabla 6. Diagrama de carga permisible para vehículos livianos

Tipo de vehículo	Peso por eje (Ton)	Peso por eje (Lb)	Peso por eje (Kips)
Automóvil	1/1	2200/2200	2.20/2.20
Jeep	1/1	2200/2200	2.20/2.20
Camioneta	1/2	2200/4400	2.20/4.40
C2 (2 - 5 Ton)	4/8	8800/17600	8.80/17.60
C2 (>5 Ton)	5/10	11000/22000	11.00/22.00

Fuente: Elaboración propia.

- **Número estructural asumido (SN)**

Es requerido definir un número estructural para este proyecto se asumirá un valor de SN = 5 que está dentro del rango establecidos en la AASHTO.

Serviciabilidad Final (Pt)

Para caminos de menor tránsito la serviciabilidad es de 2.0 según la guía de diseño de pavimento de la AASHTO 93.

[En la siguiente imagen se muestra los factores de carga para pavimentos flexibles con una serviciabilidad de Pt = 2.0.

Imagen 13. Factores equivalentes de carga de ejes simples

Axle Load (kips)	Pavement Structural Number (SN)					
	1	2	3	4	5	6
2	0002	0002	0002	0002	0002	0002
4	002	003	002	002	002	002
6	009	.012	011	010	009	009
8	030	035	036	033	031	029
10	075	085	090	085	079	076
12	165	177	189	183	174	168
14	325	338	354	350	338	331
16	589	598	613	612	603	596
18	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00	1 00
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 40	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 0	9 2	8 6	8 7	9 2
32	14 0	13 5	12 4	11 5	11 5	12 1
34	18 5	17 9	16 3	15 0	14 9	15 6
36	24 2	23 3	21 2	19 3	19 0	19 9
38	31 1	29 9	27 1	24 6	24 0	25 1
40	39 6	38 0	34 3	30 9	30 0	31 2
42	49 7	47 7	43 0	38 6	37 2	38 5
44	61 8	59 3	53 4	47 6	45 7	47 1
46	76 1	73 0	65 6	58 3	55 7	57 0
48	92 9	89 1	80 0	70 9	67 3	68 6
50	113	108	97	86	81	82

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Pág.D-3

2.6.2 Interpolaciones en factores equivalente de carga

Se debe recurrir a la siguiente expresión:

$$X = X1 + \frac{Y - Y1}{Y2 - Y1} * (X2 - X1) \quad (\text{Ecuación No.7})$$

Donde:

X: Factor LEF buscado

X1: Factor LEF anterior al buscado

X2: Factor LEF siguiente al buscado

Y: Carga por eje (kips) del factor LEF buscado

Y1: Carga por eje (kips) del factor LEF anterior al buscado

Y2: Carga por eje (kips) del factor LEF siguiente al buscado

$$LEF(2.2) = 0.0002 + \frac{2.2 - 2.0}{4.0 - 2.0} * (0.002 - 0.0002) = 0.0038$$

A continuación, se muestra todas las interpolaciones:

Imagen 14. LEF interpolados

Peso (Kips)	LEF (interpolados)
2.2	0.00038
4.4	0.0034
8.8	0.0502
11	0.1265
17.6	0.9206

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtener los LEF requeridos se procedió al cálculo del ESAL por medio de la siguiente expresión:

$$ESAL \text{ o } W18 = TD * LEF \quad (\text{Ecuación No.8})$$

Dónde:

ESAL o W18: carga de eje equivalente simple

TD: Tránsito de diseño

LEF: Los factores de equivalencia de carga

$$ESAL(AUTO) = 44,876 * 0.0038 = 170.53$$

En la siguiente tabla se muestran los ESAL restantes:

Tabla 7. ESAL de diseño por tipología vehicular

Tipo de vehículo	Tipo de eje	Peso por eje (Ton)	Peso por eje (Kips)	TD	Factor ESAL	ESAL de diseño
Automóvil	Simple	1.00	2.20	44,874.00	0.0038	170.52
	Simple	1.00	2.20		0.0038	170.52
Jeep	Simple	1.00	2.20	33,655.50	0.0038	127.89
	Simple	1.00	2.20		0.0038	127.89
Camioneta	Simple	1.00	2.20	56,092.50	0.0038	213.15
	Simple	2.00	4.40		0.0034	190.71
C2 (2 - 5 Ton)	Simple	4.00	8.80	33,655.50	0.0502	1,689.51
	Simple	8.00	17.60		0.9206	30,983.25
C2 (>5 Ton)	Simple	5.00	11.00	11,218.50	0.1265	1,419.14
	Simple	10.00	22.00		2.3500	26,363.48
TOTAL EJES EQUIVALENTES (W18)						61,456

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente, el total de ESAL de diseño es de 61,456 carga de eje equivalente correspondiente a 18 Kips.

CAPITULO III:

ESTUDIO DE SUELOS



3.1 Introducción

Conocer el tipo de suelo es un parámetro indispensable para el diseño de una estructura de pavimento de calidad, ante esto es necesario realizar un estudio de suelos que haga posible determinar las características físico-mecánicas del terreno en donde se construirá la vía de comunicación terrestre que estará ubicada en el Barrio San Pedro de la Ciudad de EL Rama.

Debido a que es común encontrar suelos que no son completamente adecuados, esto por no presentar las características deseadas para el diseño de la estructura de un pavimento de cualquiera que sea su clasificación, es necesario localizar los bancos de materiales más cercanos a la zona del proyecto, y por lo tanto, hacer los estudios correspondientes para determinar cuál puede adaptarse mejor al suelo existente en el tramo, logrando de tal manera modificar sus propiedades para que sea capaz de cumplir con los requerimientos mínimos esperados que nos dicen las normas nacionales e internacionales.

En este capítulo de Estudios de Suelos se presentan los resultados del estudio de suelo realizado en el tramo de 652 metros lineales ubicados en el Barrio San Pedro de la Ciudad de El Rama, el cual se efectuó mediante ensayos de laboratorio realizados a las muestras sustraídas por medio de sondeos manuales, de igual manera, se presentan los resultados de los estudios de suelos que se le hicieron al banco de materiales más cercano al sitio de estudio, considerado como posible fuente de préstamo para los trabajos de terracerías base y sub-base.

Imagen 15: Ensayes de suelos requeridos para la línea del proyecto

Ensayo	Normativa
Análisis Granulométrico	ASTM-D422 ó AASHTO T-88
Limite Liquido	ASTM-D423 ó AASHTO T-89
Limite Plástico e Índice de Plasticidad	ASTM-D424 ó AASHTO T-90
Proctor Standard	ASTM-D698 ó AASHTO T-99
CBR	ASTM-D1883 ó AASHTO T-193
Clasificación de Suelos	ASTM D-3282 ó AASHTO T-145
Humedad Optima	ASTM D-2216

Fuente: Elaboración propia

3.2 Clasificación de Suelos

La clasificación de suelos es un indicador universalmente aceptado de las propiedades físicas de los suelos. La clasificación que mejor se adapta para reflejar las propiedades de un suelo como subrasante es la metodología de clasificación de suelos de la AASHTO, Sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

En la clasificación de los suelos se basa en los resultados del ensaye de laboratorio prescrito para la determinación de las características granulométricas y de plasticidad. Aquellos que tienen propiedades similares pueden clasificarse en el grupo al que mejor encajen según los sistemas de clasificación de suelos.

3.2.1 Clasificación de Suelos AASHTO:

Este sistema de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 como el Sistema de Clasificación de Administración de Carreteras. Actualmente es muy utilizado en obras viales de la ingeniería, su objetivo es juzgar la aceptabilidad de un suelo para ser utilizado como material de subbase y base en un pavimento, esto por medio de la medición numérica de la calidad de suelo luego de determinar el índice de grupo (IG).

Según este sistema el suelo está dividido en siete grupos principales los cuales van de A-1 a A-7. Los suelos que clasifican en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde el 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz No 200. Los suelos donde más de 35% pasa a través del tamiz No 200 se

clasifican en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 los cuales son principalmente limo y arcilla.

Prácticamente este es el criterio que toma AAHSTO:

- Grava: Pasa el tamiz de 3" (75mm) y es retenida por el tamiz número 10 (2mm)
- Arena gruesa: Pasa el tamiz número 10 (2mm) y es retenida en el tamiz número 200 (0.075mm)
- Limo y arcilla: Pasa por el tamiz número 200.

3.3 Trabajos de Campo

3.3.1 Sondeos Manuales en La Línea del Proyecto

Se realizaron 2 sondeos en la línea del proyecto, 1 sondeo por calle, es decir un sondeo para la calle 1 y un sondeo para la calle 2, para el adoquinado de 652 metros lineales a cada 250 metros en cada una de las dos calles que tienen una longitud de 326 metros, cada sondeo se hizo con una profundidad de 1.50 metros a como lo manda la norma ASTM D 2488, Las dimensiones de los sondeos son entre 0.15-0.20 metros de diámetro (ver anexos página I, fotografía 2).

A cada una de las muestras tomadas se le hizo clasificación visual y al tacto y luego se le colocó una tarjeta de identificación a cada bolsa plástica en donde se almacenó cada una, también se incluyó una submuestra de cada una de ellas para la obtención del contenido de humedad, finalmente estas fueron trasladadas al laboratorio de Materiales y Suelos del Recinto universitario Pedro Arauz Palacios de la Universidad Nacional de Ingeniería para hacerle a cada muestra los ensayos respectivos para la obtención de los datos necesarios que se ocuparan en el diseño de la estructura de pavimento.

Es importante mencionar que al momento de realizarle los ensayos respectivos a la muestra de suelo de la calle 2, por problemas técnicos, el material no rindió lo suficiente para completar todos los ensayos requeridos, solamente se alcanzó a realizar ensaye de granulometría, límite de consistencia, clasificación de suelo y

proctor estándar, es por eso que los ensayos de la calle 2 no se muestran en este capítulo, solamente los ensayos para el material de la calle 1 y el material del banco Cerro el Rama, no obstante, se presenta un consolidado de todos los datos recopilados mediante los ensayos de laboratorio (ver anexos página xiii, imagen 51), sin embargo el tipo de suelo de la calle 2 es muy similar al tipo de suelo de la calle 1, esto lo veremos más a detalle a medida que vayamos avanzando en este capítulo.

Es por esta razón que para el diseño de la estructura de pavimento solo se tomó en cuenta los datos obtenidos mediante los ensayos para la calle 1. A lo que recomendamos si se quiere hacer un estudio más detallado, realizar los ensayos completos para la calle 2 y poder determinar específicamente su CBR de diseño de su material de sitio.

Tanto para el sondeo de la calle 1 como para la calle 2 se presenta una columna estratigráfica determinando el tipo de suelo con que se cuenta en el sitio (ver anexos, página xiv imagen 52).

Así mismo también se recolectó material del banco de material más cercano a la línea del proyecto en el barrio San Pedro el cual tiene un nombre por la población de Cerro el Rama, (ver anexos página iv II fotografía 3), y tiene una distancia de 1250 metros de la línea del proyecto, el cual se pretende llevar muestras a laboratorio para hacerle los ensayos requeridos y determinar sus propiedades físicas y mecánicas para llegar a ser utilizado como material de relleno en la base de la estructura de pavimento.

3.4 Trabajo de Laboratorio

A las muestras enviadas al laboratorio de suelos se les realizaron los ensayos necesarios para determinar las características de los suelos existentes en la calzada del tramo en estudio y de esta manera, poder obtener una clasificación del suelo con el que se encuentra en el sitio donde se colocara la estructura de pavimento.

Cabe destacar que se hicieron dos ensayos por cada tipo de material, es decir para el material del sitio de la línea del proyecto y también para el material para el banco de préstamo.

3.4.1 Granulometría

En carretera es importante que el suelo este bien graduado, para que, al compactarlo, las partículas más finas ocupen los huecos que dejan los áridos de mayor tamaño reduciendo de esta forma el número de huecos y alcanzando una mayor estabilidad y capacidad portante.

Se hizo el procedimiento necesario a como lo establece la guía de laboratorios de suelos de la UNI (ver guía de laboratorio de mecánica de suelos I, página 38), para obtener el análisis granulométrico para el material del sitio y para el material del banco de préstamo que se presenta en la siguiente tabla.

Imagen 16: Análisis granulométrico para material de sitio.

Análisis Granulométrico que Retiene el Tamiz N°4				
Tamiz	Masa retenida (gramos)	% retenido parcial	% retenido Acumulado	% pasante
1"	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	21.4	2.9	2.9	97.1
1/2"	0.0	0.0	2.9	97.1
3/8"	85.6	11.5	14.4	85.6
N°4	137.1	18.4	32.7	67.3
Pasa N°4	501.3	67.3	100.0	-
Suma	745.4	100.0	-	-
Análisis Granulométrico que pasa el Tamiz N°4				
Tamiz	Masa retenida (gramos)	% retenido parcial	% retenido Acumulado	% pasante
10.0	1.5	0.2	0.2	67.0
16.0	1.8	0.2	0.4	66.8
40.0	6.7	0.9	1.3	65.9
100.0	26.1	3.5	4.8	62.4
200.0	51.2	6.9	11.7	55.5
Pasa N° 200	414.0	55.5	67.3	-
Suma	501.3	67.3	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el ensaye de granulometría del material del sitio nos permite conocer el tamaño de las partículas del suelo de la línea del proyecto con el que se está trabajado con ayuda de la gráfica de granulometría (ver anexos página viii, imagen 41), además, nos permite poder clasificar el suelo mediante la norma AAHSTO M

145, sin embargo, para esto también se necesita conocer la plasticidad que tiene el suelo. Entonces una vez calculada la plasticidad del suelo del sitio se procederá a obtener la clasificación del suelo, el cual lo veremos más adelante de este documento.

Imagen 17: Análisis granulométrico para el material de banco.

Análisis Granulométrico que Retiene el Tamiz N°4				
Tamiz	Masa retenida (gramos)	% retenido parcial	% retenido Acumulado	% pasante
3"	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	41.1	1.5	1.5	98.5
1 1/2"	0.0	0.0	1.5	98.5
1"	0.0	0.0	1.5	98.5
3/4"	508.1	18.5	19.9	80.1
1/2"	0.0	0.0	19.9	80.1
3/8"	573.1	20.8	40.8	59.2
N°4	662.6	24.1	64.8	35.2
Pasa N°4	968.2	35.2	100.0	-
Suma	2753.1	100.0	-	-
Análisis Granulométrico que pasa el Tamiz N°4				
Tamiz	Masa retenida (gramos)	% retenido parcial	% retenido Acumulado	% pasante
10.0	65.2	12.6	12.6	22.5
16.0	33.1	6.4	19.1	16.1
40.0	23.5	4.6	23.6	11.5
100.0	11.1	2.2	25.8	9.4
200.0	7.2	1.4	27.2	8.0
Pasa N° 200	41.2	8.0	35.2	-
Suma	181.3	35.2	-	-

Fuente: Elaboración propia.

A partir del ensaye de granulometría del material del banco nos permite conocer el tamaño de las partículas del suelo del banco de materiales para este proyecto con ayuda de la gráfica de granulometría (ver anexos página ix, imagen 42), que será un material granular, además, nos permite poder clasificar el suelo mediante la norma AAHSTO M 145, sin embargo, para esto también se necesita conocer la plasticidad que tiene el suelo granular del banco de materiales. Entonces una vez

calculada la plasticidad del suelo del banco se procederá a obtener la clasificación del suelo, el cual lo veremos más adelante de este documento.

3.4.2 Límites de Atterberg

La consistencia del suelo es la firmeza con que se unen los materiales que lo componen o la resistencia de los suelos a la deformación y la ruptura. La consistencia del suelo se mide por muestras de suelo mojado, húmedo y seco. En los suelos mojados, se expresa como adhesividad y plasticidad. La consistencia del suelo puede estimarse en el campo mediante ensayos sencillos, o medirse con mayor exactitud en el laboratorio. Para los ensayos de las muestras del material del sitio y material del banco se emplea el método A según la guía de laboratorios de suelos de la UNI, (ver guía de laboratorio de mecánica de suelos I página 49).

- **Límite líquido**

Esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la cuchara de Casagrande, copa de Casagrande o cazuela de Casagrande y se golpea consecutivamente contra la base de la máquina, haciendo girar la manivela, hasta que el surco que previamente se ha hecho en la muestra se cierre en una longitud de 12,7 mm (1/2"). Si el número de golpes para que se cierre el surco es 25, la humedad del suelo (razón peso de agua/peso de suelo seco) corresponde al límite líquido.

Se siguió el procedimiento paso a paso de la guía para obtener los datos para calcular el límite líquido que se presenta más adelante de este documento.

Cabe destacar que para calcular el límite líquido se hace un promedio aritmético de las muestras que se ensayaron.

- **Límite Plástico**

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios de los cuales se menciona el desarrollado por Atterberg, el cual dijo en primer lugar que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial

y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida. Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente.

Se define el límite plástico como la humedad más baja con la que pueden formarse con un suelo cilindros de 3 mm de diámetro, rodando dicho suelo entre los dedos de la mano y una superficie lisa, hasta que los cilindros presenten grietas.

Se siguió el procedimiento paso a paso de la guía para obtener los datos para calcular el límite Plástico que se presentaran más adelante.

- **Índice de Plasticidad**

Índice de plasticidad: El contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse.

El índice de plasticidad se expresa con el porcentaje del peso en seco de la muestra de suelo, e indica el tamaño del intervalo de variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico. Mientras mayor sea el IP, mayor será la compresibilidad del suelo.

Para obtener el índice de plasticidad de un suelo se calcula haciendo una diferencia del Límite líquido obtenido y el límite plástico obtenido, es decir:

$$IP = (LL - LP)$$

Ecuacion No. 9

A continuación, se presentan las tablas de los límites líquidos, límites plásticos e índices de plasticidad para las dos muestras de suelos, sitio y banco.

Imagen 18: Limite líquido y limite plástico e índice de plasticidad para material del sitio.

	Limite Liquido (AASHTO T 89)			Limite Plastico (AASHTO T 90)	
	16	22	30	-	-
Nº golpes	16	22	30	-	-
Tara	A-120	A-120	A-07	A-04	D-03
Materia Humedo + tara	95.75	102.40	128.70	35.60	38.50
Material seco + tara	76.51	82.70	98.10	31.70	34.10
Masa de tara	43.28	47.20	40.00	21.50	22.00
Masa de Agua	19.24	19.70	30.60	3.90	4.40
Masa del Suelo seco	33.23	35.50	58.10	10.20	12.10
Limite Liquido	57.90	55.49	52.67	38.24	36.36

Consistencia	
Limite Liquido	55.4
Limite Plastico	37.3
Indice de Plasticidad	18.1

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido los datos del límite de consistencia del material de sitio se calcula el porcentaje de limite líquido que tiene el suelo, y limite plástico mediante un promedio aritmético, y finalmente se calcula el índice de plasticidad con que se encuentra el suelo de la línea del proyecto.

$$\text{Limite liquido} = \frac{57.90 + 55.49 + 52.67}{3} = 55.4$$

$$\text{Limite plastico} = \frac{38.24 + 36.36}{2} = 37.3$$

$$\text{indice de plasticidad} = (55.4 - 37.3) = 18.1$$

Con estos datos recopilados mediante el ensaye de límites de consistencia para el material del sitio nos damos cuenta de que el suelo se encuentra en un estado plástico apoyándonos con la gráfica de consistencia (ver anexo página ix, imagen 43), el cual no es recomendable ser utilizado como material de base según la norma (Nic 2019 tomo II sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes).

Así mismo una vez obtenido los límites de consistencia del suelo del sitio de la línea del proyecto podemos identificar y/o clasificar el tipo de suelo con el que estamos trabajando en la línea del proyecto.

Imagen 19: Clasificación de suelo del material del sitio

Resultados	
Clasificación AASHTO M 145	A-7-5 (8)
Pasa malla no.:10	1.5
Pasa malla no.:40	6.7
Pasa malla no.:200	51.2
Límite líquido	55.4
Índice de plasticidad	18.1

Fuente: Elaboración propia

La clasificación del suelo del sitio nos permite identificar que el suelo de tipo A-7-5 (8), esto según AASHTO M 145 es un material de clasificación limo arcillosos, específicamente un suelo arcilloso ya que más del 35 % pasa por el tamiz número 200 el cual no es apto para ser utilizado como material de base en la estructura de pavimento según la norma (Nic 2019 tomo II sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes).

Imagen 20: Limite líquido y limite plástico e índice de plasticidad para material del banco.

	Limite Liquido (AASHTO T 89)			Limite Plastico (AASHTO T 90)	
Nº golpes	19	27	33	-	-
Tara	A-3	A-2	A-1	A-4	A-5
Materia Humedo + tara	31.48	30.70	36.00	14.70	21.86
Material seco + tara	26.00	26.60	29.60	13.60	19.30
Masa de tara	12.40	16.10	12.40	9.00	9.00
Masa de Agua	5.48	4.10	6.40	1.10	2.56
Masa del Suelo seco	13.60	10.50	17.20	4.60	10.30
Limite Liquido	40.29	39.05	37.21	23.91	24.85

Consistencia	
Limite Liquido	38.9
Limite Plastico	24.4
Indice de Plasticidad	14.5

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a lo obtenido de los datos del límite de consistencia del material de banco se calcula el porcentaje de limite líquido que tiene el suelo, y limite plástico mediante un promedio aritmético, y finalmente se calcula el índice de plasticidad con que se encuentra el suelo de la línea del proyecto.

$$\text{Limite liquido} = \frac{40.29 + 39.05 + 37.21}{3} = 38.9$$

$$\text{Limite plastico} = \frac{23.91 + 24.85}{2} = 24.4$$

$$\text{indice de plasticidad} = (38.9 - 24.4) = 14.5$$

Con estos datos recopilados mediante el ensaye de límites de consistencia para el material de banco nos damos cuenta que el suelo se encuentra en un estado plástico apoyándonos con la gráfica de consistencia, (ver anexo página ix, imagen 44), sin embargo, el suelo es un material granular que si puede ser utilizado como material de base para la estructura de pavimento, pero se le tienen que hacer mejoras para lograr reducir la plasticidad que tiene, que esto se logra con una

estabilización empleando cemento, según lo indica la norma (Nic 2019 tomo II sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes).

Así mismo una vez obtenido los límites de consistencia del suelo del banco podemos identificar y/o clasificar el tipo de suelo con el que estamos trabajando.

Imagen 21: Clasificación de suelo de banco de materiales

Resultados	
Clasificación AASHTO M 145	A-2-6 (0)
Pasa malla no.:10	65.1
Pasa malla no.:40	23.5
Pasa malla no.:200	7.2
Limite liquido	38.9
Indice de plasticidad	14.5

Fuente: Elaboración propia.

La clasificación del suelo del banco nos permite identificar que el suelo de tipo A-2-6 (0), esto según AASHTO M 145 es un material de clasificación granular, específicamente un suelo con arena y grava arcillosa ya que menos del 35 % pasa por el tamiz número 200 el cual es apto para ser utilizado como material de base en la estructura de pavimento, sin embargo, este suelo todavía presenta un contenido de plasticidad alta a lo que la norma (Nic 2019 tomo II sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes), recomienda hacerle una mejora aplicándole cemento a diferentes porcentajes para reducir su índice de plasticidad.

3.4.3 Estabilización del Material del Banco de Préstamo

Tomando en cuenta los resultados obtenidos del ensaye de límites de consistencia realizados al banco de materiales, el material en estado natural es recomendado para ser utilizado como material de base de la estructura de pavimento, sin embargo, es necesario lograr que el índice de plasticidad cumpla con los requisitos que establece la norma (Nic 2019 tomo II sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes),

por lo tanto, se recomienda hacer estabilización con cemento para disminuir el índice de plasticidad y que este pueda tener una mejor funcionalidad como capa base en la estructura de pavimento.

La norma (Nic 2019 en su sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes, en la pág. 828), establece parámetros que se deben cumplir para estabilizar materiales con cemento (Ver anexos página viii, tabla 21), por lo tanto, se procede a realizar el ensaye para la estabilización del material de banco y verificar la reducción de su plasticidad.

Para realizar la estabilización del material de banco con el fin de reducir su índice de plasticidad para que pueda ser utilizado como material de base en la estructura de pavimento se puede proceder a estabilizar el suelo a diferentes porcentajes de cemento, como, por ejemplo: al 4, 6 y 8 % de cemento aplicado al peso seco del material. Sin embargo, por motivos que no se contaba con suficiente material para ensayar a 3 porcentajes de cemento como mínimo, se decidió realizar únicamente estabilización al 8 % de cemento, el cual es el porcentaje propuesto más alto.

A lo que se propone para fines futuros realizar los 3 ensayes con diferentes porcentajes de cemento, esto para tener un estudio más específico y técnico, asimismo, para garantizar mayor economía en los costos de materiales y construcción.

Se procedió a determinar el porcentaje necesario a estabilizar realizando una probeta con 8% de cemento Pórtland (basados en el peso seco de dicho material), la cual fue sometida a ensaye de resistencia a la compresión simple a los 7 días de edad, para verificar que cumpla con la resistencia mínima que manda la norma (Nic 2019, sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes).

A continuación, se presentan los datos recopilados en el laboratorio para la estabilización con suelo cemento para el material del banco de préstamo.

Imagen 22: Índice de plasticidad para estabilización con el 8 % de cemento.

LIMITE LIQUIDO (AASHTO T 89)		
Nº golpes	26	30
Tara	H-18	H-19
Materia Humedo + tara	35.20	40.20
Material seco + tara	31.00	34.40
Masa de tara	21.70	21.70
Masa de Agua	4.20	5.80
Masa del Suelo seco	9.30	12.70
Limite Liquido	45.16	45.67
	45.39	45.76
LIMITE PLASTICO (AASHTO T 90)		
Nº golpes		
Tara	H-20	D-02
Materia Humedo + tara	39.70	34.30
Material seco + tara	34.70	30.80
Masa de tara	21.90	22.00
Masa de Agua	5.00	3.50
Masa del Suelo seco	12.80	8.80
Limite plastico	39.06	39.77

Consistencia	
Limite Liquido	45.4
Limite Plastico	39.4
Indice de Plasticidad	6.0

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Limite liquido} = \frac{45.16 + 45.67}{2} = 45.4$$

$$\text{Limite plastico} = \frac{39.06 + 39.77}{2} = 39.4$$

$$\text{indice de plasticidad} = (45.4 - 39.4) = 6.0$$

Tabla 8: Especificaciones para estabilización de base con suelo cemento

Fuente: Nic 2019 Tomo II pág. 828

Los cálculos obtenidos con un porcentaje de cemento del 8 % nos reflejan que el índice de plasticidad ha bajado al rango en que lo establece la norma (Nic 2019, sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes). Lo cual nos confirma que el suelo estabilizado es idóneo para ser utilizado como material de base en la estructura del pavimento de tipo adoquinado.

Una vez que identificamos la reducción de la plasticidad del suelo, se procede a dejar la muestra 7 días en estado de fraguado para hacerle un ensaye de resistencia a compresión simple y verificar que cumpla con una resistencia mínima de 2100 Kn/m² equivalente a 21 kg/cm² o 305 PSI, lo cual está establecido en la Norma (Nic 2019 pág. 828).

A continuación, se presentan los datos obtenidos al realizar ensaye de compresión simple a la muestra de suelo del banco estabilizada a un 8 % de cemento.

Tabla 9: Resistencia a la compresión de la muestra de suelo estabilizada

Fuerza aplicada a la muestra (Lb)	Área del pistón (pulg ²)	Resistencia según Nic 2019 (PSI)	Resistencia obtenida (PSI)	Criterio
7990	28.27	305	282.63	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el dato de interés que es la resistencia mínima del suelo estabilizado, nos damos cuenta que el dato está por debajo de lo recomendado por la norma (Nic 2019 en la pág. 828), por lo tanto, en resistencia a compresión el suelo estabilizado con cemento no cumple con la resistencia mínima de 305 PSI.

Sin embargo, para el diseño de los espesores de la estructura de pavimento, se tomarán los parámetros mínimos que establece la norma (Nic 2019 página 828)

que debe de cumplir el suelo estabilizado para ser utilizado como capa base de la estructura de pavimento.

3.4.4 Ensayo Proctor Estándar.

Se denomina compactación de suelos al proceso mecánico por el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y esfuerzo deformación de los mismos. Este proceso implica una reducción más o menos rápida de los vacíos, como consecuencia de la cual en el suelo ocurren cambios de volúmenes de importancia, fundamentalmente ligados a pérdida de volumen de aire.

El ensayo proctor estándar 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. Un suelo con un contenido de humedad seleccionado es colocado en tres capas dentro de un molde cilíndrico de dimensiones conocidas, cada capa es compactada por medio de la caída de un pisón de 2.5 Kg (5.5 lb) con una altura de caída de 12", aplicando de 25 a 56 golpes y sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de 12,400 lb/pie³ que es lo mismo que 600 Kn/m³.

Determinándose posteriormente su peso unitario seco. El procedimiento es repetido para un número suficiente de contenidos de agua para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de agua del suelo. Graficados estos datos representan una relación curvilínea conocida como "curva de compactación". Los valores del contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo del suelo, son determinados utilizando dicha curva.

Para este ensayo se puso en práctica lo que dice la guía de laboratorio de suelos de la UNI, asimismo, la norma AASHTO T 99, y se realizó todo el procedimiento necesario y paso a paso para lograr obtener muestras que dicta la guía de laboratorios de suelos empleando el método A (ver guía de laboratorio de mecánica de suelos I, página 59).

A continuación, se presenta la tabla con los datos recopilados en el laboratorio para el ensaye de compactación Proctor estándar del material del sitio de la línea del proyecto.

Imagen 23: Datos del ensaye Proctor Estándar

Mat. Seco Propuesto (gr)	4500	Masa del Molde (gr):	4170	Volumen del Molde (cm3):	900
% Agua a agregar	3				
CÁLCULO DE LA DENSIDAD SECA MAXIMA DEL MATERIAL					
Punto:	1	2	3	4	5
Cantidad de agua a agregar (ml)	135	225	405	495	585
Masa del Molde Mas Material Húmedo (gr)	5680	5750	5760	5760	5780
Masa del Material Húmedo (gr)	1510	1580	1590	1590	1610
Densidad Húmeda del Material (kg/m3)	1678	1756	1767	1767	1789
Densidad Seca del Material (Kg/m3)	1319	1353	1346	1335	1330
CÁLCULO DE HUMEDAD OPTIMA DEL MATERIAL					
Masa de la muestra húmeda + Tara (gr)	395.2	246.8	259.4	400.7	181.0
Masa de la muestra seca + Tara (gr)	345.5	199.7	207.6	343.0	148.8
Masa de la Tara	163.0	41.6	41.6	164.5	55.5
Masa del Agua (gr)	49.7	47.1	51.8	57.7	32.2
Húmedad de la muestra (gr)	27.2	29.8	31.2	32.3	34.5

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado los cálculos del ensaye del proctor estándar para el material del sitio los datos que interesan para posteriormente utilizarse en los ensayos de CBR son la densidad seca máxima del material en Kg/m³ y la humedad óptima con que cuenta este material de la línea del proyecto, con la ayuda de la curva de compactación de este ensaye (ver anexos página x, imagen 45), nos damos cuenta de que alcanzamos una densidad seca máxima de 1354 Kg/m³ y una humedad óptima del 30.1 %.

3.4.5 Ensayo Proctor Modificado.

Al igual que en el caso del ensayo proctor estándar, repetiremos el ensayo varias veces, para distintas humedades, con objeto de poder representar la curva de compactación a partir de varios valores. Como hemos comentado, esta modalidad del ensayo utiliza una energía de compactación mayor, por lo que recrea con mayor fidelidad las condiciones de compactación de una obra, y por ello, se suele

exigir a la compactación de capas granulares un determinado porcentaje respecto del valor obtenido en el ensayo proctor modificado.

En el proctor modificado la energía de compactación es mayor, además, en lugar de 3 capas de material granular son 5 capas para esta prueba. El proctor modificado consiste en dejar caer un peso (pistón) de 5 kg a una altura de aproximadamente 45 centímetros, se dispondrán 5 capas, dando a cada una de ellas un total de 56 golpes, esto según el método A de la guía de laboratorio de suelos de la UNI, (ver guía de laboratorio de mecánica de suelos I, página. 74), y la norma AAHSTO T 180.

La importancia de la compactación es obtener un suelo de tal manera estructurado que posea y mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra.

Por lo general las técnicas de compactación se aplican a rellenos artificiales, tales como cortina de presa de tierra, diques, terraplenes para caminos y ferrocarriles, muelles, pavimentos, etc. Algunas veces se hace necesario compactar el terreno natural, como en el caso de cimentaciones sobre arena suelta.

A continuación, se presenta la tabla con los datos recopilados en el laboratorio para el ensaye de compactación Proctor estándar del material del sitio de la línea del proyecto.

Imagen 24: Datos del ensaye Proctor Modificado.

Mat. Seco Propuesto (gr)	8000	Masa del Molde (gr):	7140	Volumen del Molde (cm3):	3200
% Agua a agregar	3				
CÁLCULO DE LA DENSIDAD SECA MAXIMA DEL MATERIAL					
Punto:	1	2	3	4	5
Cantidad de agua a agregar (ml)	240	400	720	880	1040
Masa del Molde Mas Material Húmedo (gr)	12750	13100	13840	13760	13570
Masa del Material Húmedo (gr)	5610	5960	6700	6620	6430
Densidad Húmeda del Material (kg/m3)	1753	1863	2094	2069	2009
Densidad Seca del Material (Kg/m3)	1544	1606	1764	1704	1623
CÁLCULO DE HUMEDAD OPTIMA DEL MATERIAL					
Masa de la muestra húmeda + Tara (gr)	218.1	225.0	238.6	238.5	207.8
Masa de la muestra seca + Tara (gr)	198.0	199.7	207.6	206.4	178.5
Masa de la Tara	49.2	41.6	41.6	56.4	55.5
Masa del Agua (gr)	20.1	25.3	31.0	32.1	29.3
Húmedad de la muestra (gr)	13.5	16.0	18.7	21.4	23.8

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado los cálculos del ensaye del proctor modificado para el material del banco de materiales los datos que interesan para posteriormente utilizarse en los ensayos de CBR son la densidad seca máxima del material en Kg/m³ y la humedad óptima con que cuenta el suelo del banco de materiales del proyecto, con la ayuda de la curva de compactación de este ensaye (ver anexos página x, imagen 46), nos damos cuenta que alcanzamos una densidad seca máxima de 1767 Kg/m³ y una humedad óptima del 19.0 %.

3.4.6 Ensayo de Valor Soporte California (CBR)

Para el ensaye de Valor Soporte California lo que se quiere determinar es la resistencia del suelo a soportar esfuerzos cortantes. Entonces como se cuenta con 2 tipos de materiales, el material del sitio y el material de banco, se procede a realizar dos ensayos CBR para cada material que se presenta a continuación.

Imagen 25: Clasificación de CBR según su uso

CBR	Calificación CBR	Uso	Clasificación AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	A5, A6, A7
3-7	Pobre - regular	Subrasante	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Subrasante	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base - subbase	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	A1a, A2-4, A3

Fuente: Manual de laboratorio de suelos de ingeniería civil. Bowles J. (1989)

- **CBR para Material del Sitio.**

El índice de California es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad controladas, su objetivo es simular las condiciones de saturación a las cuales van a estar sometidos los suelos como la subrasante de una carretera, obteniendo de esta forma las condiciones más críticas a las que va a estar sometido el suelo por acción de cargas vehiculares.

Este ensayo es una variable de suma importancia para la cuantificación de los espesores de pavimento, por ello se realizó el ensaye de C.B.R a las muestras de suelo tanto material de sitio como material del banco.

Para la realización de este ensayo las muestras fueron compactadas y saturadas por un periodo de 96 horas, seguido de esto se hicieron las lecturas de penetración para encontrar los respectivos valores de CBR a una penetración de 0.1" y 0.2".

Para cada muestra se trabajaron 3 moldes con distinta energía de compactación (10, 25 y 56 golpes respectivamente).

Ya que los valores de CBR son mayores a una penetración de 0.1", estos fueron los utilizados para la elaboración de las gráficas Densidad vs CBR, de esta forma se encontraron los valores de CBR correspondientes al 90% ,95% y 100% de densidad seca máxima del proctor para cada una de las muestras, estas densidades fueron establecidas anteriormente en los ensayos de proctor estándar y modificado.

El CBR está dado por la siguiente ecuación:

$$C.B.R = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \times 100 \quad (\text{Ecuación No. 10})$$

A continuación, se presenta la tabla con los datos recopilados en el laboratorio para el ensaye CBR del material del sitio de la línea del proyecto y sus respectivos resultados.

Imagen 26: Datos del ensaye CBR para el material del sitio.

N° golpes	ID. molde	Vol. Molde (cm3)	Masa del Molde (kg)	Molde + Material (kg)	Masa del material (kg)	Densidad húmeda (kg/m3)	Densidad Seca (kg/m3)	% compact.	
10	#1	2.200	7110	10600	3490	1586	1226.0	90.5	
25	#2	2.200	7110	10810	3700	1682	1276.4	94.3	
56	#3	2.200	7110	11020	3910	1777	1363.9	100.7	
Humedad al 90% compactación		Humedad al 95% compactación			Humedad al 100% compactación				
N° Tara	A-19	N° Tara	A-041	N° Tara	A-12				
Masa de Tara	42.7	Masa de Tara	41.1	Masa de Tara	41.7				
Masa húmeda + Tara	212.6	Masa húmeda + Tara	178.0	Masa húmeda + Tara	172.4				
Masa seca + Tara	174.0	Masa seca + Tara	145.0	Masa seca + Tara	142.0				
Humedad (%)	29.4	Humedad (%)	31.8	Humedad (%)	30.3				
Penetración de especímenes después de 96 horas de saturación									
Penetración	Especimen al 90% compactación			Especimen al 95% compactación			Especimen al 100% compactación		
pulg	Lectura (kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Esfuerzo corregido (lb/pulg2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Esfuerzo corregido (lb/pulg2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (kg/cm2)	Esfuerzo corregido (lb/pulg2)
0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	3.60	0.18	3.3	8.41	0.41	7.25	24.02	1.18	16.85
0.050	4.80	0.24	5.5	16.81	0.83	16.04	48.04	2.37	33.70
0.075	7.21	0.36	7.6	24.02	1.18	23.93	72.05	3.55	50.55
0.100	8.41	0.41	11.1	43.23	2.13	30.33	144.11	7.11	64.71
0.150	10.81	0.53	14.7	48.04	2.37	45.16	168.12	8.29	92.00
0.200	12.01	0.59	14.5	55.24	2.73	58.91	192.14	9.48	115.93
0.250	13.21	0.65	17.5	58.84	2.90	66.47	216.16	10.66	142.56
0.300	24.02	1.18	22.7	67.25	3.32	74.55	240.18	11.85	168.50

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado los cálculos respectivos para determinar el CBR de diseño del material del sitio al 95 % de compactación se presentan los datos finales del CBR.

Imagen 27: Resultados del ensaye CBR para el material del sitio.

Resultados			
Clasificación AASHTO M 145	A-7-5 (8)	Densidad seca Máxima (kg/m ³)	1354
Limite Líquido (%)	55.4	C.B.R (90%)	1.1
Limite Plástico (%)	37.3	C.B.R (95%)	3.0
Índice Plasticidad (%)	18.1	C.B.R (100%)	6.5

Fuente: Elaboración propia.

Para el material de sitio se tiene un CBR de diseño de 3.0 al 95 % de compactación a como lo indica la norma (Nic 2019, sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes), y una gráfica de compactación (ver anexos página xi, imagen 47), con una clasificación de muy pobre, según a como lo especifica el (manual de laboratorio de suelos de ingeniería civil Bowles. J 1980, pág. 191), el cual puede ser utilizado como material en la subrasante de la estructura del pavimento.

- **CBR para Material de Banco.**

Para la realización del ensaye CBR para el material de banco de préstamo, se procede a ejecutar el mismo procedimiento que para el material del sitio, la única variante en esta prueba solamente es el material, que para el banco de materiales se cuenta con un material granular según su clasificación AAHSTO M 145 A-2-6 (0).

Es importante mencionar que anteriormente se había planteado que el material de banco si va ser utilizado como material de relleno para la capa base de la estructura del pavimento adoquinado, sin embargo se tiene que tomar en cuenta los cálculos que se obtengan en el ensaye del CBR para el material del banco para confirmar si el CBR de diseño al 95 % de compactación que se utilizará en el capítulo IV será el dato obtenido del ensaye o un dato proporcionado por la norma (Nic 2019, sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes).

A continuación, se muestran los datos obtenidos en el ensaye del CBR para el suelo del banco de materiales.

Imagen 28: Datos del ensaye CBR para el material de banco.

N° golpes	ID. molde	Vol. Molde (cm ³)	Masa del Molde (kg)	Molde + Material (kg)	Masa del material (kg)	Densidad húmeda (kg/m ³)	Densidad Seca (kg/m ³)	% compact.
10	#4	2.200	7070	11240	4170	1895	1600.9	90.6
25	#5	2.200	7140	11520	4380	1991	1664.5	94.2
56	#6	2.200	7130	11755	4625	2102	1766.5	100.0

Humedad al 90% compactación		Humedad al 95% compactación		Humedad al 100% compactación	
N° Tara	A-19	N° Tara	A-041	N° Tara	A-12
Masa de Tara	23.5	Masa de Tara	22.4	Masa de Tara	23.1
Masa húmeda + Tara	248.7	Masa húmeda + Tara	265.8	Masa húmeda + Tara	322.4
Masa seca + Tara	213.7	Masa seca + Tara	225.9	Masa seca + Tara	274.6
Humedad (%)	18.4	Humedad (%)	19.6	Humedad (%)	19.0

Penetración de especímenes después de 96 horas de saturación									
Penetración	Especimen al 90% compactación			Especimen al 95% compactación			Especimen al 100% compactación		
pulg	Lectura (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo corregido (lb/pulg ²)	Lectura (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo corregido (lb/pulg ²)	Lectura (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo corregido (lb/pulg ²)
0.000	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	36.98	1.82	34.2	58.43	2.88	54.52	88.81	4.38	82.87
0.050	62.14	3.07	70.6	98.18	4.84	97.81	149.24	7.36	148.68
0.075	89.23	4.40	97.0	140.98	6.96	145.40	214.29	10.57	213.49
0.100	133.14	6.57	132.6	210.36	10.38	214.00	319.75	15.78	305.09
0.150	173.28	8.55	173.8	273.78	13.51	291.96	416.15	20.53	446.71
0.200	221.89	10.95	214.8	350.59	17.30	373.87	532.89	26.29	553.33
0.250	265.79	13.11	246.1	419.95	20.72	474.35	638.32	31.49	698.63
0.300	294.63	14.54	279.1	465.52	22.97	545.42	707.58	34.91	819.11

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado los cálculos respectivos para determinar el CBR de diseño del material del banco al 95 % de compactación se presentan los datos finales del CBR.

Imagen 29: Resultados del ensaye CBR para el material de banco.

Resultados			
Clasificación AASHTO M 145	A-2-6 (0)	Densidad seca Maxima (kg/m3)	1767
Limite Liquido (%)	38.9	C.B.R (90%)	13.3
Limite Plastico (%)	24.4	C.B.R (95%)	21.4
Indice Plasticidad (%)	14.5	C.B.R (100%)	30.5

Fuente: Elaboración propia

Para el material de banco se tiene un CBR de diseño de 21.4 al 95 % de compactación a como lo indica la norma (Nic 2019, sección 1003, especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes), y una gráfica de compactación (ver anexos página xi, imagen 48), con una clasificación de bueno, según a como lo especifica el (Manual de laboratorio de suelos de ingeniería civil Bowles. J 1980, pág. 191), el cual puede ser utilizado como material de base o subbase de la estructura del pavimento.

Sin embargo, este valor está por debajo del valor mínimo que establece dicha norma, aun así, este material si se utilizará como base en la estructura de pavimento, a como se especificó anteriormente, con la única variante que en el capítulo de diseño de la estructura de pavimento se utilizara el CBR mínimo que la norma (Nic 2019, pág. 828) establece, que es del 30 % mínimo al 95 % y no el valor calculado en este ensaye.

Por lo tanto, se confirma en este ensaye realizado que se dispondrá del material del banco de materiales para ser utilizado como material de relleno en la base de la estructura de pavimento.

CAPITULO IV:

DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO



4.1 Introducción

En el presente capítulo se aborda el diseño de espesores de la estructura de pavimento articulado por medio del método AAHTO 93, el cual se basa principalmente en identificar un número estructural (SN) que depende de la resistencia estructural de un pavimento requerido para una combinación de soporte del suelo (M_r), carga de ejes equivalentes (ESAL), serviciabilidad final y condiciones ambientales.

Los pavimentos son estructuras compuestas por capas de diferentes materiales, que se construyen sobre el terreno natural, para que personas, animales o vehículos puedan transitar sobre ellos, en cualquier época del año, de manera segura, cómoda y económica.

Los materiales de las capas se escogen según su costo y disponibilidad, y mientras más superficiales estén, mejores (más resistentes) deberán ser. A la capa de la superficie se le denomina capa de rodadura y es la que está en contacto directo con el tránsito. A las capas inferiores se les llama base (cuando se tiene sólo una) o base y subbase (cuando se tienen dos). Al terreno natural o suelo se le conoce como subrasante y es el encargado de soportar el pavimento.

4.2 Elementos del pavimento articulado

Pavimentos de Adoquines de concreto. Su capa de rodadura está conformada por los adoquines de concreto, colocados sobre una capa de arena y con un sello de arena entre sus juntas. De la misma manera que los pavimentos de asfalto, pueden tener una base, o una base con una sub-base, que pueden tener espesores ligeramente menores que para los de asfalto. También se consideran como pavimentos flexibles y son del color gris claro del concreto.

Las ventajas de estos pavimentos se basan en que su capa de rodadura está hecha con adoquines de concreto; es decir, piezas prefabricadas, que se pueden producir tanto en equipos sencillos y pequeños como en tecnificados y grandes; por parte de productores comerciales, grupos comunitarios o administraciones municipales, sin importar la escala y la localización de los proyectos. Para su

construcción se utiliza poca maquinaria (básicamente una placa vibro compactadora y mucha mano de obra local).

Los espesores de las capas dependen del tránsito que va a soportar el pavimento, de la dureza del suelo y de los materiales con que se van a construir estas capas, y deben tener la suficiente calidad para que el pavimento soporte el peso del tránsito, durante un tiempo determinado, sin deformarse, ni deteriorarse. Todo esto depende del tránsito que va a circular por la vía para definir el espesor de la capa de pavimento. Asimismo, estas capas se dividen en:

- **Capa de adoquines**

Los adoquines tienen un espesor mínimo de 8 cm para todo tráfico peatonal, animal o vehicular corriente. De acuerdo con lo establecido en la NIC 2019 para tráfico liviano la resistencia mínima a la compresión luego de 28 días es de 34.3 Mpa.

- **Capa de arena**

Esta capa se construye con un espesor no menor de 3 cm y no mayor a 4 cm, con arena suelta, gruesa y limpia, la cual no se compacta antes de colocar los adoquines sobre ella.

- **La base**

El espesor de la base depende del material con que se construya, del tránsito y de la calidad del suelo. Se determinan los espesores de base según la categoría del suelo, el tipo de tránsito y el material disponible. Según la NIC 2019 el CBR realizado al 95% del proctor modificado y 4 días de saturación tiene que ser de 30% como mínimo.

4.3 Variables de diseño

Se consideran como “variables generales de diseño” aquellas que deben ser consideradas en el diseño y construcción de cualquier estructura de pavimento.

4.3.1 Confiabilidad (R)

Es uno de los parámetros importantes introducidos por la AASHTO al diseño de pavimentos, ya que establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las solicitaciones exteriores. Se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida del proyecto, bajo las solicitaciones de carga e intemperismo.

Imagen 30. Recomendaciones de confiabilidad según la clasificación funcional.

Functional Classification	Recommended Level of Reliability	
	Urban	Rural
Interstate and Other Freeways	85–99 9	80–99 9
Principal Arterials	80–99	75–95
Collectors	80–95	75–95
Local	50–80	50–80

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Pág.II-9.

De acuerdo a la importancia, así como la ubicación del barrio san Pedro se definen ambas calles a diseñar como locales, por lo tanto, el intervalo de confiabilidad es de 50% – 80%. Al promediar se obtiene un valor del 65%.

4.3.2 Desviación estándar normal (Zr)

Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la confiabilidad de diseño (R) o grado de confianza en que la carga de diseño no será superada por las cargas aplicadas sobre el pavimento.

Imagen 31. Valores de Zr para cada porcentaje de confiabilidad

Reliability, R (percent)	Standard Normal Deviate, 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: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993.Pág. I-62

En el parámetro de diseño anterior se definió una confiabilidad de 65%, con este valor se examinó la imagen No.30 de este documento con la finalidad de encontrar el valor de desviación estándar normal correspondiente, para ello se requirió realizar un promedio aritmético.

$$Z_r (65\%) = \frac{0.253 + 0.524}{2} = 0.389$$

Luego de realizar el promedio se obtiene el resultado de $z_r = 0.389$

4.3.3 Desviación estándar combinada (So)

Considera la variabilidad asociada a cada uno de los parámetros involucrados en el diseño, como la predicción del tránsito y el comportamiento del pavimento.

Imagen 32. So recomendado para pavimentos

0 30-0 40	Rigid Pavements
0 40-0 50	Flexible Pavements

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993.Pág. I-62.

Al realizar el promedio para pavimentos flexible se obtiene un $S_o = 0.45$

4.3.4 Índice de Serviciabilidad

Se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual fue diseñado, se toma en cuenta la serviciabilidad inicial (P_o) que se elige de acuerdo a la función del diseño de pavimento y su calidad de construcción. También la serviciabilidad final (P_t) que depende de la función del camino adaptada a los criterios de diseño del proyectista. De acuerdo con la normativa AASHTO 93 para pavimento flexible $P_o = 4.2$ y $P_t = 2.0$ para caminos de menor tránsito.

4.3.5 Pérdida de serviciabilidad

Se refiere a la variación de serviciabilidad final e inicial.

$$\Delta PSI = \rho_o - \rho_t \quad \text{Ecuación No. 11}$$

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.0 = 2.2$$

4.3.6 Módulo resiliencia (M_R)

Es una medida de la capacidad de almacenar o absorber energía sin que este experimente deformación permanente. De acuerdo con la guía de la AASHTO se calcula con pruebas que hacen relación al ensayo de California Bearing Ratio (CBR).

El módulo de resiliencia es una de las variables de diseño más importante, el cuál es necesario para el cálculo de los espesores de la estructura de pavimento. Se puede calcular con las siguientes expresiones dependiendo del caso que se requiera:

Para CBR menores a 10 la expresión es:

$$M_R = 1500 * CBR \quad \text{(Ecuación No. 12)}$$

Para CBR mayores a 10 la expresión es:

$$M_R = 4326 * \ln(CBR) + 241 \quad \text{(Ecuación No. 13)}$$

Con base a los resultados del ensayo de CBR realizado y explicado en el capítulo de estudios de suelos de este documento se tiene que el valor mínimo para base que será estabilizada es de 30% según lo indicado en la NIC - 2019 por lo tanto la ecuación a emplear es la No.11

$$M_R = 4,326 * Ln(CBR) + 241 = 4326 * Ln (30) + 241 = 14955 \text{ PSI}$$

4.3.7 Coeficiente de drenaje

Este coeficiente está en dependencia de dos parámetros como lo son: las condiciones de drenajes predominantes, así como el tiempo de humedad próximos a saturación presentes en el pavimento.

Imagen 33. Coeficientes de drenajes para pavimentos flexibles

Quality of Drainage	Percent of Time Pavement Structure is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation			
	Less Than 1%	1-5%	5-25%	Greater Than 25%
Excellent	1 40-1 35	1 35-1 30	1 30-1 20	1 20
Good	1 35-1 25	1 25-1 15	1 15-1 00	1 00
Fair	1 25-1 15	1 15-1 05	1 00-0 80	0 80
Poor	1 15-1 05	1 05-0 80	0 80-0 60	0 60
Very poor	1 05-0 95	0 95-0 75	0 75-0 40	0 40

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Pág.II-25

De acuerdo a la clasificación de suelo del material que se empleará en la estructura de pavimento, este es granular con poco porcentaje de finos lo que brinda no solo una satisfactoria capacidad de soporte, sino que aparte presenta buen comportamiento en cuanto a drenaje se refiere.

El suelo – cemento es un procedimiento por el cual se reduce el índice de plasticidad en suelos con baja plasticidad, además presenta un mejor comportamiento ante la presencia de saturación del suelo respecto a una base sin tratar.

Tomando en cuenta lo anterior se tomó como coeficiente de drenaje el valor de 1.00 presente en la imagen 24.

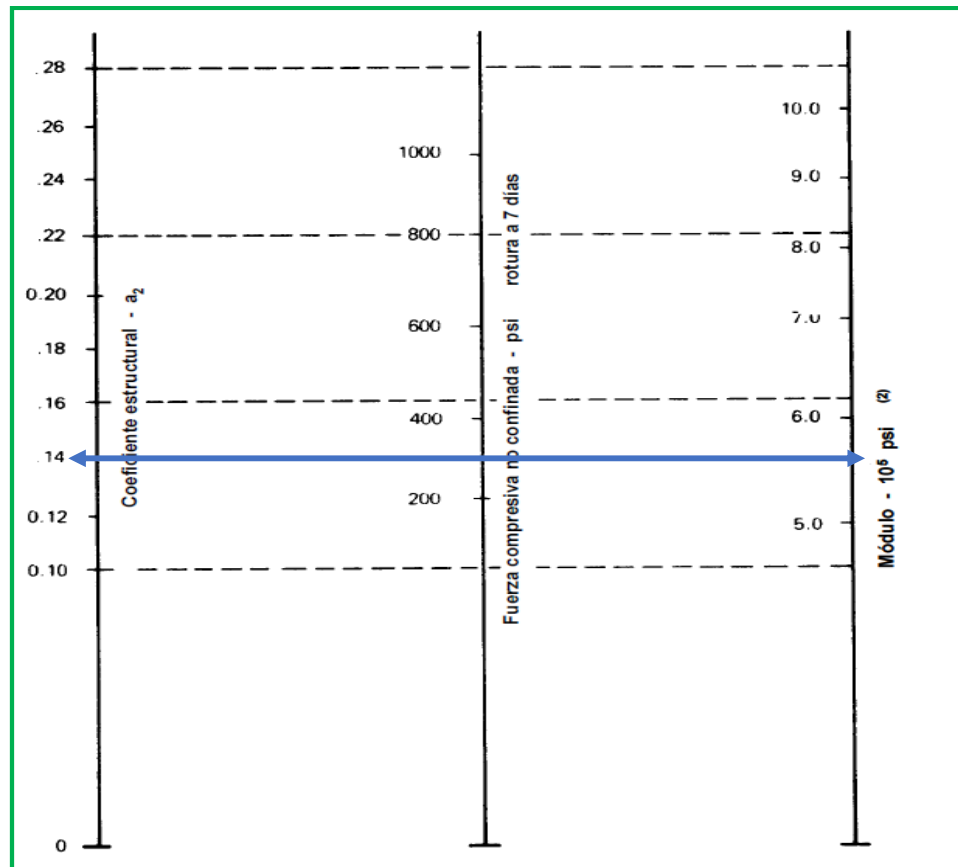
4.3.8 Coeficiente estructural de pavimento articulado (adoquín)

Con base a lo presentado en el manual centroamericano para diseño de pavimentos del año 2002, el valor a usar es de 0.45 en este tipo de pavimento.

4.3.9 Coeficiente estructural de la base que se estabilizó con cemento

Este coeficiente de 0.14 se obtuvo empleando la imagen 22, la cual requiere la fuerza no confinada que se obtuvo en el capítulo de estudios de suelos de este documento dónde se tiene que el valor mínimo es de 2100 KN/m² (305 psi) según lo indicado en la NIC-2019.

Imagen 34. Variación en el coeficiente estructural de la capa de base estabilizada



Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Pág.II-23.

4.3.10 Número estructural

- El numero estructural de adoquín (SN1) ya está dado por la expresión siguiente:

$$SN1 = a1 * d1 \quad (\text{Ecuación No.14})$$

Donde:

a1: Coeficiente estructural de adoquín: 0.45

d1: Espesor de adoquín: 4 pulgadas

$$SN1 = 0.45 * 4 = 1.8$$

En el cálculo del número estructural SN para base se podría obtener de dos maneras:

- Por medio de la ecuación de la guía AASHTO la cuál es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \left(\frac{\log_{10} \left(\frac{P_o - P_t}{P_o - 1.5} \right)}{\left(0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}} \right)} \right) + (2.32 * \log_{10} * M_R) - 8.07 \quad (\text{Ecuación No.15})$$

Donde:

W18 = Número esperado de repeticiones de ejes equivalentes a 8.2 toneladas en el periodo de diseño.

ZR = Desviación Estándar normal del error combinado en la predicción del tráfico y comportamiento estructural.

S0 = Desviación Estándar Total o error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento.

SN: Número estructural de la capa.

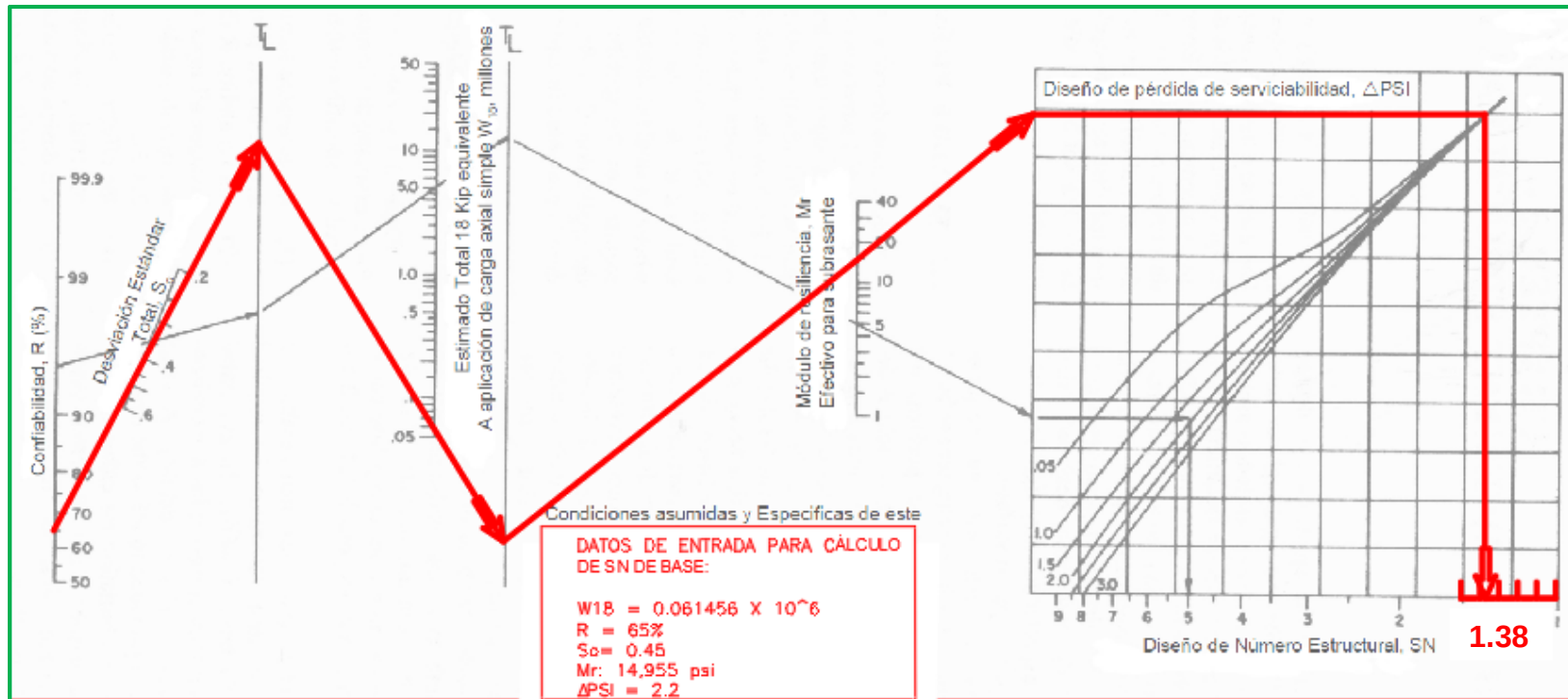
Po: Serviciabilidad inicial del pavimento.

Pt: Serviciabilidad final del pavimento.

Mr: Módulo de resiliencia de subrasante (PSI)

- Auxiliándose del ábaco de la guía AASHTO-93 que está ubicado en la figura 3 del anexo pág. i de este documento.

Imagen 35: Determinación de número estructural de la base empleando ábaco



Fuente: Elaboración propia

4.4 Cálculo de espesores de estructura de pavimento

Luego de obtener el número estructural se procede a calcular los espesores de pavimento por medio de la siguiente expresión:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 \quad (\text{Ecuación No. 16})$$

Donde:

SN: Numero estructural requerido

a_1 y a_2 : Coeficientes de capa representativos de carpeta y base respectivamente.

D_1 y D_2 : Espesor de la carpeta y base respectivamente (pulgadas)

a_1 : Coeficiente estructural de adoquín

a_2 : Coeficiente estructural de base suelo-cemento

D_1 : Espesor de adoquín (pulgadas)

D_2 : Espesor de la base.

El valor de $a_1 = 0.45$ se obtiene de la guía de diseño AASHTO 1993, y $a_2 = 0.14$ empleando la imagen 29 de este documento.

Realizando un despeje de D_2 se tiene que:

$$\begin{aligned} SN &= a_1 * D_1 + a_2 * D_2 \\ D_2 &= \frac{SN - a_1 * d_1}{a_2} \\ D_2 &= \frac{1.38 - 0.45 * 4}{0.14} = -3.00 \text{ plg} \end{aligned}$$

El valor negativo en el cálculo anterior indica que no es necesario el empleo de dicha base, sin embargo, la AASHTO 93 brinda la siguiente tabla que establece los espesores mínimos para base.

Imagen 36. Espesores mínimos para base granular por rango de ESALs

Minimum Thickness (inches)		
Traffic, ESAL's	Asphalt Concrete	Aggregate Base
Less than 50,000	1 0 (or surface treatment)	4
50,001–150,000	2 0	4
150,001–500,000	2 5	4
500,001–2,000,000	3 0	6
2,000,001–7,000,000	3 5	6
Greater than 7,000,000	4 0	6

Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement structures 1993. Pág. II-35

De la tabla anterior se tiene que el valor mínimo a usar es de 10 cm equivalente a 4 pulgadas para el ESALs de 61, 456 calculado en el capítulo de estudio de tránsito en este documento.

4.5 Comprobación de cálculo espesor de base

Se debe cumplir la siguiente desigualdad:

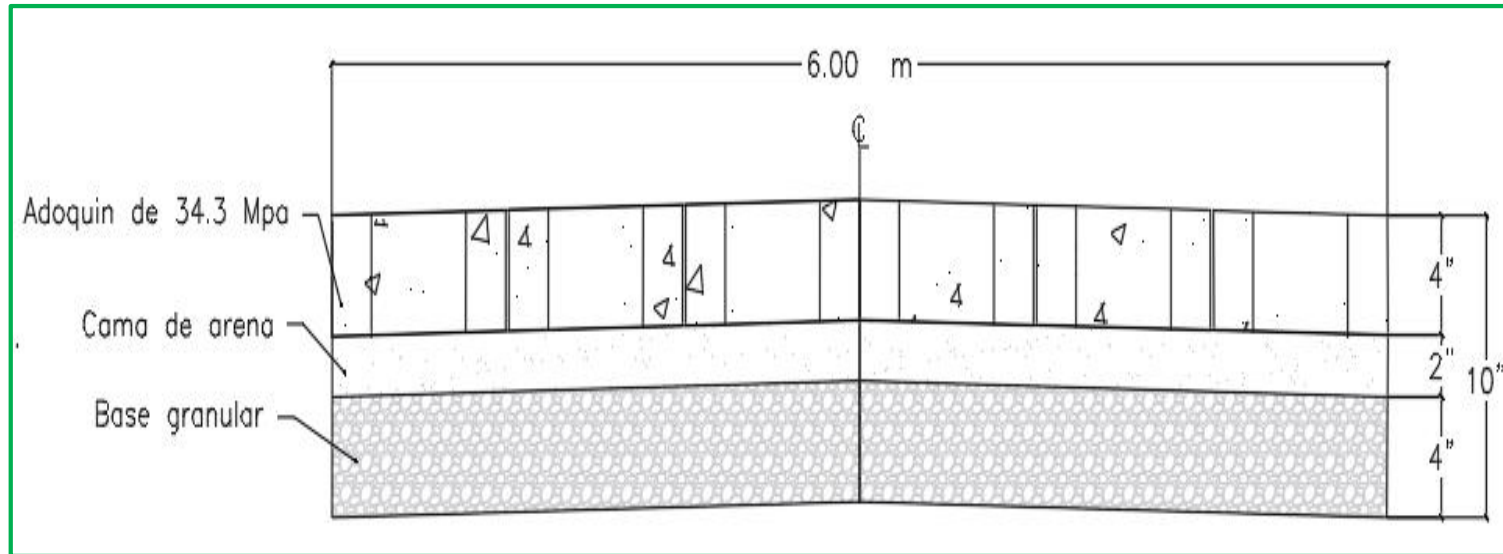
$$D1 \geq \frac{SN1}{a1} \quad (\text{Ecuación No. 17})$$

$$4 \geq \frac{1.38}{0.45}$$

$$4plg \geq 3plg \text{ OK!}$$

De esta manera queda comprobado el correcto cálculo y selección del espesor de la base según los criterios de la Guía AASHTO 1993.

Imagen 37. Capas de la estructura de pavimento



Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO V: COSTO Y PRESUPUESTO



5.1 Introducción

La estimación del costo y presupuesto de una obra permite evaluar las etapas y subetapas que se contemplan en la ejecución de un proyecto, consiste en calcular las cuantificaciones de obra y precios unitarios de dichas actividades o tareas constructivas para lograr determinar monto total de una obra y/o proyecto.

El costo está compuesto por materiales, mano de obra y gastos de operación, dentro de los primeros dos elementos se considera la materia prima a utilizar en cada una de las actividades y el esfuerzo realizado por un conjunto de personas, mientras que los gastos de operación incluyen gastos como salarios, prestaciones sociales, gastos administrativos, seguros, imprevistos, alquileres, entre otros.

En esta unidad se incluyen algunos conceptos básicos referentes al presupuesto de este proyecto como el cálculo del take-off (cantidades de obra), el cálculo de los costos unitarios de cada actividad, rendimiento de la maquinaria, precios de materiales y mano de obra, de igual manera se incluyen comentarios que ayudarán a interpretar de mejor manera los cálculos realizados.

5.2 Conceptos básicos

5.2.1 Take off.

Es la cuantificación de los materiales que involucran la ejecución de una actividad para luego determinar el costo de esta, también ayuda a tener un mejor orden y una mayor precisión de las etapas y subetapas del proyecto. Estas cantidades de materiales están medidas en unidades como m³, m², m, libras, kg, globales, quintales, cada uno, etc.

5.2.2 Costo directo

son todos aquellos gastos directos al proyecto a ejecutarse, generalmente estos se refieren al costo de material a emplearse, la mano de obra calificada previamente analizada, la maquinaria o equipos, incluyendo herramientas que se usaran de manera directa o físicamente sobre la obra.

5.2.3 Costo indirecto

Son todos aquellos gastos que no afectan de manera directa al proyecto físico, sin embargo, son tomados en cuenta ya que se refiere a los gastos de administración de la obra en sí; tales como los salarios de los ingenieros responsables, prestaciones sociales (inss u otros), seguros, gastos administrativos, papelería, gastos legales, fianzas, depreciación de los vehículos u otros.

Para efectos de este proyecto en ciudad El Rama se utilizarán unos costos de administración tales como: impuesto municipal IM de 1% del sub total del proyecto, impuesto sobre renta IR de 2% del sub total del proyecto, y un costo indirecto CI de 15 % del sub total del proyecto y una utilidad del 10 %, ya que estos son los porcentajes que la alcaldía municipal de El Rama aplica a sus proyectos sociales.

5.2.4 Presupuesto

Es un plan estratégico formal para la obtención e inversión en fondos de proyectos a largo plazo, es decir, una programación de las inversiones futuras del cliente, que se encuentra basado en pronósticos de ventas futuras, costos, requerimientos de producción y disponibilidad en capital, entre otros elementos.

También puede denominarse como el cálculo anticipado del costo más probable que estima todos los gastos que la realización de una obra y el tiempo probable de su ejecución.

5.2.5 Costo y presupuesto de obras civiles

Es el cálculo de costos directos de un proyecto de construcción, realizados de manera detallada, tomando en cuenta todos los factores según la previa experiencia del analista, visionando de antemano los comportamientos de los precios de insumos en un lapso de tiempo determinado, para que el prospecto a cliente quien dispondrá de nuestro servicio tenga una idea previa de la inversión a realizarse.

5.2.6 Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas son los documentos en los cuales se definen las normas, exigencias y procedimientos a ser empleados y aplicados en todos los trabajos de construcción de obras, elaboración de estudios, fabricación de equipos, etc. En el caso de la realización de estudios, o construcción de obras forman parte integral del proyecto y complementan lo indicado en los planos respectivos, y en el contrato. Son muy importantes para definir la calidad de los trabajos en general y de los acabados en particular.

5.2.7 Estructura de desglose de trabajo

Una estructura de desglose de trabajo, o por sus siglas EDT, es la manera en cómo estructuramos los procesos o actividades constructivas que tiene nuestro proyecto, de esta manera se van cuantificando las cantidades de obras y se va estructurando según el catálogo de etapas y sub etapas que presenta el FISE. A continuación, se presenta el desglose de actividades que tiene este documento.

Imagen 38: Catálogo de etapas y subetapas del FISE

Fondo de Inversión Social de Emergencia				
Módulo de Costos y Presupuestos				
Catálogo de Etapas y Sub-Etapas al 15/AGOSTO/2008				
ETAPA	SUBETAPA	DESCRIPCION DE LA ETAPA Y/O SUBETAPA	U/M	
PROYECTOS DE RODAMIENTO Y DRENAJE PLUVIAL				
250	00	PRELIMINARES	M2	
250	01	LIMPIEZA INICIAL	M2	
250	02	TRAZO Y NIVELACION	M2	
250	03	OTRAS OBRAS PRELIMINARES	GLB	
250	04	ROTULO	C/U	
250	05	DEMOLICIONES	GLB	
250	06	TRAZO Y NIVELACIÓN	ML	
251	00	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION	GLB	
251	02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS	GLB	
260	00	MOVIMIENTO DE TIERRA	M3	
260	01	ACARREO DE MATERIALES	M3	
260	02	CORTE	M3	
260	03	RELLENO	M3	
260	04	CORTE Y RELLENO COMPENSADO	M3	
260	05	CONFORMACION Y COMPACTACION	M2	
260	07	BOTAR TIERRA SOBRANTE DE EXCAVACION	M3	
260	08	SUELO CEMENTO	M2	
260	09	REVESTIMIENTO (BASE Y SUB-BASE)	M3	
260	10	SOBREACARREO	M3	
260	11	RELLENO DE PIEDRA BOLON (LECHO FILTRANTE)	M3	
260	12	EXPLOTACION DE BANCOS	M3	
260	14	GEOTELA	M2	
270	00	CARPETA DE RODAMIENTO	M2	
270	01	ADOQUINADO	M2	

Fuente: Fondo de inversión social y emergencia

010 preliminares

010-01 Trazo y nivelación

Consiste en la realización del replanteo topográfico de toda la vía con los datos de altimetría y planimetría establecidos en los planos del diseño geométrico, para esto el topógrafo se debe guiar con los BM que fueron utilizados para el levantamiento topográfico, de haber sido removidos se deben corregirse con el nivel del BM más cercano.

010-02 Demoliciones

En esta actividad se debe de demoler todo objeto que este sobre la vía a pavimentar, para que no sea un estorbo en los procesos constructivos.

020- Movilización y desmovilización

020-1 Movilización y desmovilización de equipos

En esta etapa se deben de trasladar las maquinarias necesarias para las actividades de movimientos de tierras.

030- Movimiento de tierra

030-1- Corte y desalojo

Consiste en la remoción del material existente en el terreno hasta llegar al nivel de subrasante que fue previamente definido por el diseñador.

030-3- Relleno.

El material de relleno debe de llevarse hasta su humedad optima y sus capas tienen que ser compactadas a un espesor máximo de 15 cm.

030-4- Conformación y compactación

Una vez concluidos los cortes, se procede a escarificar la superficie del camino mediante el uso de motoniveladora y tractor en zonas de difícil acceso, a una profundidad mínima de 15 cm, posteriormente el material será extendido, regado y mezclado haciendo un proceso repetitivo y alternativo de un camión cisterna.

Luego se pasará el rodillo vibratorio donde su compactación se realizará desde los bordes hacia el centro de la vía.

030-5- Explotación de banco

Para la realización de esta etapa se debe de explotar el banco con maquinaria pesada y después trasladar el material hacia el sitio del proyecto para ser utilizado como material de relleno para la estabilización del suelo.

030-6- Estabilización de base con suelo cemento

Se preparará la superficie sobre la cual se realizará el mejoramiento de los suelos, no se deberá comenzar las operaciones de colocación de las capas de agregados tratados con cemento si la superficie o capa subyacente esta lodosa, de igual manera no se recomienda hacer la estabilización del suelo en temporada lluviosa.

El mezclado de los agregados con cemento se ejecutará aplicando el método de revoltura (mezclado) en plataforma, especificado por la norma NIC-2019, este consiste en revolver los componentes de la capa hasta su profundidad total usando motoniveladora hasta que la mezcla sea completamente uniforme y se logre el contenido de humedad adecuado para lograr obtener la densidad especificada, para esto se deberá agregar agua en cantidades necesarias durante la revoltura.

Al momento de colocar el material por ningún motivo se deberá dejar sin compactar por más de media hora, el procedimiento de compactación y acabado deberá ser realizado en un periodo de una hora aproximadamente. La superficie compactada debe quedar lisa, densa y libre de planos de compactación, crestas o material suelto.

040- Drenaje de cuneta

040-1- Trazo y nivelación de drenaje menor

Se debe realizar la excavación de la zanja para cuneta con medios manuales. Se debe ir retirando el material excavado del sitio. Al terminar la excavación se

debe compactar el área con apisonadora manual e ir verificando los niveles con ayuda de la topografía.

040-2- Formaletas

Una vez concluida la excavación y compactación de la zanja para cuneta se procederá a armar las formaletas de estas, para esto se deberá de revisar que la madera no tenga imperfecciones como fisuras u ondulaciones, se colocarán reglas en diagonal a cada 0.20m que servirán como soporte para evitar que las tablas se muevan o se separen al hacer la llena de concreto.

040-3- Cunetas

El adoquinado estará confinado en sus laterales por cunetas de concreto con el objetivo de proteger y respaldar la estructura de pavimento. Antes del llenado de cunetas se ejecutarán trabajos de excavación o conformación para llegar a las dimensiones de las mismas y permita una correcta colocación del concreto, la resistencia del concreto deberá ser de 3000 PSI con una proporción de 1:2:3.

050- Carpeta de rodamiento

050-1- Excavación estructural

Esta actividad de excavación a mano comprenderá todas las cunetas laterales del diseño propuesto en este documento y sus respectivas vigas de remate transversal las cuales serán construidas de acuerdo al alineamiento, pendientes y secciones transversales señalados en los planos.

050-2- Viga transversal

Se construirán vigas de remate transversal que tendrán una dimensión de 0.1 metros de ancho por 0.35 metros de profundidad, deberán cumplir con una resistencia a la compresión de 3000 PSI, con proporción 1:2:3.

050-3- Cama de arena

Para el caso de la cama de arena se deberá colocar una capa de 5 cm de espesor una vez terminado el proceso de las actividades de cortes, rellenos y compactación.

050-4- Adoquinado

La estructura de pavimento con adoquín deberá estar compuesto por adoquines tipo 2 de tráfico liviano cumpliendo con la resistencia a la compresión de 34.3 Mpa, sin rajaduras ni defectos en las aristas, sin orificios y de buena contextura, el tamaño de los adoquines deberá ser uniforme para evitar irregularidades o juntas muy anchas, después de ser colocadas.

050-5- Junta de mortero

Para el caso de la separación entre los adoquines y la cuneta se colocará mortero de 3,000 PSI con proporción 1:4, la dimensión aproximada de la junta es de 0.015 metros de ancho por 0.1 metros de profundidad.

060- Limpieza y entrega

060-1- Limpieza final

Una vez acabada la colocación de la estructura de pavimento y realizada todas las actividades correspondientes al proyecto, es fundamental la limpieza final de la obra para eliminar restos de colocación y suciedad generadas por las diversas actividades que se realizaron, es por ello que el área del proyecto debe ser entregada completamente limpia, incluyendo toda la basura provocada por la limpieza final.

5.3 Cantidades de obras para el adoquinado en el barrio San Pedro.

En la siguiente tabla se muestran las cuantificaciones para las cantidades de obras aproximadas que llevara el proyecto del adoquinado de 652 metros lineales en el barrio San Pedro de Ciudad Rama.

Tabla 10: Cantidades de Obras para el Adoquinado

ITEM	DESCRIPCION	CANT	U/M
0-10	PRELIMINARES		
010-01	Traslado de materiales hacia el sitio del proyecto, (incluye carga y descarga de todos los materiales a utilizarse en el proyecto).	1	Lb
010-02	Trazo y nivelación de todo el tramo de carretera de 652 metros lineales.	652	ml
	Reglas de 1" x 3" x 6 Vrs	30.00	c/u
	Lienza de nylon	10	c/u
	Clavos de 2 pulgadas	12	Lb
0-20	MOVIMIENTO DE TIERRAS		
020-01	Excavación manual en calle donde se colocará la estructura de pavimento	2467.97	m3
020-02	Relleno y compactación con material del banco de materiales que se utilizará para hacer las conformaciones de la subrasante de la estructura del pavimento adoquinado	181.60	m3
020-03	Estabilización de base con suelo cemento utilizando 8 porciento de cemento portland	430	m3
	Cemento canal 42.5 Kg	1398	c/u

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11: Cantidades de Obras para el Adoquinado

ITEM	DESCRIPCION	CANT	U/M
0-30	CUNETAS		
030-01	Trazo y nivelación de toda la longitud de la cuneta de concreto en la vía adoquinada	652	ml
030-02	Excavación manual para cuneta de concreto	24	m3
030-03	Fabricación e instalación de formaleta para la cuneta de concreto	70	m2
	Madera María de 1"x12"x6 Vrs	25	c/u
	Clavos de 2 pulgadas	15	Lb
030-04	Concreto de 3000 PSI con proporción 1:2:3 para cunetas de drenaje menor	35	m3
	Cemento canal 42.5 Kg	315	c/u
	Arena	27	m3
	Grava	30	m3

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12: Cantidades de Obras para el Adoquinado

Fuente: Elaboración Propia

ITEM	DESCRIPCION	CANT	U/M
0-40	CARPETA DE RODAMIENTO		
040-01	Conformación de base de 10 cm de espesor en todo el tramo del adoquinado	430.32	m3
040-02	Cama de arena de 5 cm de espesor en todo el tramo del adoquinado	215.16	m3
040-03	Colocación de adoquín tipo tráfico liviano de 10 cm de espesor con resistencia de 3500 PSI, incluye colocación de junta de mortero.	19	m2
	Adoquín de 10 cm de espesor	400	c/u
	Cemento canal 42.5 Kg	25	c/u
	Arena	110	m3
040-04	Bordillo de concreto a ambos lados de todo el tramo de adoquinado, incluye pintura de dos manos color amarillo trafico	19.56	m3
	Cemento canal 42.5 Kg	176	c/u
	Arena	15	m3
	Grava	16	m3
	Pintura fast dry amarillo tráfico cubeta	3	cbt
	Diluyente	25	Gln
	Brocha para pintar de 4 pulgadas	10	c/u
040-05	Compactación de carpeta de rodamiento	652	ml

Tabla 13: Cantidades de Obras para el Adoquinado

ITEM	DESCRIPCION	CANT	U/M
------	-------------	------	-----

0-50	LIMPIEZA FINAL		
050-01	Limpieza final de todo el tramo de carretera en construcción, dejando toda el área, limpia, ordenada y segura.	1	Glb
050-02	Traslado de todos los escombros resultantes del adoquinado hacia un complejo sanitario de la municipalidad.	1	Glb

Fuente: Elaboración Propia

Las cuantificaciones de obras, especialmente las de movimiento de tierras fueron calculadas a partir de tablas de volúmenes proporcionadas por el software Civil 3d, (ver anexos, pág. XII, imagen 49 y 49).

5.4 Presupuesto del Adoquinado en el Barrio San Pedro.

Una vez que se tienen las cuantificaciones de obras, se procede a aplicarles un costo unitario para materiales de la obra, el transporte de la obra y la mano obra calificada que se utilizara en el adoquinado, para llegar a obtener el monto total del proyecto o la oferta total del proyecto que se presenta en la siguiente tabla.

Cabe destacar que, para la aplicación de los costos unitarios para los insumos, no se realizó un análisis de costos unitarios, ya que se contaba con una base de datos de precios al destajo de todos los insumos del proyecto.

Tabla 14: Presupuesto para el Adoquinado.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	U/M	MATERIALES		TRANSPORTE		MANO DE OBRA	
				P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$
0-10	PRELIMINARES			C\$ 275.00	C\$ 6,040.00	C\$ 50,000.00	C\$ 50,000.00	C\$ 50.00	C\$ 32,600.00
010-01	Traslado de materiales hacia el sitio del proyecto, (incluye carga y descarga de todos los materiales a utilizarse en el proyecto).	1	Glb			50,000.00	50,000.00		
010-02	Trazo y nivelación de todo el tramo de carretera de 652 metros lineales.	652	ml					50.00	32,600.00
	Reglas de 1" x 3" x 6 Vrs	30.00	c/u	160.00	4,800.00				
	Lienza de nylon	10	c/u	70.00	700.00				
	Clavos de 2 pulgadas	12	Lb	45.00	540.00				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15: Presupuesto para el Adoquinado.

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	U/M	MATERIALES		TRANSPORTE		MANO DE OBRA	
				P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$
0-20	MOVIMIENTO DE TIERRAS			C\$ 450.00	C\$ 629,280.00	C\$ -	C\$ -	C\$ 230.00	C\$ 225,442.22
020-01	Excavación manual en calle donde se colocará la estructura de pavimento	2467.97	m3					70.00	172,758.04
020-02	Relleno y compactación con material del banco de materiales que se utilizará para hacer las conformaciones de la subrasante de la estructura del pavimento adoquinado	181.60	m3					65.00	11,803.78
020-03	Estabilización de base con suelo cemento utilizando 8 porciento de cemento portland	430	m3					95.00	40,880.40
	Cemento canal 42.5 Kg	1398	c/u	450.00	629,280.00				

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16: Presupuesto para el Adoquinado

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	U/M	MATERIALES		TRANSPORTE		MANO DE OBRA	
				P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$
0-30	CUNETAS			C\$ 1,845.00	C\$ 178,625.00	C\$ -	C\$ -	C\$ 1,015.00	C\$ 67,180.00
030-01	Trazo y nivelación de toda la longitud de la cuneta de concreto en la vía adoquinada	652	ml					50.00	32,600.00
030-02	Excavación manual para cuneta de concreto	24	m3					70.00	1,680.00
030-03	Fabricación e instalación de formaleta para la cuneta de concreto	70	m2					45.00	3,150.00
	Madera María de 1"x12"x6 Vrs	25	c/u	650.00	16,250.00				
	Clavos de 2 pulgadas	15	Lb	45.00	675.00				
030-04	Concreto de 3000 PSI con proporción 1:2:3 para cunetas de drenaje menor	35	m3					850.00	29,750.00
	Cemento canal 42.5 Kg	315	c/u	450.00	141,750.00				
	Arena	27	m3	350.00	9,450.00				
	Grava	30	m3	350.00	10,500.00				

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 17: Presupuesto para el Adoquinado

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	U/M	MATERIALES		TRANSPORTE		MANO DE OBRA	
				P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$
0-40	CARPETA DE RODAMIENTO			C\$ 825.00	C\$ 59,750.00	C\$ -	C\$ -	C\$ 340.00	C\$ 42,908.80
040-01	Conformación de base de 10 cm de espesor en todo el tramo del adoquinado	430.32	m3					60.00	25,819.20
040-02	Cama de arena de 5 cm de espesor en todo el tramo del adoquinado	215.16	m3					60.00	12,909.60
040-03	Colocación de adoquín tipo tráfico liviano de 10 cm de espesor con resistencia de 3500 PSI, incluye colocación de junta de mortero.	19	m2					220.00	4,180.00
	Adoquín de 10 cm de espesor	400	c/u	25.00	10,000.00				
	Cemento canal 42.5 Kg	25	c/u	450.00	11,250.00				
	Arena	110	m3	350.00	38,500.00				

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 18: Presupuesto para el Adoquinado

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	U/M	MATERIALES		TRANSPORTE		MANO DE OBRA	
				P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$
0-40	CARPETA DE RODAMIENTO			C\$ 2,660.00	C\$ 100,553.14	C\$ -	C\$ -	C\$ 910.00	C\$ 55,746.00
040-04	Bordillo de concreto a ambos lados de todo el tramo de adoquinado, incluye pintura de dos manos color amarillo trafico	19.56	m3					850.00	16,626.00
	Cemento canal 42.5 Kg	176	c/u	450.00	79,218.00				
	Arena	15	m3	350.00	5,202.96				
	Grava	16	m3	350.00	5,682.18				
	Pintura fast dry amarillo tráfico cubeta	3	c/u	1,200.00	3,600.00				
	Diluyente	25	Gln	250.00	6,250.00				
	Brocha para pintar de 4 pulgadas	10	c/u	60.00	600.00				
040-05	Compactación de carpeta de rodamiento	652	ml					60.00	39,120.00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19: Presupuesto para el Adoquinado

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	U/M	MATERIALES		TRANSPORTE		MANO DE OBRA	
				P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$	P. UNITARIO C\$	P. TOTAL C\$
0-50	LIMPIEZA FINAL			C\$ -	C\$ -	C\$ 10,000.00	C\$ 10,000.00	C\$ 16,000.00	C\$ 16,000.00
050-01	Limpieza final de todo el tramo de carretera en construcción, dejando toda el área, limpia, ordenada y segura.	1	Glb					8,000.00	8,000.00
050-02	Traslado de todos los escombros resultantes del adoquinado hacia un complejo sanitario de la municipalidad.	1	Glb			10,000.00	10,000.00	8,000.00	8,000.00
				C\$		C\$		C\$	
				1,488,303.75		60,000.00		511,980.74	

Fuente: Elaboración Propia.

5.5 Monto total del proyecto del adoquinado

Tabla 20: Presupuesto para el Adoquinado

Tasa de cambio	C\$ 36.42
Subtotal del proyecto sin impuestos en C\$	C\$ 1,474,125.16
Impuesto municipal 1%	C\$ 14,741.25
Impuesto sobre renta ir 2%	C\$ 29,482.50
Costos indirectos 15 % y utilidad 10%	C\$ 368,531.29
Monto total del proyecto C\$	C\$ 1,886,880.20
Monto total del proyecto \$	\$ 51,808.90

Fuente: Elaboración Propia.

El proyecto tiene un costo total de C\$ 1,886,880.20 ya con sus costos directos y costos indirectos aplicados, es importante mencionar que el presupuesto del adoquinado es un dato de oferta aproximado de cuánto puede llegar a costar el proyecto total, sin embargo, puede ser que alguna actividad constructiva no este contemplada en los cálculos presentados anteriormente, a lo que recomendamos agregarlas y determinar un nuevo monto para el proyecto del adoquinado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Conclusiones

- La tipología vehicular indica que un 86% pertenece a motocicletas, 3% a automóviles, 3% a Jeep, 4% a camioneta, 3% a liviano de 2 a 5 toneladas y el 1% a C2 de más de 5 toneladas.
- El valor de ESAL de diseño es de 61, 456 carga de eje equivalente correspondiente a 18 Kips.
- Según los valores obtenidos de los suelos del tramo de 652 metros, el suelo pertenece a un grupo de clasificación según AAHSTO M 145 A-5-7(8) para la calle 1 y A-7-6(8) para la calle 2, correspondiente a un suelo arcilloso y se obtuvo un CBR de 6.5%.
- En el banco de materiales propuesto se obtuvo un suelo de clasificación según AAHSTO M 145 A-2-6 (0) correspondiente a un suelo tipo granular y se obtuvo un CBR de 30.5% lo cual lo clasifica como un suelo bueno, sin embargo, este se encuentra en condiciones plásticas por lo que es necesario una estabilización con cemento al 8% para que cumpla con la resistencia mínima de 21 kg/cm² a los 7 días de curado requeridos en la norma NIC-2019, para poder ser utilizado como base en la estructura del pavimento.
- El resultado de diseño de espesores de pavimento establece que no se requiere usar base, esto debido a las exigencias que establece la NIC-2019 para la base lo cual genera un material de excelente calidad, así como la baja carga (ESAL) que será sometido el pavimento. No obstante, la guía AASHTO-93 dispone que se use al menos 4 pulgadas de espesor para base.
- Los espesores de la estructura de pavimento serán de 4 pulgadas de adoquín, 2 pulgadas de cama de arena y 4 pulgadas de base.
- Se obtuvo un monto de C\$1,886,880.20 de costos directos e indirectos y utilidades, Cabe recalcar, que este es un presupuesto aproximado con el cual se pueden basar en la ejecución de las etapas constructivas y una oferta final proporcionada en este documento para fines de la municipalidad.

Recomendaciones

- Evitar que los materiales de relleno como la arena y el material del banco de préstamo permanezcan mucho tiempo almacenado ya que los factores climáticos pueden alterar sus condiciones.
- Comprobar por medio de ensayos de laboratorio con pruebas de resistencia a la compresión para verificar que los adoquines usados en el proyecto cumplan con su resistencia mínima de 34.3MPa.
- Realizar un estudio a otro banco de materiales de la zona para obtener datos mas acertados a como lo manda la NIC 2019.
- Instalar señalizaciones verticales y horizontales para mantener a los pobladores informados de las señales de tránsito para el buen uso de esta carretera.
- Realizar una correcta supervisión en las etapas constructivas para que se cumplan los estándares de calidad y seguridad de este proyecto, a como lo mandan las normas y especificaciones técnicas.
- Considerar que si se desea agregar algunas actividades constructivas se deberá hacer un reajuste en los cálculos de la oferta total.

Bibliografía

- *American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993).*
- *Fondos de Inversión Social de Emergencia, Catalogo de Etapas y Sub-Etapas. (2008).*
- *Guía AASHTO para diseño de estructura de pavimento 1993.*
- *Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones. Cal, R. (1994).*
- *Manual de adoquines concretera total. German Madrid M (2010).*
- *Manual de laboratorio de suelos de ingeniería civil. Bowles J. (1989)*
- *Ministerio De Transporte e Infraestructura. (2019). Anuario de Aforos de tráfico año 2019.*
- *Ministerio De Transporte e Infraestructura (MTI). (2019). Especificaciones Generales Para La Construcción De Caminos, Calles y Puentes (NIC). Managua, Nicaragua. Tomo I.*
- *Ministerio De Transporte e Infraestructura (MTI). (2019). Especificaciones Generales Para La Construcción De Caminos, Calles y Puentes (NIC). Managua, Nicaragua. Tomo II*
- *Ministerio de Transporte e Infraestructura, Programa de Apoyo al Sector Transporte – PAST-DANIDA (2008). Manual para la revisión de diseños de pavimentos.*
- *Ministerio de Transporte e Infraestructura, Programa de Apoyo al Sector Transporte – PAST-DANIDA (2008). Manual para revisión de estudios Geotécnicos.*
- *Universidad Nacional de Ingeniería. (2019). Guía de Laboratorio de Mecánica de Suelo. Managua.*

ANEXOS

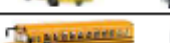
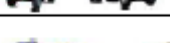


Fotografía 1: Ejecución de aforo manual



Fuente: Tomada por sustentante

Imagen 39. Tipología y descripción vehicular

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, Cuadraciclo, 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	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA Tx-Sx<=4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo Tx-Sx<=4.
	Tx-Sx<=5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	Cx-Rx<=4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como Cx-Rx<=4
	Cx-Rx<=5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRÍCOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES Y/O TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Semovientes).

Fuente: Anuario de aforos de tráfico año 2020. Pág. 28

Imagen 40: Formato de aforo vehicular

AFORO VEHÍCULAR CON DURACIÓN DE 12 HORAS COMPRENDIDO DEL 26 AL 28 DE JULIO DEL 2022											
Hora	Tipología vehicular										
	Vehículos livianos				Vehículos de pasajeros			Vehículos pesados			
	Moto	Auto	Jeep	Camioneta	Micro bus	Mini bus	Bus	Liviano de carga	C2	C3	Tx Sx <= 4
6:00 - 6:15											
6:15 - 6:30											
6:30 - 6:45											
6:45 - 7:00											
7:00 - 7:15											
7:15 - 7:30											
7:30 - 7:45											
7:45 - 8:00											
8:00 - 8:15											
8:15 - 8:30											
8:30 - 8:45											
8:45 - 9:00											
9:00 - 9:15											
9:15 - 9:30											
9:30 - 9:45											
9:45 - 10:00											
10:00 - 10:15											
10:15 - 10:30											
10:30 - 10:45											
10:45 - 11:00											
11:00 - 11:15											
11:15 - 11:30											
11:30 - 11:45											
11:45 - 12:00											
12:00 - 12:15											
12:15 - 12:30											
12:30 - 12:45											
12:45 - 13:00											
13:00 - 13:15											
13:15 - 13:30											
13:30 - 13:45											
13:45 - 14:00											
14:00 - 14:15											
14:15 - 14:30											
14:30 - 14:45											
14:45 - 15:00											
15:00 - 15:15											
15:15 - 15:30											
15:30 - 15:45											
15:45 - 16:00											
16:00 - 16:15											
16:15 - 16:30											
16:30 - 16:45											
16:45 - 17:00											
17:00 - 17:15											
17:15 - 17:30											
17:30 - 17:45											
17:45 - 18:00											

Fuente: Elaboración propia

Fotografía 2: Excavación del suelo de la línea del proyecto



Fuente: Tomada por sustentantes

Fotografía 3: Banco de materiales



Fuente: Tomada por sustentantes

Fotografía 4: Cuarteo manual para ensayo de Granulometría



Fuente: Tomada en el laboratorio de Materiales y Suelos UNI

Fotografía 5: Preparación del material de suelo



Fuente: Tomada en el laboratorio de Materiales y Suelos UNI

Fotografía 6: Realización de ensayo Proctor



Fuente: Tomada en el laboratorio de Materiales y Suelos UNI

Fotografía 7: Muestra de suelo de ensayo Proctor



Fuente: Tomada en el laboratorio de Materiales y Suelo UNI

Fotografía 8: Preparación del material para realizar CBR



Fuente: Tomada en el laboratorio de Materiales y Suelos UNI

Fotografía 9: Toma de lectura del CBR



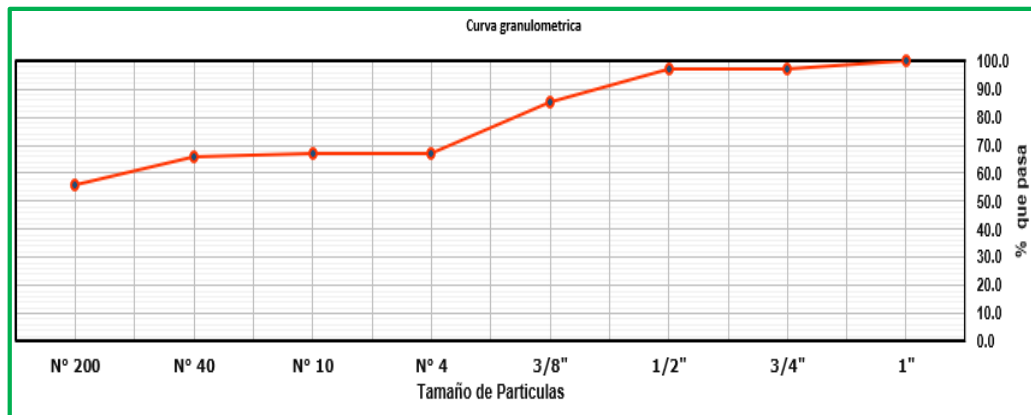
Fuente: Tomada en el laboratorio de Materiales y Suelos UNI

Tabla 21: Requisitos para base estabilizada con cemento.

Requisitos	
(1) Tamaño máximo AAHSTO T 27	40 mm
(2) % que pasa el tamiz de 0.075 mm, AAHSTO T 127 Y T11	
a. Contenido mínimo	2 min
b. Contenido máxima	35 máx.
(3) Contenido de materia orgánica AAHSTO T 267	2.0 % máx.
(4) Límite líquido AAHSTO T 89	30 máx.
(5) Índice de plasticidad AAHSTO T 90	15 máx.
(6) Desgaste de los ángeles AAHSTO T 96	50 % máx.
(7) CBR a 95% de AAHSTO modificado (AAHSTO T 180) y 4 días de saturación	30 % min
Después del tratamiento, el material deberá tener una resistencia ultima a compresión de, por lo menos 2100 Kn/m ² medida después de 7 días de curado, con mezcla compactada al 95 % de AAHSTO modificada (AAHSTO T 180) y el material tratado deberá tener un índice de plasticidad menor de 6.	

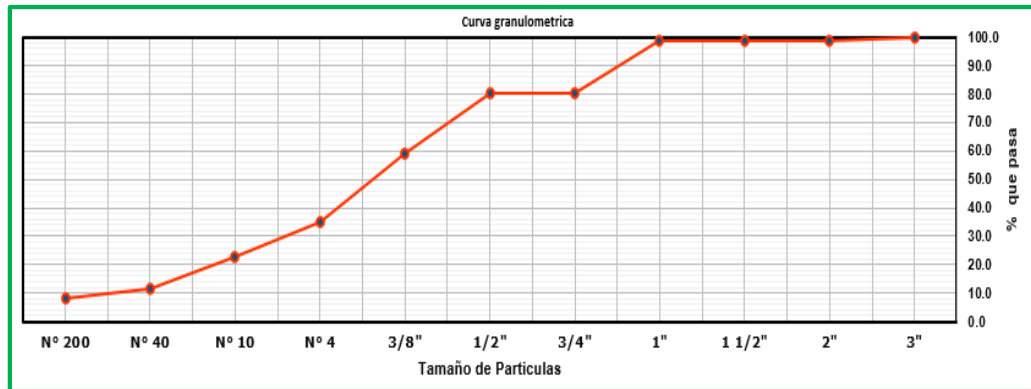
Fuente: NIC-2019 Tomo II pág. 829

Imagen 41: Curva granulométrica para material de suelo de sitio



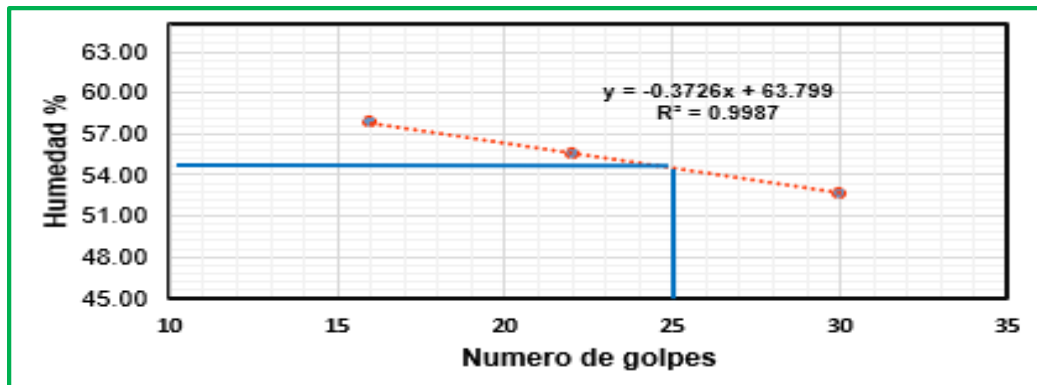
Fuente: Elaboración propia

Imagen 42: Curva granulométrica para material de suelo de banco



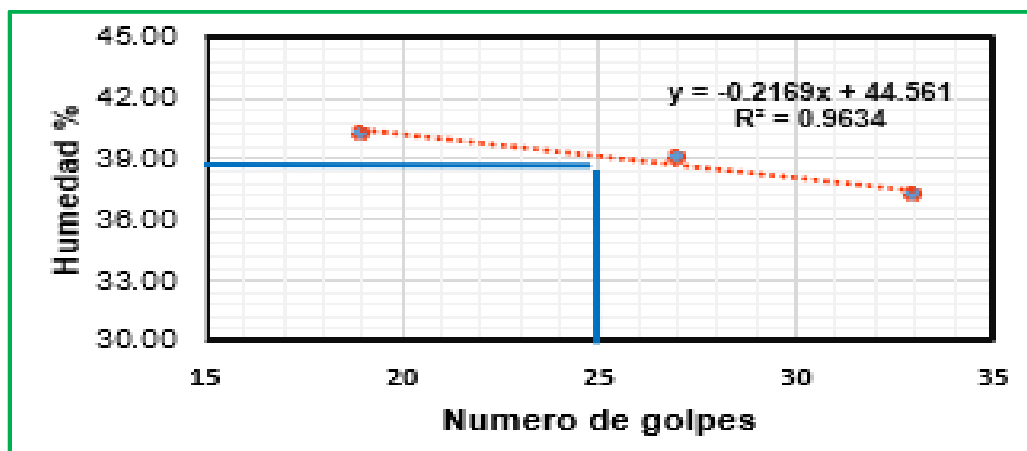
Fuente: Elaboración propia

Imagen 43: Grafica de límites de consistencia para material de sitio



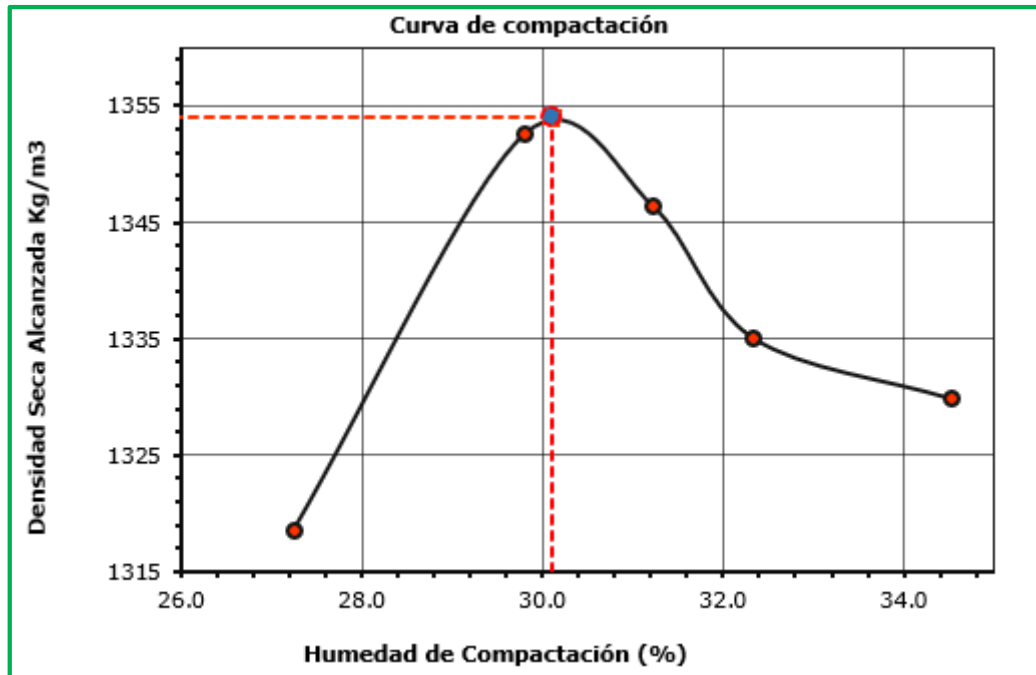
Fuente: Elaboración propia

Imagen 44: Grafica de límites de consistencia para material de banco



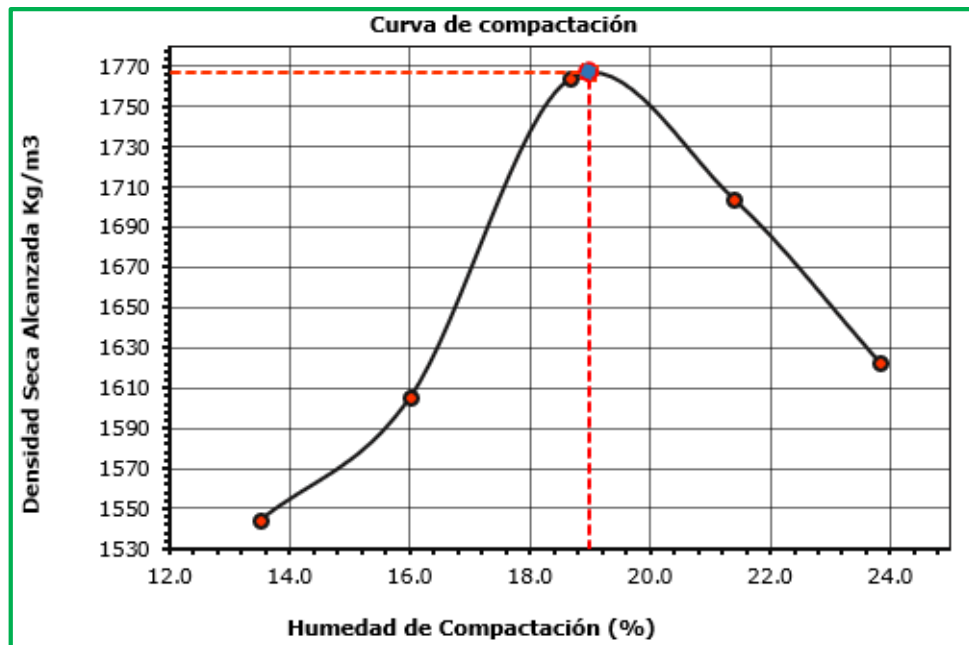
Fuente: Elaboración propia

Imagen 45: Grafica de curva de compactación de Proctor estándar



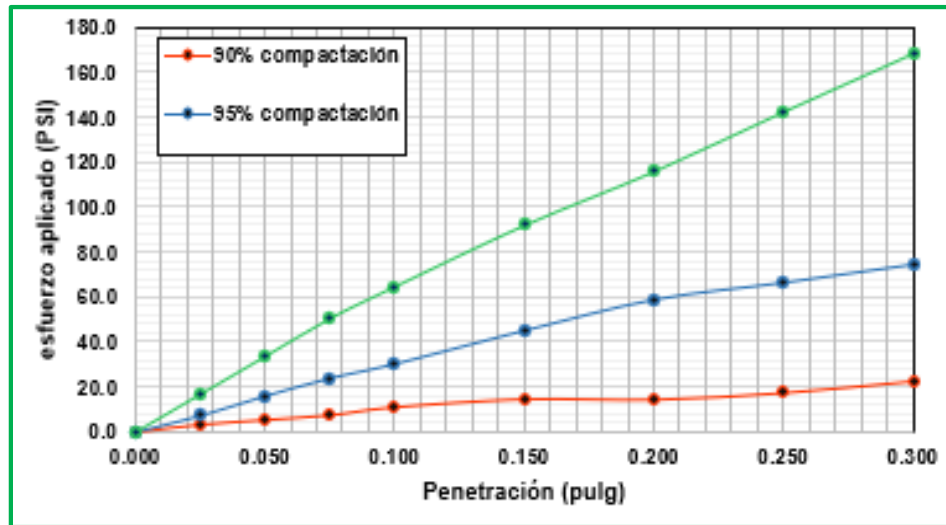
Fuente: Elaboración propia

Imagen 46: Grafica de curva de compactación de Proctor modificado



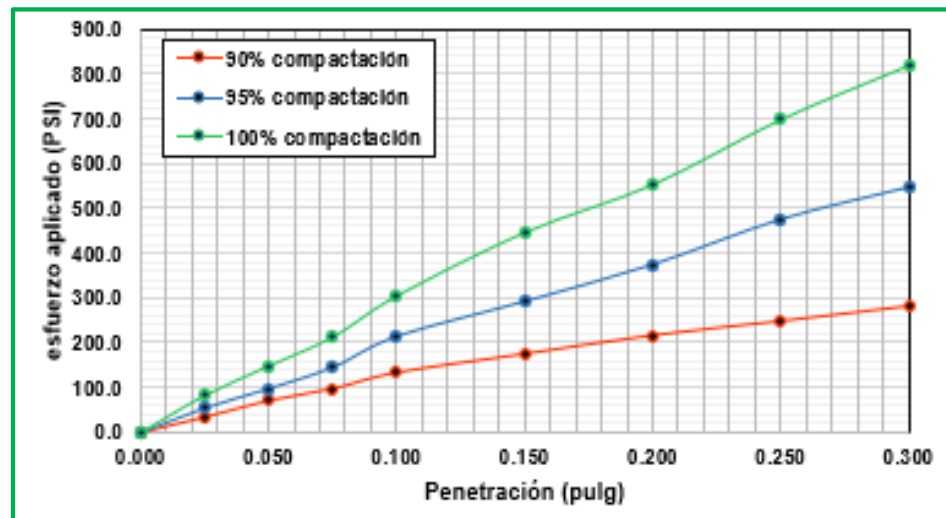
Fuente: Elaboración propia

Imagen 47: Grafica de CBR para material de sitio



Fuente: Elaboración propia

Imagen 48: Grafica de CBR para material de banco



Fuente: Elaboración propia

Imagen 49: Movimiento de tierras para calle 1

Movimiento de tierra en calle 1						
Est	A. relleno	A. corte	V. relleno	V. corte	V.relleno acumulado	V. corte acumulado
0+000.00	0.01	2.32	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.00	0.01	2.66	0.19	49.82	0.19	49.82
0+040.00	0.00	2.99	0.08	56.52	0.27	106.34
0+060.00	0.00	3.33	0.02	63.24	0.29	169.58
0+080.00	0.00	3.45	0.00	67.84	0.29	237.42
0+100.00	0.00	2.65	0.00	60.99	0.29	298.41
0+120.00	0.02	2.15	0.20	47.96	0.49	346.37
0+140.00	0.04	1.96	0.64	41.13	1.13	387.50
0+160.00	0.00	3.77	0.46	57.26	1.59	444.76
0+180.00	0.00	5.60	0.01	93.67	1.60	538.43
0+200.00	0.02	2.32	0.23	79.16	1.83	617.59
0+220.00	0.00	5.40	0.25	54.86	2.09	672.45
0+240.00	0.00	6.48	0.03	118.65	2.12	791.1
0+260.00	0.00	1.72	0.00	82.05	2.22	873.15
0+280.00	0.01	0.00	0.10	17.22	60.24	890.37
0+300.00	2.27	0.37	58.03	3.69	140.83	894.06
0+320.00	1.93	1.17	80.58	4.47	153.02	898.53
0+326.00	1.92	1.19	12.10	0.22	163.38	984.74

Fuente: Elaboración propia

Imagen 50: Movimiento de tierras para calle 2

Movimiento de tierra en calle 2						
Est	A. relleno	A. corte	V. relleno	V. corte	V.relleno acumulado	V. corte acumulado
0+000.00	0.02	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.00	0.01	2.33	0.30	46.28	0.30	48.28
0+040.00	0.01	2.38	0.28	47.11	0.58	93.29
0+060.00	0.01	2.42	0.25	47.94	0.84	141.33
0+080.00	0.01	2.43	0.23	48.49	1.07	189.62
0+100.00	0.01	2.46	0.21	48.93	1.28	238.75
0+120.00	0.01	2.51	0.19	49.67	1.47	288.42
0+140.00	0.00	2.55	0.14	50.58	1.61	338.99
0+160.00	0.00	2.80	0.07	53.57	1.68	392.57
0+180.00	0.00	2.92	0.04	57.21	1.72	449.78
0+200.00	0.00	2.99	0.03	59.05	1.75	508.82
0+220.00	0.00	2.92	0.02	59.13	1.77	567.95
0+240.00	0.02	2.34	0.16	52.67	1.93	620.62
0+260.00	0.02	3.65	0.37	59.92	2.30	680.55
0+280.00	0.04	3.65	0.58	72.97	2.87	753.52
0+300.00	0.03	3.87	0.65	75.20	3.52	828.71
0+320.00	0.05	3.01	0.76	68.85	4.28	897.56
0+326.00	0.03	2.38	0.24	16.18	4.53	919.73

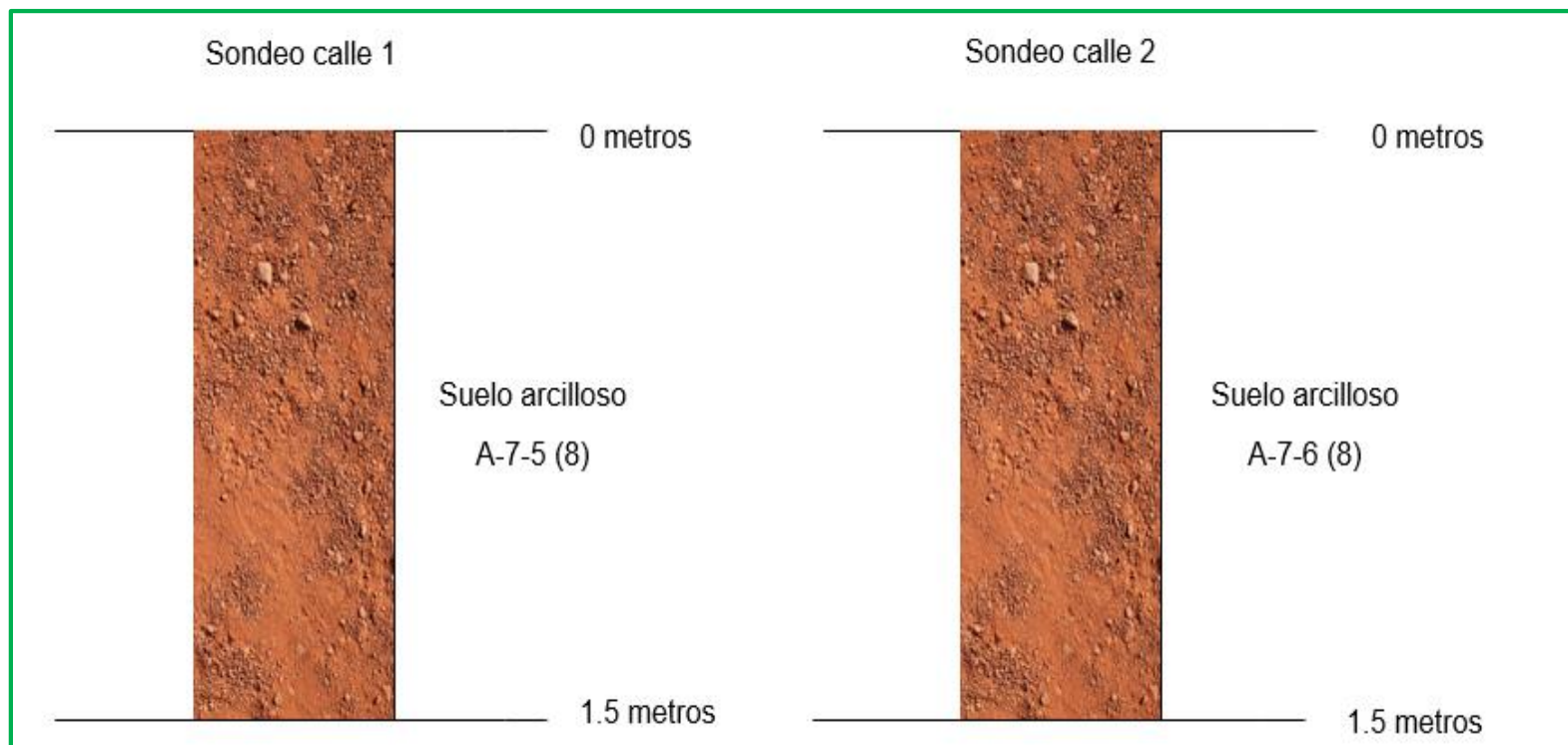
Fuente: Elaboración propia

Imagen 51: Resultados de ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelos

Suelo	Sondeo	Profundidad (m)	Clasificación de suelo	Granulometria														Límites de Consistencia			Proctor Estandar/Proctor Modificado		Relacion soporte California	
				3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	Pasa No.4	N.10	N.16	N.40	N.100	N.200	Pasa N.200	LL	LP	IP	Densidad seca máxima (Kg/m³)	Humedad Óptima	CBR diseño 95%
Suelo del Sitio	Calle 1	1.5	A-7-5 (8)	0.00	0.00	0.00	0.00	21.40	0.00	85.60	137.10	501.30	1.50	1.80	6.70	26.10	51.10	414.00	51.40	37.30	18.10	1354.00	30.10	3.00
Suelo del Sitio	Calle 2	1.5	A-7-6 (8)	0.00	0.00	0.00	0.00	19.37	156.40	109.10	209.40	1203.50	11.76	10.71	8.13	7.83	1.59	161.32	45.00	24.00	22.00	1483.00	39.24	-
Suelo del banco de materiales	Cerro el Rama	-	A-2-6 (0)	0.00	41.10	0.00	0.00	508.10	0.00	573.10	662.60	968.20	65.20	33.10	23.50	11.10	7.20	41.20	39.80	24.40	14.50	1767.00	19.00	21.40

Fuente: Elaboración propia

Imagen 52: Resultados de ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelos



Fuente: Elaboración propia