



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**Propuesta de Diseño Geométrico Vial y Estructura de Pavimento Articulado
de 4.00 km del Tramo de Carretera Susucayán – La Pimienta, Municipio de
El Jícaro, Departamento de Nueva Segovia.**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Edith Yospelka Ortez Altamirano

Br. Jhony Ramón Flores Méndez

Tutor

Msc. Ing. Henry Vílchez

Managua, Julio 2016

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto y nuestra carrera universitaria a Dios primeramente por ser quien ha estado con nosotros en cada momento de nuestra vida, dándonos sabiduría, entendimiento, salud y las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día por nuestros objetivos de vida y seguir adelante con nuestras metas.

A nuestros padres por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional, ya que gracias a ellos somos quien somos hoy en día, y quienes durante nuestra formación, tanto personal como profesional nos inspiraron valores para seguir adelante sin temor a nuevos retos.

AGRADECIMIENTO

Primero y antes que nada a Dios, por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido soporte y compañía durante todo el período de nuestra carrera.

Agradecer hoy y siempre a nuestros padres, pilares de nuestra vida y familiares por el apoyo en nuestros estudios, de no ser así no hubiese sido posible alcanzar nuestros logros.

Un agradecimiento especial al Msc. Ing. Henry Vílchez por la colaboración, paciencia, dedicación y apoyo a lo largo de nuestro trabajo monográfico.

RESUMEN EJECUTIVO

En este trabajo monográfico se determinan los estudios técnicos para la realización del proyecto: Propuesta de Diseño Geométrico Vial y Estructura de Pavimento Articulado de 4.00 km del Tramo de Carretera Susucayán-La Pimienta, Municipio El Jícaro, Departamento de Nueva Segovia.

Este documento consta de 6 capítulos donde se reflejan los resultados obtenidos después de realizados los estudios pertinentes para dicho proyecto.

El capítulo 1 aborda generalidades del tramo en estudio, además hace una explicación sobre la importancia de la construcción de 4.00 km de adoquinado.

El capítulo 2 aborda lo referente al estudio topográfico. En él se muestra todo lo relacionado con la planimetría y altimetría del terreno.

En el capítulo 3 se muestran los resultados de los ensayos realizados a las muestras de suelos extraídas a lo largo del tramo en estudio y de los bancos más próximos al sitio del proyecto.

En el capítulo 4 se muestran las consideraciones que se tomaron en cuenta para la determinación del tránsito de diseño.

En el capítulo 5, se presentan los resultados obtenidos del estudio de diseño de pavimentos, haciendo uso del modelo de la AASHTO-93 para obtener los espesores de capa.

En el capítulo 6, se presentan los cálculos realizados para el diseño geométrico de la vía. En él se muestra detalladamente todo lo relacionado con el diseño de curvas horizontales y verticales así como la elaboración de planos.

GLOSARIO

Capa Superficial: Capa o capas superiores de la estructura de un pavimento diseñada para resistir las cargas del tráfico, de la cuales la capa superior resiste el deslizamiento y desgaste del tráfico y los efectos desintegradores del clima. A la capa superior se le conoce como “capa de desgaste”.

Carretera, Calle o Camino: Término genérico que designan una vía terrestre para fines de circulación de vehículo y que incluye la extensión total comprendida dentro del derecho de vía.

Carril: Cualquier subdivisión de la superficie de rodamiento que tenga el ancho suficiente para permitir la circulación de una fila de vehículos.

Corte: Es la excavación que se realiza en el terreno para conformar la estructura de la vía y elementos auxiliares de conformidad con las líneas y niveles mostrados en los planos.

Derecho de Vía: Área o superficie de terreno, destinada al uso de una carretera, camino o calle, que está delimitada a ambos lados por los linderos de las propiedades colindantes.

Desperdicio o Extra: Es el volumen de material proveniente de los cortes dentro del trazo de la carretera, camino o calle, que no se utiliza en la formación de rellenos o terraplenes.

Equipo: Toda maquinaria, junto con los suministros necesarios para su reparación y mantenimiento. También se incluye las herramientas y aparatos necesarios para la construcción y acabado aceptable del trabajo.

Especificaciones: En general, se denomina con este nombre a la compilación de estipulaciones y requisitos detallados para la construcción de las obras de un proyecto o el suministro de bienes o servicios.

Estación: Usado como unidad de medida, es una distancia determinada en metros lineales a lo largo de la vía. Cuando se use para identificar a determinado lugar de la vía en construcción, significará la distancia acumulada en kilómetro y fracción de kilómetro medida a lo largo del eje de la vía a partir del punto de comienzo del proyecto.

Estratigrafía: Es la parte de la geología que estudia la forma, disposición, distribución geográfica, sucesión cronológica y relaciones de los estratos.

Granulometría: Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Laboratorio: Lugar donde se realizan pruebas de control de la calidad de los materiales a utilizar en determinada obra.

Pavimento: Es el conjunto de sub-base, base, y superficie de rodamiento colocado sobre la subrasante, cuya función es la de soportar los esfuerzos que le imponen las cargas directas del tráfico, distribuirlo a la subrasante y a la vez resistir al desgaste y proveer una superficie que permita una circulación cómoda y segura.

Permeabilidad: Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.

Préstamo: Es el volumen de suelo adecuado proveniente de la excavación hecha fuera del prisma de la carretera, camino o calle, requerido generalmente para completar la construcción de terraplenes o rellenos.

Proyecto: La sección específica de la carretera, camino, calle o puente, junto con todas las obras que serán construidas.

Rasante: Es el nivel final de la superficie de rodamiento de una carretera, camino o calle. También se llama así a la traza de un plano vertical que intercepta la superficie antes mencionada, usualmente a lo largo de la línea central de la vía. El término puede referirse tanto a la elevación como a la pendiente de dicha traza según el contexto.

Sección Transversal: Dibujo en que se muestra una sección del camino cortada a todo lo ancho de la vialidad. También se puede aplicar a un arroyo, talud, deslizamiento, etc.

Base: Capa o capas de material colocado sobre la sub-base o sub-rasante para soportar la capa superficial de un pavimento.

Sub-Base: La capa o capas de material colocado sobre una sub-rasante para soportar la base.

Sub-Rasante: Es el nivel del terreno sobre el cual se asientan las capas de subbase, base y carpeta del pavimento. Corresponde al nivel de lo que se conoce como terracería.

Terraplén: Material excavado que se coloca sobre la superficie de un terreno preparado para construir la sub-rasante del camino y la plantilla de base del camino.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
2. ESTUDIO TOPOGRÁFICO.....	7
2.1. Planimetría	8
2.2 Altimetría	15
2.3 Referencias y Detalles	16
3. ESTUDIO DE SUELOS.....	18
3.1 Método Utilizado para la Recopilación de Información.....	18
3.1.1 Trabajo de Campo	19
3.1.2 Trabajos de Laboratorio	20
3.2 Resultados Obtenidos	20
3.2.1 Sondeos de Línea.....	21
3.2.2 Bancos de Préstamo.....	21
3.3 CBR de Diseño para Sub-Rasante.....	22
3.3.1 Modulo Resiliente para Sub-Rasante.....	25
3.4 Banco de Material a Utilizar en el Proyecto para Capa Base.....	26
4. ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	29
4.1 Consideraciones para la Realización del Estudio de Tránsito.....	29
4.1.1 Ubicación de la Estación de Aforo	29
4.2 Aforo Vehicular.....	31
4.2.1 Formato de Aforo Vehicular	31
4.2.2 Resultados del Aforo Vehicular	32

4.2.3 Análisis del Aforo Vehicular	32
4.3 Resultados del Análisis de Tránsito	34
4.3.1 Resultado del Tránsito Promedio Aplicando los Factores de Ajuste ...	34
4.3.2 Clasificación Vehicular Promedio.....	34
4.4 Análisis de la Información Obtenida	35
4.4.1 Evolución del PIB.....	35
4.4.2 Crecimiento Poblacional	36
4.4.3 Crecimiento del Tráfico Desarrollado Por Tipo de Vehículos.....	37
4.4.4 Análisis de Tasa de Crecimiento Utilizada	38
4.5 Proyección del Tráfico.....	39
4.6 Factor Crecimiento (FC).....	40
4.6.1 Periodo de Diseño.....	40
4.7 Factor Carril (fc)	41
4.8 Factor Distribución (FD)	41
4.9 Tráfico de Diseño Proyectado	41
4.10 Factor de Equivalencia (FESAL)	42
4.11 Ejes Equivalentes (W_{18})	42
5. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO	46
5.1 Consideraciones del Diseño AASHTO-93.....	47
5.1.1 Carga de Ejes Simples Equivalentes	47
5.1.2 Confiabilidad	48
5.1.3 Desviación Estándar (S_0)	49
5.1.4 Serviciabilidad.....	50
5.1.5 Pérdida de Servicialidad (ΔPSI).....	50
5.1.6 Coeficiente de Drenaje.....	51
5.1.7 Coeficientes de Capa.....	52
5.1.8 Número Estructural	53
5.2 Cálculo de Espesores	54

6. DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL.....	58
6.1 Alineamiento Horizontal	59
6.1.1 La Tangente.....	59
6.1.2 Curvas Circulares.....	59
6.1.3 Desarrollo del Peralte.....	62
6.1.4 Diseño del Sobre-Ancho.	64
6.2 Alineamiento Vertical.....	66
6.2.1 Diseño de Curvas Verticales en Cresta o Convexa.	68
6.2.3 Diseño de Curvas en Columpios o Cóncavas.....	70
6.2.4 Criterios para el Diseño del Alineamiento Vertical	73
6.3 Determinación de Rasante.....	75
6.4 Elaboración de Planos	75
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Derrotero del Perfil Longitudinal	9
Tabla 2. Intersecciones Existentes en el Tramo de Estudio	15
Tabla 3. Datos de Bancos de Préstamos	21
Tabla 4. Resumen de Resultados Obtenidos de los Ensayes de Bancos de Material.....	22
Tabla 5. Límites para selección de CBR de Diseño	23
Tabla 6. Selección del CBR de Diseño.....	24
Tabla 7. Ecuaciones de Correlación CBR y Mr	26
Tabla 8. CBR Mínimo para Base y Sub-Base	26
Tabla 9. Listado Histórico TPDA de Estaciones Permanentes-Control-Sumarias Estación Susucayán- Las Cruces NN-16 8102.....	30
Tabla 10. Consolidado de Resultados de Aforo Vehicular	33
Tabla 11. Estación de Referencia de Punto de Control para Aforo Vehicular Estación 111/Condega-Shell Palacaguina	33
Tabla 12. Tránsito Promedio Aplicando los Factores de Ajuste	34
Tabla 13. Evolución del PIB en Nicaragua	35
Tabla 14. Resumen de los Censos de Población Nacional 1906-2005.....	36
Tabla 15. Población El Jícaro según Censo 1995 – 2005 –2010	37
Tabla 16. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)-Estación NN-16 8102.....	37
Tabla 17. Tasa de Crecimiento de TPDA	38
Tabla 18. Periodo de Análisis Sugerido por la Guía AASHTO-93.....	41
Tabla 19. Factores de Tráfico en el carril de Diseño, Recomendados por AASHTO-93.....	41
Tabla 20. Tráfico de Diseño Proyectado a 20 años.....	42
Tabla 21. Ejemplo de Cálculo de Interpolación FESAL	43
Tabla 22. Cálculo de Ejes Equivalentes	44
Tabla 23. Espesores Mínimos de Concreto Asfáltico y Base Granular	47
Tabla 24. Porcentajes de Confiabilidad (R)	48

Tabla 25. Valor de Zr en Función de la Confiabilidad R	49
Tabla 26. Desviación Estándar Dependiendo de las Condiciones de Servicio... 50	50
Tabla 27. Factores de Serviciabilidad.....	50
Tabla 28. Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad	51
Tabla 29. Resumen de Variables Utilizadas para el Diseño.....	54
Tabla 30. Espesores de Pavimento.....	56
Tabla 31. Parámetros de Diseño Usados en el Proyecto.	58
Tabla 32. Clasificación de los Terrenos en Función de las Pendientes Naturales	66
Tabla 33. Pendientes Máximas y Mínimas por Tipo de Carretera.....	67
Tabla 34. Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta Basados en las distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento	70
Tabla 35. Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio basados en la Distancia de Visibilidad de Parada, DVP.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Selección del CBR de Diseño	25
Figura 2. Punto de Control para Aforo Vehicular	30
Figura 3. Registro Histórico de Volumen de Transito Estación NN-16 8102. Susucayán-Las Cruces	31
Figura 4. Clasificación Vehicular	34

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Introducción

El Municipio de El Jícaro, se encuentra ubicado en la parte norte de Nicaragua, ocupando el extremo central este del departamento de Nueva Segovia. Por su extensión territorial ocupa el tercer lugar entre los doce que conforman el departamento, ubicado a 278 Km de la capital Managua y 56 Km de la cabecera departamental Ocotol, localizado entre las coordenadas 13°43'54" latitud Norte 86°08'24" longitud Oeste (Alcaldía Municipal de Jicaro, Nueva Segovia, 2010). (Ver anexo I-1.1, 1.2, pag. III y V). El tramo Susucayán – La Pimienta tiene una longitud de 4.00 km, el cual no cuenta con una estructura de rodamiento adecuada para la circulación vehicular, lo que genera altos costos de operación vehicular (Alcaldía Municipal de Jicaro, Nueva Segovia, 2010).

La ruta Susucayán - La Pimienta ha servido de transporte para muchos comerciantes y productores de las diferentes comunidades y pueblos aledaños, en los últimos años al camino se le ha venido dando mantenimiento pero no ha sido lo suficiente por el tráfico pesado que circula y las temporadas de invierno, esto ha provocado que la carpeta de rodamiento se mantenga siempre en malas condiciones.

Para la elaboración del trabajo monográfico se realizó el análisis del tránsito actual a fin de determinar y estimar la repetición de ejes equivalentes de carga para el diseño apropiado de la estructura de pavimento. Se realizó el estudio geotécnico a las muestras de suelos con el objetivo de analizar las características físico-mecánicas de los materiales existentes.

El método utilizado para el estudio de diseño de pavimento es el de la AASHTO-93, el cual incorpora parámetros de diseño relacionados a la confiabilidad, módulos resilientes de materiales, así como las repeticiones de ejes equivalentes generados por el tráfico vehicular.

También se utilizó el manual Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004), así como la NIC 2000 y el programa Civil 3D para el diseño geométrico de la vía.

1.2 Antecedentes

A partir de 1955, los préstamos públicos contratados por el Estado aumentaron y las inversiones ajustadas a presupuestos particulares trajeron como resultado un nuevo empuje a la expansión de la red vial. A esa fecha existían en Nicaragua 3,687 Km. de carretera, contando con 280 Km. de carreteras de pavimentación asfáltica, para 1965 se tenían 6,475 kms; de los cuales 811 kms eran de pavimentación asfáltica. En la actualidad la red vial de Nicaragua está conformada por 19,032 kms de carreteras, de los cuales 2,095 kms son pavimentados (Adoquinados y asfaltados) y 16,937 kms son caminos de tierra (Molina 2003).

Estas infraestructuras fueron construidas con especificaciones simples y de bajo costo, lo que ha provocado su rápido deterioro, situación que puede ser superada, dotándolas de especificaciones que respondan a las demandas de tráfico actual, así como para las proyecciones futuras (Moran, 2014).

Al tramo en estudio Susucayán- La Pimienta en noviembre de 2015 se le da el último mantenimiento que se tiene registrado, en este se le dio una mejora a la carpeta de rodamiento por la Empresa Constructora Las Segovias (EMCOSE).

En ciertos tramos del camino no tiene un ancho definido, la alcaldía municipal por falta de fondos no ha realizado un diseño apropiado para la gestión de la construcción (Alcaldía El Jicaró N.S, 2011).

El Mejoramiento de este camino ha sido constantemente demandado por pobladores y diversos gremios de productores de este municipio, así como de las autoridades edilicias quienes han hecho llegar su solicitud a las autoridades del Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI aduciendo la problemática que enfrentan para poder movilizarse y trasladar la producción que es generada en estas zonas.

1.3 Justificación

Toda ciudad debe contar con una red vial interna y externa en buenas condiciones, para lograr un ascenso en el desarrollo económico y social. Es por eso que debe ser una prioridad el mantener las vías de la ciudad en buenas condiciones.

El tramo en estudio es de vital importancia para el sector agropecuario del municipio El Jícaro, ya que este rubro constituye el principal motor económico de la zona. Este camino atraviesa zonas de cultivos, principalmente de Frijoles y Maíz, además de áreas de uso ganadero.

Indudablemente que el mejoramiento de este camino vendría a reducir los costos de transporte considerablemente, brindando como consecuencia un ahorro sustantivo para los productores, así como para la población en general.

El mejoramiento de este tramo permitiría superar la problemática que presenta actualmente el camino por las malas condiciones en que se encuentra, además de los problemas que se genera precisamente a partir de sus condiciones de deterioro como son: dificultad para trasladar la producción de los granos básicos a los centros de acopio para luego ser trasladados a los centros de consumo, problemas de comunicación entre las comunidades Nicaragüenses que se encuentran en la zona de influencia del camino, así como que la población asentada a lo largo del tramo tenga mejores perspectivas de desarrollo, mejorando su nivel de vida.

Debido a la situación actual en la que se encuentra el tramo Susucayán-La Pimienta (Ver anexo I-1.3, pag. VI) fue necesario proponer un diseño vial, con el fin de obtener una estructura que responda eficientemente a las condiciones ya sean estas climáticas, de volumen de tráfico, comodidad, seguridad y ahorrar tiempo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Proponer el diseño geométrico vial y estructura de pavimento articulado de 4.00 km del tramo de carretera Susucayán – La Pimienta, municipio de El Jícaro departamento de Nueva Segovia bajo los criterios de la AASHTO- 93.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento topográfico del tramo a fin de definir la línea central, niveles, secciones transversales y perfil longitudinal.
- Realizar un estudio geotécnico para evaluar las propiedades físico-mecánicas de los suelos existentes en el sitio y materiales requeridos.
- Realizar estudios de tránsito para obtener los ejes equivalentes Standard (ESAL W_{18}) que transitarán en el tramo para el periodo de diseño.
- Diseñar los espesores de pavimento articulado considerando el uso de adoquín como estructura de rodamiento por el método AASHTO-93.
- Elaborar planos de diseño que muestren el diseño geométrico vial para el tramo Susucayán- La Pimienta, utilizando el software AUTOCAD Civil 3D y las normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004).

CAPITULO II

ESTUDIO TOPOGRÁFICO

2. ESTUDIO TOPOGRÁFICO

En el estudio, elaboración y ejecución de cualquier proyecto de Ingeniería de obras que tengan como asiento la superficie de la tierra, es necesario el uso de la topografía en la elaboración del área destinada para la obra. Las características del terreno son la guía del diseñador, para la mejor distribución y ubicación de la obra, en sus aspectos funcionales y ornamentales; y del Ingeniero para conseguir la mayor rigidez, estabilidad y seguridad de ésta. Se refiere al levantamiento topográfico de la zona.

En la etapa del diseño geométrico del proyecto, se vinculan en forma analítica, los diferentes ejes de simetría de la obra, entre sí y con elementos fijos del terreno, BM (Banco Maestro) con fines de su posterior replanteo.

El reconocimiento es el examen general de la ruta o corredor que han quedado determinados por los mapas geodésicos. Su finalidad es descubrir las características sobresalientes que hacen de una ruta superior a las demás; sirve también para obtener datos complementarios de la región, tener una idea del posible costo de la construcción de la carretera propuesta, anticipar los efectos potenciales de la carretera en el desarrollo económico de los terrenos que atraviesa y estimar los impactos ambientales que pudieran incidir en el entorno de la carretera.

Con los datos obtenidos durante el reconocimiento preliminar y con la información reunida con anterioridad, el Ingeniero se formará un criterio que le permitirá seleccionar las alternativas que ameritarán estudio topográfico.

El levantamiento topográfico de este trabajo monográfico, se realizó con un equipo de precisión, tipo Estación Total LEICA modelo, 5"TS06PLUS-R500 proporcionado por la alcaldía municipal de El Jícaro N.S.

Dicho levantamiento se realizó en un lapso de 13 días calendario, obteniendo los datos necesarios para conocer las condiciones geométricas en la que se encuentra la vía, para su diseño y posterior replanteo del terreno en estudio.

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

2.1. Planimetría

- **Alineamiento horizontal**

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

El alineamiento da comienzo en el estacionamiento 0+000, en el empalme de Susucayán y finaliza en la comunidad de la Pimienta en el estacionamiento 4+000.

A continuación se presenta la tabla de coordenadas y rumbos de las diferentes estaciones:

Tabla 1. Derrotero del Perfil Longitudinal

Estación	Coordenadas		Rumbos
	X	Y	
0+000	1511616.436	589627.335	N 65-54-05 E
0+020	1511623.699	589645.945	N 74-05-31 E
0+040	1511627.123	589665.613	N 86-09-15 E
0+060	1511626.381	589685.564	S 82-57-13 E
0+080	1511624.174	589705.439	S 85-59-55 E
0+100	1511623.92	589725.426	N 87-27-12 E
0+120	1511625.947	589745.312	N 80-54-19 E
0+140	1511629.283	589765.032	N 80-22-33 E
0+160	1511632.627	589784.75	N 80-22-33 E
0+180	1511635.976	589804.468	N 80-03-29 E
0+200	1511640.051	589824.045	N 76-25-13 E
0+220	1511644.776	589843.479	N 76-20-03 E
0+240	1511649.429	589862.93	N 77-40-01 E
0+260	1511652.987	589882.606	N 81-50-02 E
0+280	1511655.106	589902.489	N 86-00-03 E
0+300	1511655.774	589922.474	S 89-49-56 E
0+320	1511654.989	589942.454	S 85-39-55 E
0+340	1511652.763	589962.325	S 81-59-15 E
0+360	1511649.976	589982.13	S 81-59-15 E
0+380	1511647.188	590001.935	S 81-59-15 E
0+400	1511645.158	590021.824	S 87-03-14 E
0+420	1511645.155	590041.815	N 87-04-11 E
0+440	1511648.033	590061.566	N 75-12-33 E
0+460	1511655.24	590080.183	N 64-35-01 E
0+480	1511662.985	590098.61	N 70-36-49 E
0+500	1511668.466	590117.832	N 77-33-30 E
0+520	1511671.582	590137.576	N 84-30-12 E
0+540	1511673.191	590157.511	N 85-26-57 E
0+560	1511674.778	590177.448	N 85-26-57 E
0+580	1511676.021	590197.407	N 87-49-39 E
0+600	1511676.502	590217.4	N 87-11-30 E
0+620	1511678.653	590237.272	N 80-27-03 E
0+640	1511683.122	590256.755	N 73-42-37 E
0+660	1511689.572	590275.683	N 70-20-36 E

Estación	Coordenadas		Rumbos
	X	Y	
0+680	1511695.994	590294.618	N 74-32-26 E
0+700	1511699.697	590314.249	N 84-05-24 E
0+720	1511700.382	590334.227	N 89-39-54 E
0+740	1511699.141	590354.166	S 81-42-33 E
0+760	1511694.625	590373.626	S 72-09-36 E
0+780	1511686.943	590392.067	S 62-36-38 E
0+800	1511677.722	590409.813	S 63-26-31 E
0+820	1511669.08	590427.848	S 65-21-07 E
0+840	1511660.905	590446.101	S 65-56-11 E
0+860	1511652.628	590464.308	S 65-10-21 E
0+880	1511644.11	590482.403	S 64-24-31 E
0+900	1511635.351	590500.383	S 63-41-16 E
0+920	1511626.486	590518.311	S 63-41-16 E
0+940	1511617.621	590536.239	S 63-41-16 E
0+960	1511608.344	590553.947	S 58-17-06 E
0+980	1511596.278	590569.859	S 47-22-17 E
1+000	1511581.417	590583.199	S 36-27-29 E
1+020	1511564.678	590594.136	S 32-24-21 E
1+040	1511548.864	590606.33	S 43-11-33 E
1+060	1511535.699	590621.344	S 54-19-04 E
1+080	1511525.604	590638.58	S 63-08-05 E
1+100	1511516.88	590656.572	S 66-42-08 E
1+120	1511509.992	590675.338	S 72-19-57 E
1+140	1511503.922	590694.395	S 72-19-57 E
1+160	1511495.707	590712.579	S 58-56-50 E
1+180	1511483.479	590728.347	S 45-27-57 E
1+200	1511467.963	590740.907	S 34-39-05 E
1+220	1511451.83	590752.696	S 42-57-45 E
1+240	1511440.271	590768.854	S 65-52-51 E
1+260	1511435.193	590788.14	S 79-00-22 E
1+280	1511431.379	590807.773	S 79-00-22 E
1+300	1511427.565	590827.406	S 79-00-22 E
1+320	1511423.864	590847.059	S 81-08-21 E
1+340	1511421.987	590866.958	S 88-05-02 E
1+360	1511422.53	590886.939	N 84-58-16 E

Estación	Coordenadas		Rumbos
	X	Y	
1+380	1511424.673	590906.823	N 83-44-20 E
1+400	1511426.854	590926.704	N 83-45-52 E
1+420	1511427.43	590946.674	S 87-04-06 E
1+440	1511424.961	590966.484	S 73-58-54 E
1+460	1511415.157	590983.7	S 46-41-52 E
1+480	1511398.552	590994.506	S 19-24-51 E
1+500	1511379.268	590999.797	S 16-18-30 E
1+520	1511360.447	591006.528	S 23-02-57 E
1+540	1511342.546	591015.422	S 29-47-23 E
1+560	1511325.813	591026.355	S 36-31-50 E
1+580	1511310.475	591039.172	S 42-47-29 E
1+600	1511295.798	591052.759	S 42-47-29 E
1+620	1511281.093	591066.315	S 41-24-54 E
1+640	1511265.231	591078.47	S 33-30-43 E
1+660	1511247.848	591088.329	S 25-36-33 E
1+680	1511229.275	591095.705	S 17-42-23 E
1+700	1511210.105	591101.407	S 16-28-07 E
1+720	1511190.926	591107.077	S 16-28-07 E
1+740	1511171.746	591112.746	S 16-28-07 E
1+760	1511152.487	591118.13	S 13-49-45 E
1+780	1511132.912	591122.213	S 09-44-11 E
1+800	1511113.16	591125.353	S 08-57-34 E
1+820	1511093.405	591128.468	S 08-57-34 E
1+840	1511073.649	591131.583	S 08-57-34 E
1+860	1511053.848	591134.388	S 06-45-46 E
1+880	1511033.939	591136.275	S 04-03-59 E
1+900	1511013.963	591137.224	S 01-22-12 E
1+920	1510993.965	591137.281	S 00-27-19 W
1+940	1510973.965	591137.122	S 00-27-19 W
1+960	1510953.966	591136.963	S 00-27-19 W
1+980	1510933.966	591136.804	S 00-27-19 W
2+000	1510913.967	591136.645	S 00-27-19 W
2+020	1510893.972	591136.905	S 02-32-56 E
2+040	1510874.035	591138.449	S 06-18-21 E
2+060	1510854.248	591141.23	S 14-47-45 E

Estación	Coordenadas		Rumbos
	X	Y	
2+080	1510836.43	591150.018	S 37-42-51 E
2+100	1510823.409	591165.031	S 58-22-27 E
2+120	1510812.847	591182.015	S 56-53-18 E
2+140	1510801.289	591198.33	S 52-28-51 E
2+160	1510788.51	591213.71	S 48-04-25 E
2+180	1510774.588	591228.061	S 43-39-58 E
2+200	1510759.604	591241.3	S 39-15-32 E
2+220	1510744.038	591253.859	S 38-52-52 E
2+240	1510728.469	591266.413	S 38-52-52 E
2+260	1510712.9	591278.967	S 38-52-52 E
2+280	1510697.331	591291.521	S 38-52-52 E
2+300	1510681.275	591303.416	S 31-32-33 E
2+320	1510663.301	591312.11	S 20-05-00 E
2+340	1510643.957	591317.06	S 08-37-27 E
2+360	1510624.026	591318.589	S 03-00-49 E
2+380	1510604.054	591319.64	S 03-00-49 E
2+400	1510584.081	591320.692	S 03-00-49 E
2+420	1510564.109	591321.743	S 03-00-49 E
2+440	1510544.126	591321.696	S 04-17-58 W
2+460	1510524.366	591318.727	S 12-47-16 W
2+480	1510505.26	591312.874	S 21-16-34 W
2+500	1510486.991	591304.744	S 24-40-14 W
2+520	1510468.817	591296.396	S 24-40-14 W
2+540	1510450.642	591288.048	S 24-40-14 W
2+560	1510431.997	591280.929	S 13-33-02 W
2+580	1510412.211	591278.105	S 06-41-09 W
2+600	1510392.347	591275.776	S 06-41-09 W
2+620	1510372.483	591273.448	S 06-41-09 W
2+640	1510352.576	591273.536	S 10-19-22 E
2+660	1510333.975	591280.58	S 31-09-27 E
2+680	1510318.828	591293.535	S 45-24-51 E
2+700	1510304.836	591307.825	S 47-00-59 E
2+720	1510292.091	591323.223	S 53-45-26 E
2+740	1510281.242	591340.011	S 60-29-52 E
2+760	1510272.439	591357.956	S 67-14-18 E

Estación	Coordenadas		Rumbos
	X	Y	
2+780	1510265.802	591376.811	S 73-58-45 E
2+800	1510261.424	591396.314	S 80-43-11 E
2+820	1510258.975	591416.161	S 83-34-00 E
2+840	1510254.711	591435.651	S 70-33-20 E
2+860	1510245.777	591453.486	S 56-13-54 E
2+880	1510232.708	591468.557	S 41-54-27 E
2+900	1510216.317	591479.926	S 27-35-01 E
2+920	1510197.623	591486.886	S 13-15-35 E
2+940	1510178.103	591491.242	S 12-33-42 E
2+960	1510158.582	591495.592	S 12-33-42 E
2+980	1510139.061	591499.942	S 12-33-42 E
3+000	1510119.539	591504.291	S 12-33-42 E
3+020	1510099.664	591505.041	S 08-15-27 W
3+040	1510080.821	591498.672	S 29-05-33 W
3+060	1510065.094	591486.406	S 41-51-52 W
3+080	1510050.199	591473.058	S 41-51-52 W
3+100	1510035.402	591459.604	S 43-58-00 W
3+120	1510021.674	591445.071	S 49-17-48 W
3+140	1510008.699	591429.851	S 47-50-07 W
3+160	1509994.356	591415.933	S 40-26-32 W
3+180	1509978.341	591403.976	S 33-02-57 W
3+200	1509960.937	591394.147	S 26-53-27 W
3+220	1509941.823	591389.072	S 00-21-25 E
3+240	1509922.81	591394.45	S 31-13-54 E
3+260	1509908.873	591408.568	S 53-07-25 E
3+280	1509896.871	591424.567	S 53-07-25 E
3+300	1509884.87	591440.566	S 53-07-25 E
3+320	1509872.868	591456.564	S 53-07-25 E
3+340	1509860.473	591472.25	S 47-59-09 E
3+360	1509845.958	591485.977	S 38-49-07 E
3+380	1509829.441	591497.217	S 29-39-05 E
3+400	1509811.998	591507.003	S 29-17-15 E
3+420	1509794.555	591516.787	S 29-17-15 E
3+440	1509777.111	591526.571	S 29-17-15 E
3+460	1509759.668	591536.355	S 29-17-24 E
3+480	1509742.477	591546.571	S 32-09-17 E

Estación	Coordenadas		Rumbos
	X	Y	
3+500	1509725.696	591557.452	S 33-07-25 E
3+520	1509708.946	591568.381	S 33-07-25 E
3+540	1509692.196	591579.31	S 33-07-25 E
3+560	1509675.447	591590.24	S 33-20-47 E
3+580	1509659.613	591602.429	S 41-50-05 E
3+600	1509645.753	591616.821	S 50-19-22 E
3+620	1509634.118	591633.071	S 57-06-38 E
3+640	1509623.262	591649.868	S 57-30-25 E
3+660	1509613.357	591667.234	S 63-05-49 E
3+680	1509605.191	591685.482	S 68-41-12 E
3+700	1509598.841	591704.439	S 74-16-35 E
3+720	1509594.368	591723.924	S 79-51-59 E
3+740	1509591.815	591743.752	S 85-27-22 E
3+760	1509590.691	591763.72	S 87-18-57 E
3+780	1509589.937	591783.706	S 88-21-27 E
3+800	1509589.545	591803.702	S 89-23-57 E
3+820	1509589.517	591823.701	N 89-33-32 E
3+840	1509589.853	591843.698	N 88-31-02 E
3+860	1509590.552	591863.686	N 87-28-32 E
3+880	1509591.615	591883.657	N 86-26-02 E
3+900	1509593.04	591903.606	N 85-23-31 E
3+920	1509594.828	591923.526	N 84-21-01 E
3+940	1509596.978	591943.41	N 83-18-31 E
3+960	1509599.47	591963.254	N 82-36-06 E
3+980	1509602.016	591983.091	N 83-34-48 E
4+000	1509603.266	592003.043	N 89-15-10 E

Fuente: Elaboración Propia

- **Intersecciones**

En el levantamiento se determinaron las intersecciones existentes, que se presentan a continuación:

Tabla 2. Intersecciones Existentes en el Tramo de Estudio

Estacionamiento	Descripción de la Intersección
0+220-0+230	Acceso al Barrio Ramón Raudales
1+010-1+020	Acceso a Comunidad San Pedro de Hula

Fuente: Elaboración Propia

- **Secciones Transversales**

El levantamiento de las secciones transversales se hizo sobre la poligonal abierta y perpendicular a esta, estas secciones se hicieron a cada 20m para obtener los cálculos de volúmenes de tierra. (Ver juego de planos al final del documento-Plano N°1/Hoja 1 a 11).

- **Curvas horizontales**

En el levantamiento topográfico que se realizó se obtuvieron 44 datos de curvas a lo largo de todo el tramo de carretera, con el fin de tener una mejor precisión sobre el diseño geométrico vial.

La curva de mayor importancia en este tramo es la N°38, está entre las estaciones 3+202 y 3+254. Hay que destacar que es una curva muy cerrada, por ello, se tendrá presente al momento del diseño geométrico vial. (Ver juego de planos al final del documento-Plano N°5/Hoja 1 a 5).

2.2 Altimetría

- **Establecimiento de BM's**

Se asumió un primer BM en la Estación 0+000 con el fin de iniciar la determinación de la elevación de los demás puntos. Se obtuvieron 34 BM's a lo largo de todo el tramo en estudio. (Ver juego de planos al final del documento-Plano N°2/Hoja 1 a 3).

- **Pendientes**

El valor del bombeo que predomina en el tramo en estudio es de 4% determinado a partir del levantamiento topográfico.

Basados en el levantamiento topográfico, en el sitio existen 80 curvas verticales ,35 tipo cresta o convexa y 45 curvas verticales tipo columpio o cóncavas. El camino es sinuoso y sobresale una curva realmente cerrada cuyas características se determinaran en el diseño vial.

La pendiente máxima de esta calle es de 11.25% y se encuentra en los estacionamientos 2+325 y el estacionamiento 2+395.

La pendiente mínima es de 0.350% y se encuentra en los estacionamientos 3+515 y el estacionamiento 3+585. (Ver juego de planos al final del documento-Plano N°5/Hoja 1 a 5).

2.3 Referencias y Detalles

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

Las referencias se establecieron fuera del derecho de vía, amarrado con puntos inamovibles de las vías.

De igual manera se levantaron los detalles más relevantes que se encontraron dentro del derecho de vía como información a reflejarse en los planos constructivos.

Estos detalles incluyeron obstáculos que se encontraron en la franja del derecho de vía, arboles, intersecciones, poste del tendido eléctrico, casas etc.; así como la señalización más relevante en la vía (Ver juego de planos al final del documento-Plano N°3/Hoja 1 a 3).

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE SUELO

3. ESTUDIO DE SUELOS

Los ensayos que definen las principales propiedades de los suelos en las carreteras son: Análisis Granulométrico, Límites de Atterberg, Proctor Normal y Modificado y la determinación de la capacidad portante mediante el índice CBR.

Estos ensayos demuestran que el terreno se comporta como una estructura más, con características físicas propias, densidad, porosidad, módulo de elasticidad, cohesión, ángulo de rozamiento interno, que confieren ciertas propiedades resistentes ante diversas sollicitaciones como es la compresión, la tensión y los asentamiento máximo y diferencial.

3.1 Método Utilizado para la Recopilación de Información

Este estudio se desarrolló con la finalidad de realizar un estudio geotécnico para evaluar las propiedades físico-mecánicas de los suelos existentes en el sitio y materiales requeridos.

Los métodos más utilizados en Nicaragua para determinar la clasificación de los suelos son: **H.R.B. ASTM D-3282, AASHTO M-145, y S.U.C.S. ASTM D-2487.**

La metodología ejecutada comprendió básicamente de una investigación de campo a lo largo del tramo proyectado mediante sondeo manuales con la obtención de muestras representativas en cantidades suficientes, las que fueron sometidas a los ensayos del laboratorio y finalmente con los datos obtenidos en ambas fases se realizaron las labores de gabinetes para consignar luego en forma gráfica y escrita los resultados del estudio.

Para alcanzar los objetivos propuestos las actividades realizadas fueron:

3.1.1 Trabajo de Campo

➤ Muestreo y sondeo de las capas del suelo sobre el rodamiento existente

Los trabajos de campo consistieron en la ejecución de 17 sondeos manuales, con una profundidad de 1.50 m aproximadamente distribuidos a lo largo del camino investigado, con una separación entre sondeos de 250 m aproximadamente, con un total de 63 muestras de suelos.

Se determinaron muestras representativas del suelo natural para determinar la capacidad de soporte mediante el ensayo de California Bearnig Ratio (CBR), así como los ensayos de clasificación y otros que permitan predecir el comportamiento del terreno natural para condiciones de humedad y densidad a esperarse en la obra. Estas se tomaron cada 2 km, 3 muestras por sondeo para un total de 9 muestras.

➤ Muestreo y sondeo de los bancos de préstamos potenciales

Con la finalidad de ubicar volúmenes disponibles de materiales con características geotécnicas adecuados en relación con el uso a dar, la facilidad de acceso, el procedimiento de explotación y la distancia de transporte, se efectuó el reconocimiento y estudio de los diversos tipos de materiales existentes en la zona.

Se tomaron muestra de 2 fuentes de materiales para verificar si pueden suplir las necesidades del proyecto en este aspecto. A estos bancos de préstamo de material se les efectuaron Sondeos de Pozos a Cielo Abierto (PCA), de 1.50m de largo x 1.50m de ancho x 3.00m de profundidad y se tomó una muestra de material por cada uno de los PCA realizados en el terreno.

3.1.2 Trabajos de Laboratorio

Las muestras obtenidas en los sondeos de línea y bancos de materiales se sometieron a los siguientes ensayos de laboratorio, de acuerdo a las Normas ASTM.

Tipo de Ensaye	Designación
➤ Análisis granulométrico.	ASTM D-422
➤ Límite líquido.	ASTM D-423
➤ Límite plástico e índice de plasticidad.	ASTM D-424
➤ C.B.R.	ASTM D-1883
➤ Contenido de humedad natural.	ASTM-265
➤ Peso volumétrico y varillado.	ASTM C-29

En base a los resultados obtenidos las muestras se clasificaron de acuerdo al sistema H.R.B (AASHTO M-145).

El ensaye de CBR se realizó a las muestras de los bancos de materiales de préstamos, así como también a algunas de las muestras de los sondeos sobre la línea. Se utilizó la humedad óptima encontrada en los ensayos de Proctor Estándar (AASHTO T-99) para las muestras de sondeos de línea, así como el de Proctor Modificado (AASHTO T-180) para bancos de préstamo. Para la realización del ensaye CBR, la muestra se saturó por un tiempo de cuatro días (96 hrs), antes de ejecutar el ensaye.

3.2 Resultados Obtenidos

Los resultados que se presentaran son producto de los ensayos realizados descritos con anterioridad en este capítulo, los métodos usados en dicho ensayos fueron tomados de la guía de laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería – UNI/RUACS con orientación del personal técnico del laboratorio de suelos.

3.2.1 Sondeos de Línea

De acuerdo a los resultados obtenidos los materiales predominantes a lo largo del tramo de camino investigado, son arena y gravas limosas, que clasifican, en el sistema H.R.B., como A-2-4, A-1-b y A-1-a, encontrándose en algunos sectores estratos de suelos limosos A-4; gravas y arenas arcillosas tipo A-2-6, así como suelos arcillosos A-6 y A-7-6.

El índice de grupo (IG) de los suelos predominantes es de "0" para los A-2-4, A1-b, y A-1-a; de 0 a 8 para los A-4; de 0 a 2 para los A-2-6 ; de 1 a 10 para los A-6 y de 2 a 20 para los A-7-6.

Para una mejor explicación se presenta las tablas de resultados: (Ver Anexo II-2.1 tablas N°1 a la 5, pag. VIII a la XII) "Resultados de Sondeos sobre la Línea", (Ver Anexo II-2.2 tablas N°1 a la 9 pag. XIV a la XXII) "Resultados de C.B.R y demás Ensayes en Muestras de Sondeos de Línea"; y (Ver juego de planos al final del documento-Plano N°4/Hoja 1) para "Estratigrafía del Suelo".

3.2.2 Bancos de Préstamo

Se identificaron las fuentes de materiales más adecuadas y cercanas a áreas del proyecto:

Tabla 3.Datos de Bancos de Préstamos

Banco	Ubicación	Volumen aproximado (m ³)	Uso probable
N°1(Dueña: Vivian López López)	Est. 4+250; 50m derecha	12,000	Material Selecto
N°2(Dueño: Jorge Rodríguez)	A 5 km del proyecto: Montegrande- Carretera hacia El Jícara	17,000	Material Selecto

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos de los análisis correspondientes a estos bancos:

Tabla 4. Resumen de Resultados Obtenidos de los Ensayes de Bancos de Material

Banco	Ubicación	% Que pasa Malla					LL	IP	C.B.R. a Compactación	
		2"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº. 200			95	100
Nº1(Dueña: Vivian López López)	Est. 4+250; 50m derecha	100	38	27	17	10	35	8	22	26
Nº2(Dueño: Jorge Rodríguez)	A 5 km del proyecto: Monte Grande-Carretera hacia El Júcaro	100	23	15	9	6	32	12	82.1	85.4

Fuente: Elaboración Propia

Para una mayor explicación de los datos obtenidos (Ver Anexo II-2.3 tablas N°1 y 2, pag. XXIV y XV) “Resultados de Estudios de Bancos”.

3.3 CBR de Diseño para Sub-Rasante

Para determinar el CBR de diseño, se hizo necesario realizar varias pruebas, teniendo en cuenta la longitud del tramo. En todas estas pruebas como es de esperarse, los resultados obtenidos difieren entre ellos a causa de las variaciones naturales del suelo y las imprecisiones que pueden cometerse al efectuar los ensayos.

El valor a tomar de los materiales existentes debe ser representativo en el tramo del camino a considerar en el diseño del pavimento, por los que existen muchos criterios para seleccionar el CBR adecuado, siendo el más utilizado el del Instituto del Asfalto que recomienda tomar un valor tal que el 60%,75% o el 87.5% de los valores individuales sean mayores o iguales que él, de acuerdo con el tránsito que se espera que circule por el pavimento, tal como se indica en la tabla siguiente:

Tabla 5. Límites para selección de CBR de Diseño

Nivel de Tránsito	Valor Percentil para Diseño de Subrasante (%)
< 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's	75
> 10,000 ESAL's	87.5

Fuente: AASHTO-93

Para el caso de nuestra investigación el valor del percentil de diseño a utilizar será del **75%** ya se obtuvo un ESAL's de **925,310**.

De la Línea de Sondeo se tienen las muestras de suelos para cada muestra recogida, posteriormente se llevan al laboratorio y se determinan los valores de CBR para cada una. Algunas de las muestra tienen un mismo valor de CBR debido a las características similares de los suelos, a esto se le llama frecuencia.

- Luego se ordenan los valores de CBR de menor a mayor junto con sus respectivas frecuencias.
- Se determina el número y el porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.
- Con los % de valores CBR Mayores o Iguales y los Valores CBR obtenidos de laboratorio, se gráfica dichos datos en papel milimetrado, resultando una curva extensa.
- Aplicar recomendación del Instituto del Asfalto de USA, en nuestro caso el percentil del 75% del CBR será el CBR de diseño de la Capa Subrasante.
- Por último introducir dicho porcentaje en la gráfica y leer el valor de CBR de diseño.

Según el diseño geométrico de la vía se requiere de una compensación de Sub-Rasante con un espesor de 13 cm de relleno promedio a lo largo del tramo, el cual se hará con el material proveniente del Banco de Préstamo N°1 clasificado como un suelo A-2-4 con un CBR de diseño del 22% al 95% de compactación (Ver tabla N°4 y Juego de planos-Plano N°4/Hoja 2).

Tabla 6. Selección del CBR de Diseño

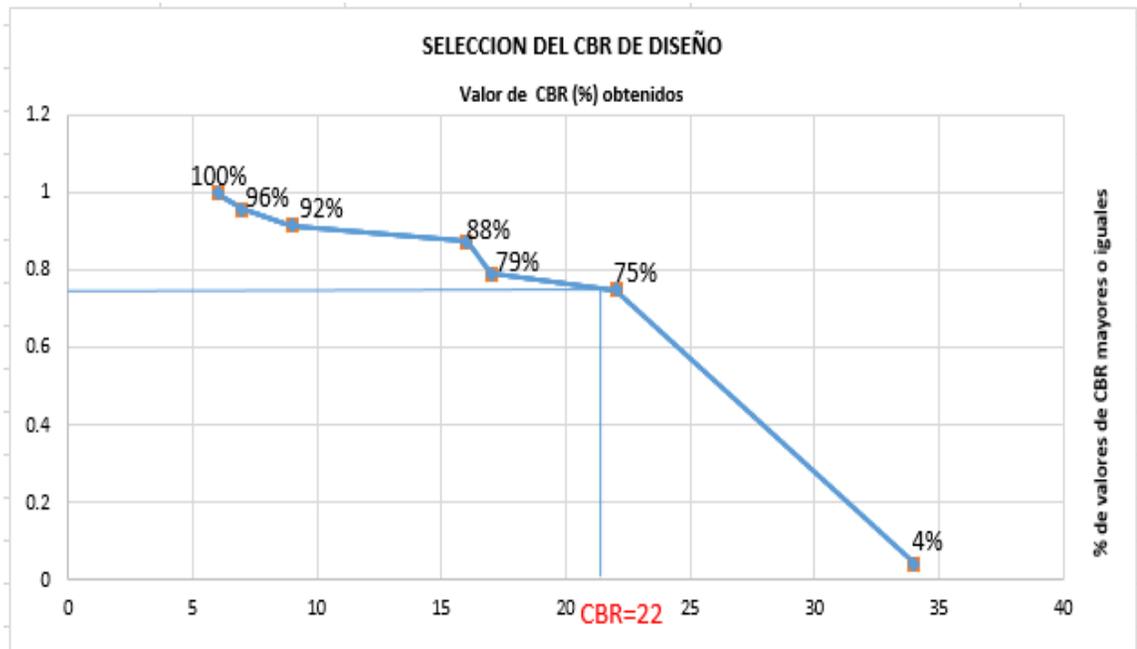
Valor del CBR Obtenido	Frecuencia	Numero de Valores Mayores o Iguales	% de valores de CBR Mayores o Iguales
6	1	24	100
7	1	23	96
9	1	22	92
16	2	21	88
17	1	19	79
22	17	18	75
34	1	1	4
	24		

Fuente: Elaboración Propia

Con los valores CBR y % de valores se dibuja un gráfico donde se determina el CBR de diseño.

El resultado se muestra en la siguiente figura:

Figura 1.Selección del CBR de Diseño



Fuente: Elaboración Propia

Al trazar tangente sobre el valor percentil de 75 % obtenemos el CBR de diseño para la sub-rasante igual a **22%**. Se asume que este porcentaje se establece como una muestra final representativa que tendrá la Sub-Rasante en todo el tramo del proyecto.

3.3.1 Modulo Resiliente para Sub-Rasante

Para la caracterización de los materiales de sub-rasante en este método, es el módulo resiliente o elástico. Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos. Se ha encontrado una relación entre el módulo resiliente medido en el campo y el CBR de laboratorio para la misma densidad.

Para determinar el valor del módulo de resiliencia se hace uso de los valores del CBR, dichas consideraciones se presentan a continuación.

Tabla 7. Ecuaciones de Correlación CBR y Mr

Valores de C.B.R	Consideración
CBR. < 10 %	Mr =1500* CBR
CBR. > 10 %	Mr =4326* Ln(CBR)+241

Fuente: Manual C.A para diseño de pavimento

De la tabla 5, se puede apreciar que para el caso de la investigación se usara el criterio de CBR. > 10 %, por lo tanto para nuestro tramo haremos uso de la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{MR} &= 4326* \text{Ln} (\text{CBR})+241 \\ &= 4326* \text{Ln} (22)+241 = 13,612.85 \text{ PSI.} \end{aligned}$$

El módulo de resiliencia para la sub-rasante considerando un valor de capacidad soporte (CBR) de diseño 22 % será de **13,612.85 PSI.**

Según los resultados obtenidos anteriormente el suelo de la línea no cumple con las Especificaciones Generales de la NIC–2000 Sección 1003.23 mostrado en la tabla 8, para ser empleado como base o sub-base.

Tabla 8. CBR Mínimo para Base y Sub-Base

Ensaye	Requisito que debe cumplir el material	
	Base	Sub-Base
CBR Mínimo	80%	40%

Fuente: NIC 2000

3.4 Banco de Material a Utilizar en el Proyecto para Capa Base.

➤ **Banco N°2: Jorge Rodríguez**

Este banco de material selecto su ubicación es a 5 km de la línea del proyecto, carretera hacia El Jícaro, en la comunidad de Montegrande. Se describe como grava y arena arcillosa o limosa de mediana plasticidad, clasificado dentro del grupo A-2-6(0), índice plástico de 12%, limite liquido de 32%, densidad seca

máxima de 2076 kg/m³, peso volumétrico seco suelto de 1380 kg/m³, una humedad optima de 8.33%, con CBR de 82.1% al 95%, su factor de abundamiento de 1.06. Este material cumple con las especificaciones según la AASHTO y la NIC 2000, Sección 1003.23-II-pag 530, para ser empleado en la capa base y sub base de ser necesaria.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE TRÁNSITO

4. ESTUDIO DE TRÁNSITO

Es uno de los factores más importantes para el dimensionamiento de pavimentos, en el que se considera las cargas más pesadas por eje esperadas en el carril de diseño en estudio, lo que determinará la estructura de pavimento de la carretera durante el período de diseño. La repetición de cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo.

Los análisis de tránsito juegan un papel vital en la elaboración de diseños de estructuras de rodamiento, ya que al realizar un estudio de tránsito nos damos cuenta de la situación actual en la que se encuentra el camino que se pretende diseñar o rehabilitar, estos estudios expresan de forma cuantitativa y cualitativamente la condición actual del tramo en estudio.

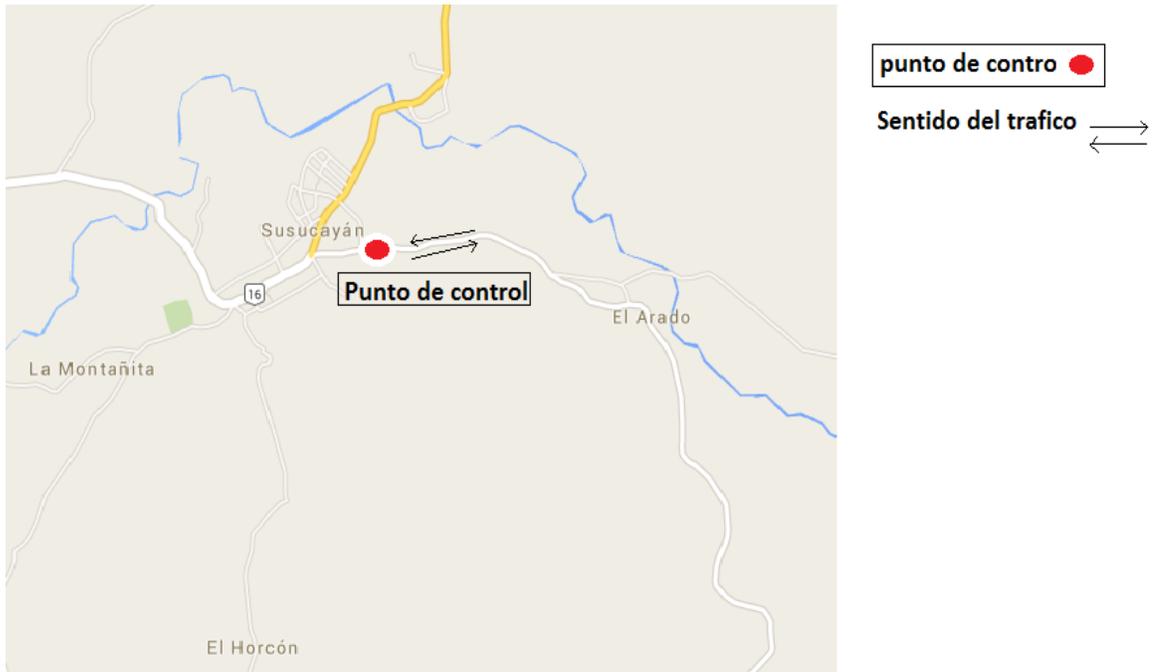
Dependiendo de los resultados que exprese este estudio, se proyectarán los niveles de servicios que deberá ofrecer el tramo en análisis para su vida de proyecto para el que fue diseñado.

4.1 Consideraciones para la Realización del Estudio de Tránsito

4.1.1 Ubicación de la Estación de Aforo

Se eligió una sola estación de aforo, el cual está ubicado propiamente en la Estación 0+220.

Figura 2. Punto de Control para Aforo Vehicular



Fuente: Adaptado de Google Maps

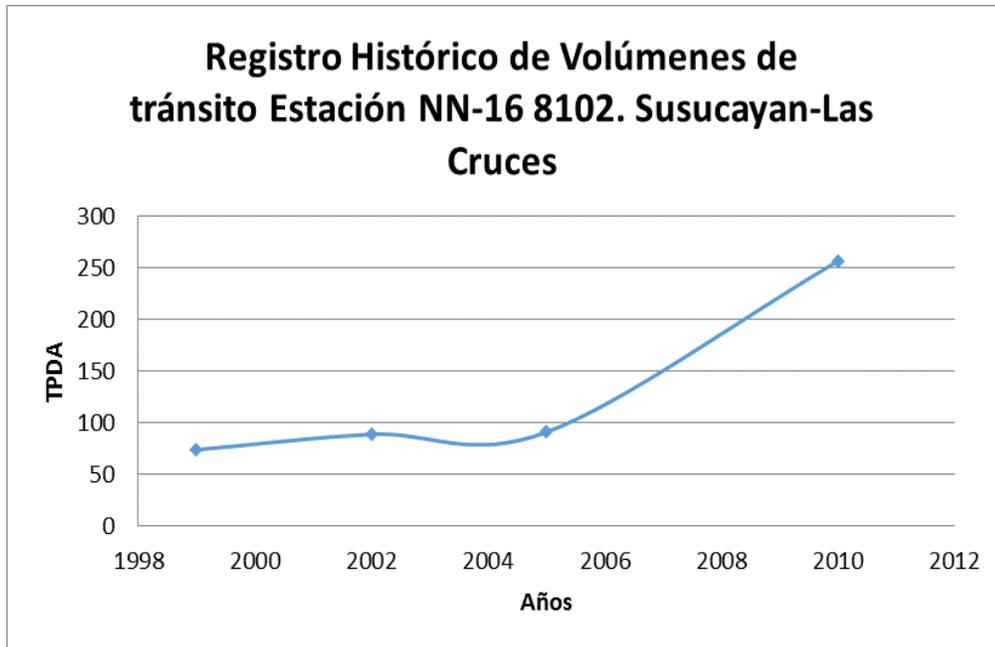
A este tramo de carretera se le realizarán comparaciones con los datos suministrados por las estaciones permanentes de conteo vehicular del MTI más próximo al tramo en estudio, para este caso corresponde la estación permanente N° 111.

Tabla 9. Listado Histórico TPDA de Estaciones Permanentes-Control-Sumarias Estación Susucayán- Las Cruces NN-16 8102

NOMBRE DEL TRAMO	AÑO	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	Mn Bus 15-30 pas.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx >= 5e	V.A	V.C.	Otros	TPDA
Susucayán - Las Cruces	2010	111	13	19	83	0	0	10	9	12	0	0	0	0	0	257
	2005	19	0	9	40	0	0	10	2	9	2	0	0	0	0	91
	2002	20	0	10	45	0	0	6	2	6	0	0	0	0	0	89
	1999	9	0	10	31	0	0	7	5	8	4	0	0	0	0	74

Fuente: Revista de Trafico 2011- MTI

Figura 3. Registro Histórico de Volumen de Transito Estación NN-16 8102. Susucayán-Las Cruces



Fuente: Revista de Trafico 2011- MTI

4.2 Aforo Vehicular

4.2.1 Formato de Aforo Vehicular

El objetivo de realizar un conteo vehicular es determinar de forma precisa, el comportamiento del tránsito en la zona de estudio y así estimar el TPDA. Posteriormente con la tasa de crecimiento de la estación, proyectarlo a 20 años, y calcular el tránsito de diseño.

El aforo vehicular se realizó por medio del formato que aparece en el Anuario de aforos de tráfico del año 2008 emitido por el MTI (Ver Anexo III-3.1, pag. XXVI), donde aparecen especificadas las diferentes categorías de vehículo y período de duración del conteo.

La clasificación de los vehículos, se realizó separando los vehículos de carga, pasajero y de tracción animal, los vehículos de carga se cuantificaron de acuerdo a la tabla de clasificación que utiliza el MTI.

4.2.2 Resultados del Aforo Vehicular

Los datos que se presentan del conteo vehicular en la estación permanente fueron realizados por los sustentantes durante 7 días consecutivos.

El conteo dio inicio el día lunes 04 de mayo del 2015 en un tiempo de 12 hrs y finalizó el día Domingo 10 del mismo mes. Para realizar el análisis de los resultados se tomó en cuenta la aplicación de métodos estadísticos y matemáticos detallados posteriormente. (Ver Anexo III-3.2, tabla N°1 a la 7, pag. XXVIII a la XXXIV)

4.2.3 Análisis del Aforo Vehicular

Se procesaron los datos de campo del aforo vehicular para estimar el TD, este dato es de suma importancia al momento de realizar la estimación de la cantidad de ejes equivalentes de 8.2 ton. Posteriormente por medio de otro tipo de análisis donde se toma en cuenta los ejes ESAL'S se determinaran los espesores de la estructura de pavimento convenientes. Lo anterior se explicará con mayor detalle en el próximo capítulo.

Para determinar el tránsito de diseño, se tomaron en cuenta diversos cálculos, factores incidentes y criterios estadísticos.

Tabla 10. Consolidado de Resultados de Aforo Vehicular

Día	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	Mn Bus 15-30 pas.	Bus	Liv.2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	TOTAL
04/05/2015	123	18	22	137	0	0	19	10	26	0	355
05/05/2015	132	14	26	143	0	0	18	8	31	0	372
06/05/2015	156	11	19	152	0	0	17	12	23	1	391
07/05/2015	162	21	28	161	0	0	21	19	10	0	422
08/05/2015	195	15	20	144	2	0	14	21	19	2	432
09/05/2015	230	24	29	152	0	0	18	22	23	0	498
10/05/2015	260	22	25	140	0	1	16	17	21	2	504
Total	1258	125	169	1029	2	1	123	109	153	5	2974

Fuente: Elaboración Propia

Dado que el flujo vehicular se realizó en una muestra de un período de una semana se requirió estimar el comportamiento anual del tránsito, para obtener el TPDA es necesario usar factores de ajustes diarios y de temporada que permitan expandir el volumen de las calles en estudio, los cuales (factores de ajuste) son brindados según el Anuario de Aforo 2011 publicado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura – Dirección de Administración Vial (MTIDAV).

Tabla 11. Estación de Referencia de Punto de Control para Aforo Vehicular Estación 111/Condega-Shell Palacaguina

ESTACION DE CORTA DURACION: 111

Camino: Nic-1 Estación: 111 Tramo: Condega - Shell Palacaguina. Período L Dias: 3 Horas: Mes/Año Julio 2011 Km: 187.300																		
Grupos	Motos	Vehículos de Pasajeros						Vehículos de Carga						Equipo Pesado			Total	
		Autos	Jeep	Cam.	McBus <15 s.	MnBus 15-30 s	Bus 30+ s.	Liv. 2-5 t.	C2 5+ t.	C3	Tx-Sx <=4 e.	Tx-Sx >=5 e.	Cx-Rx <=4 e.	Cx-Rx >=5 e.	V.A.	V.C.		Otros
		2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15	16	18		19
TP(D)	269	252	192	708	17	4	143	228	199	34		211	0		0		4	2262
Factor Dia	1.20	1.19	1.25	1.26	1.28	1.27	1.15	1.32	1.40	1.65	1.00	1.60	1.00	1.00	1.02	3.00	1.28	
Factor Semana	0.99	1.01	0.98	0.95	1.00	1.20	0.97	0.89	0.89	0.87	1.00	0.89	1.00	1.00	0.90	1.00	1.13	
Factor Expansión	0.89	0.95	0.98	0.96	1.02	1.35	0.98	0.97	1.19	1.27	1.00	1.04	1.00	1.00	0.70	1.00	0.71	
TPDA May-Ago	282	288	230	821	22	8	156	260	294	62		313					4	2740
% TPDA	10.29	10.51	8.39	29.96	0.80	0.29	5.69	9.49	10.73	2.26		11.42					0.15	100.00
% Vehículos Livianos	60.26%						% Vehículos Pesados						39.60%			0.15%	100.00%	

Fuente: Anuario- MTI 2011

4.3 Resultados del Análisis de Tránsito

4.3.1 Resultado del Tránsito Promedio Aplicando los Factores de Ajuste

Tabla 12. Tránsito Promedio Aplicando los Factores de Ajuste

Día	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	Mn Bus 15-30 pas.	Bus	Liv.2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	TOTAL
TPDiurno	180	18	24	147	0	0	18	16	22	1	425
Factor Diario	1.2	1.19	1.25	1.26	1.28	1.27	1.15	1.32	1.4	1.65	
Factor Expansión	0.89	0.95	0.98	0.96	1	1.35	0.98	0.97	1.19	1.27	
Vpd	192	20	30	178	0	0	20	20	36	1	498
% TPDA	38.56	4.06	5.94	35.72	0.07	0.05	3.98	4.01	7.32	0.30	100.00
% Vehículo liviano			84.40%			% Vehículo pesado			15.60%		100%

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 Clasificación Vehicular Promedio

A partir de los resultados de clasificación vehicular de campo, se procedió a determinar la composición vehicular de la muestra la cual está conformada de la siguiente manera obteniendo una composición del 15.60% de vehículos pesados un 84.4 % de vehículos livianos.

Figura 4. Clasificación Vehicular



Fuente: Elaboración Propia

4.4 Análisis de la Información Obtenida

4.4.1 Evolución del PIB

Partiendo de la información disponible en el Banco Central se ha elaborado la siguiente tabla donde se aprecia el comportamiento histórico del PIB, desde el año 2001 al año 2009. Se observa que a lo largo de los años el PIB había mantenido un crecimiento constante con tasas desde bajas a moderadas, si analizamos el período del 2001 al 2009 el PIB creció hasta un promedio de un 3.5 % entre los años 2005 al 2013.

Tabla 13. Evolución del PIB en Nicaragua

EVOLUCION ANUAL DEL PIB		
ANO	PIB MILL \$	TASA DE CRECIMIENTO
2005	6.321	-
2006	6.786	4.2%
2007	7.458	5.3%
2008	8.491	2.9%
2009	8.379	-2.8%
2010	8.938	3.3%
2011	9.899	5.7%
2012	10.645	5.0%
2013	11.256	4.6%
PERIODO		TASA DE CRECIMIENTO
2005-2013		3.5%
2010-2015		4.7%

Fuente: Banco Central de Nicaragua, 2015.

A un período de cinco años, del año 2010 al 2015 el PIB registró un crecimiento del **4.7 %**, al año 2015, se observa un crecimiento positivo.

4.4.2 Crecimiento Poblacional

Para el análisis del comportamiento poblacional se consideran los censos realizados desde el año 1906 hasta el 2005. Se obtiene una tasa de crecimiento del 5.3%.

Tabla 14.Resumen de los Censos de Población Nacional 1906-2005

AÑO	POBLACIÓN	TASA DE CRECIMIENTO
1906	501,849.00	
1920	633,622.00	1.7
1940	829,831.00	1.4
1950	1049,611.00	2.4
1963	1535,588.00	2.9
1971	1877,952.00	2.5
1995	4357,099.00	3.5
2005	5142,098.00	1.7

Fuente: INIDE-2005

La tasa de crecimiento poblacional de El Jícaro de acuerdo a datos de INIDE en los censos de 1995 es de 1.65% y para el censo del 2005 aumenta la población 25,901.00 habitantes por lo que la tasa de crecimiento de El Jícaro está por dentro del rango de la tasa de crecimiento poblacional de Nicaragua y se ha mantenido constante a lo largo de este periodo de acuerdo a datos de INIDE.

Tabla 15. Población El Jícaro según Censo 1995 – 2005 –2010

AÑO DE CENSO	POBLACIÓN INIDE	TASA DE CRECIMIENTO
1995	22,000.00	1.65%
2005	25,901.00	3.24%
2010	32,382.00	3.24%
2015	37,979.00	

Fuente: INIDE, 2005-2010

4.4.3 Crecimiento del Tráfico Desarrollado Por Tipo de Vehículos.

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

Con el objeto de determinar la tasa de crecimiento histórica del tráfico, se tomaron los datos históricos del volumen de tráfico del tramo, los cuales fueron proporcionados por la Oficina del PMS del MTI.

Tabla 16. Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)-Estación NN-16 8102

AÑO	TPDA (vpd)
2010	257
2005	91
2002	89
1999	74
TASA DE CRECIMIENTO	12.0 %

Fuente: PMS-MTI

Para proyectar el tráfico del tramo Susucayán – La Pimienta al año previsto de inicio del proyecto, se utilizó el último dato de conteo vehicular proporcionado por el PMS, el TPDA del año 2010, y la tasa de crecimiento del tramo en base a sus datos históricos.

Del período comprendido entre los años 2002 – 2005, el TPDA de la carretera en estudio experimentó un crecimiento del 9.0%, para el período del 2010 presenta un valor en la tasa de crecimiento de un 4.6% y para lo últimos periodos del 2002-2010 la tasa de crecimiento presenta un valor del 6%, como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 17.Tasa de Crecimiento de TPDA

AÑO	TPDA	TASA DE CRECIMIENTO
2002	90	-
2005	91	9.0%
2010	257	4.6%
PERIODO		TASA DE CRECIMIENTO
2002-2010		4.5%

Fuente: MTI-2010

4.4.4 Análisis de Tasa de Crecimiento Utilizada

Según las predicciones de economistas internacionales, el crecimiento económico presentará una lenta pero sostenida recuperación de la economía mundial, hacen previsible un crecimiento de la economía nicaragüense en magnitudes superiores al 2.5% para el año 2015. Este desempeño económico es positivo, para alcanzar mejoras significativas en el ingreso nacional en los siguientes sectores como:

La Ganadería, este sistema de explotación es tradicional y Semi-intensivo porque en algunas fincas usan tecnología, mejoramiento genético.

Sim embargo el principal rubro económico es el cultivo del maíz y el frijol que se siembra en el sector. Éste se siembra con tecnología tradicional y Semi

tecnificada, ésta es exportada hacia Países Centroamericanos, ya que éstos productos tienen una gran demanda dentro el Mercado Nacional.

Luego de haber realizado el siguiente análisis, en el presente documento se utilizó una tasa de crecimiento del **4.7%**, la cual es obtenida del Producto Interno Bruto (PIB), por lo que las demás tasas de crecimiento como son: poblacional y crecimiento de la flota vehicular, se analiza que presentan demasiadas inconsistencias después de un análisis estadístico además que se presentaron datos atípicos a estos valores, considerando que Jícaro está experimentando un auge económico por sector de producción de granos básicos, que exige mejoras a las vías, esta tasa del PIB se considera como tasa de crecimiento estable dentro de la economía del país, sin embargo ésta tasa tiende a sufrir un incremento o decremento debido a las posibles variaciones económicas que puedan presentar la economía mundial.

4.5 Proyección del Tráfico

Para convertir el volumen de tráfico obtenido de los conteos se usará un **Tránsito de Diseño (TD)** que es un factor fundamental para el diseño estructural de pavimentos. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{TD = TPD*FC*FD*fc} \quad \mathbf{(Ec. 4.1)}$$

Donde:

TD: Tránsito de Diseño.

TPD: Tránsito Promedio Diario.

FC: Factor de Crecimiento.

FD: Factor de Distribución.

fc: Factor Carril.

El objetivo principal es la cuantificación de los volúmenes de tráfico; normal, desarrollado y total del proyecto, cuantificar el **Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)** para el año base y proyectarlo para la vida útil del Proyecto, a partir de las estadísticas del S.I.C. (Sistema Internacional de Conteo) del MTI. Cuantificar el tráfico total de la carretera y su composición.

La determinación de los Volúmenes de Tráfico; a partir del año base (2015) y de inicio de operación de la vía (2016), hasta el año horizonte del proyecto (2035), es el principal objetivo de este estudio de tráfico.

4.6 Factor Crecimiento (FC)

Se obtiene el factor de crecimiento (FC) del tránsito por medio de la siguiente formula:

$$FC = \frac{(1+i)^n - 1}{i} * 365 \quad (\text{Ec.4.2})$$

Donde:

i= tasa de crecimiento= 4.7%, definida en el acápite anterior.

n= periodo de diseño= 20 años, se definió en tabla N°18.

365= días del año.

$$FC = \frac{(1 + 0.047)^{20} - 1}{0.047} * 365 = 11,693$$

El factor de crecimiento de tránsito será de **11,693**.

4.6.1 Periodo de Diseño

Para el tramo en estudio la clasificación puede ser de **Colectora Rural**, el periodo mínimo es de 10 años y el máximo de 20, se consideró que la construcción de la carretera se hará de manera integral en un periodo de análisis de 20 años.

Tabla 18. Periodo de Análisis Sugerido por la Guía AASHTO-93

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

Fuente: SIECA, 2004

4.7 Factor Carril (fc)

Se refiere al número de carriles por sentido para los cuales se está diseñando. El factor de carril que utilizaremos será de 100%, ya que estamos considerando que la carretera será diseñada para 2 carriles de circulación (1 por sentido).

Fc=1, ver siguiente tabla:

Tabla 19. Factores de Tráfico en el carril de Diseño, Recomendados por AASHTO-93

No. de Carriles en una Dirección	Porcentajes de Ejes Simples Equivalentes de 82 KN en el Carril de Diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Fuente: AASHTO-93

4.8 Factor Distribución (FD)

Este factor se refiere a la distribución direccional del tránsito. Le asignaremos 50% del tráfico para cada sentido de la vía. Por lo tanto tomamos el valor de **FD = 0.5**.

4.9 Tráfico de Diseño Proyectado

En la siguiente tabla se presentan los resultados de Tráfico de Diseño con su proyección para 20 años.

Tabla 20. Tráfico de Diseño Proyectado a 20 años

Autos	TPDA	FD	fc	FC	TD (VPD)
Autos	20	0.5	1	11,693	118030
		0.5	1	11,693	118030
Jeep	30	0.5	1	11,693	172916
		0.5	1	11,693	172916
Camioneta	178	0.5	1	11,693	1039609
		0.5	1	11,693	1039609
Microbus ≤ 15 pas	0.37	0.5	1	11,693	2138
		0.5	1	11,693	2138
Mn Bus 15-30 pas	0.24	0.5	1	11,693	1432
		0.5	1	11,693	1432
Autobus	20	0.5	1	11,693	115782
		0.5	1	11,693	115782
Liv.2-5 Ton	20	0.5	1	11,693	116570
		0.5	1	11,693	116570
C2 5 + Ton	36	0.5	1	11,693	212902
		0.5	1	11,693	212902
C3	1	0.5	1	11,693	8751
		0.5	1	11,693	8751
TOTAL					3,576,262.16

Fuente: Elaboración Propia

En este cuadro se muestra el tráfico proyectado el cual corresponde a **3,576,262.16 Vehículos por día** proyectados para el año 2035.

4.10 Factor de Equivalencia (FESAL)

Se obtienen de las tablas del AASHTO-93 (Ver anexo III-3.3, tabla N°1 y 2, pag. XXXVI y XXXVII) para ejes sencillos y dobles conociendo la servicialidad final (Pt=2), el numero estructural asumido (SN=5) y los pesos (las cargas se encuentran en Kips) se obtienen los factores de equivalencia. Si los pesos de los ejes no se encuentran en estas tablas se deben de Interpoliar dichos valores.

4.11 Ejes Equivalentes (W_{18})

Este se obtiene conociendo el Transito de Diseño (TD) y los factores de equivalencia (ESAL). Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{ESAL } \acute{o} \text{ W18} = \text{TD} * \text{FESAL} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

Donde:

TD: Transito de Diseño.

FESAL: Factor de Equivalencia.

Tabla 21. Ejemplo de Cálculo de Interpolación FESAL

Carga/eje (Kips)	SN (5)
4	0.002
4.4	0.0034
6	0.009

Fuente: Elaboración Propia

Para 4.4 Kips de un eje sencillo mediante tabla D1-D2 de AASHTO-93 con SN=5

$$\text{ESAL } \acute{o} \text{ W18} = 1034162 * 0.0034 = 3516$$

El tráfico pesado es el que mayor daño produce a la estructura de pavimento por lo que deberá de estimarse con la mayor precisión posible.

En base a los datos anteriormente definidos se procedió a la determinación de los Ejes equivalentes (ESAL) para cada eje y tipo de vehículos.

Este mismo cálculo se realizó para todos los tipos de vehículos, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 22.Cálculo de Ejes Equivalentes

TABLA DE CALCULOS DE EJES EQUIVALENTES (ESAL)					
VEHICULOS	EJE(KIPS)	TD	FESAL	ESAL	DESCRIPCION
Autos	2.2	118030	0.00038	45	EJE SIMPLE
	2.2	118030	0.00038	45	EJE SIMPLE
Jeep	2.2	172916	0.00038	66	EJE SIMPLE
	2.2	172916	0.00038	66	EJE SIMPLE
Camioneta	2.2	1039609	0.00038	395	EJE SIMPLE
	4.4	1039609	0.0034	3535	EJE SIMPLE
Microbus ≤ 15 pas	4.4	2138	0.0034	7	EJE SIMPLE
	6.6	2138	0.0156	33	EJE SIMPLE
Mn Bus 15-30 pas	6.6	1432	0.0156	22	EJE SIMPLE
	11	1432	0.1265	181	EJE SIMPLE
Autobus	11	115782	0.1265	14646	EJE SIMPLE
	19.8	115782	1.513	175179	DOBLE
Liv.2-5 Ton	9.9	116570	0.07425	8655	EJE SIMPLE
	12.1	116570	0.1822	21239	EJE SIMPLE
C2 5 + Ton	11	212902	0.1265	26932	EJE SIMPLE
	22	212902	2.35	500319	DOBLE
C3	11	8751	0.1265	1107	EJE SIMPLE
	36.3	8751	19.75	172837	DOBLE
		3,576,262.16		925,310	

Fuente: Elaboración Propia

Para el diseño de las calles analizadas se obtuvo un valor de:

ESAL o W18= 925,310 por Carril de Diseño

CAPÍTULO V

PAVIMENTO

5. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

En Nicaragua no existe método específico para el diseño de estructura de pavimento. Para el diseño de carpeta de rodamiento de adoquín, los métodos más usados son:

- ✓ Método Directo
- ✓ Murillo López de Souza
- ✓ Método Argentino
- ✓ Método Británico
- ✓ AASHTO

El método AASHTO es el más usado y cuenta con técnicas de diseño para estructuras de pavimentos rígidos, Semi-rígidos, flexibles y articulados.

En Nicaragua se utilizan 4 tipos de carpeta de rodamiento en la construcción de carreteras: macadam, asfáltica, de concreto hidráulico y adoquinado. Debido a su fácil trabajabilidad y otras características en este estudio se eligió adoquines, en todo caso resulta una alternativa económica y de fácil mantenimiento.

El método que se utilizó para realizar el diseño de la estructura de pavimento en este trabajo monográfico fue el de la AASHTO-93, este método involucra los estudios abordados anteriormente, está basado en la determinación del Número Estructural "SN" que debe soportar el nivel de carga exigido por el proyecto. Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan un módulo resiliente mayor a 40,000 PSI (280 MPa).

El método AASHTO-93 contempla la implementación de modelos matemáticos donde se ven involucradas variables que condicionan el desarrollo de estos, las cuales se detallan a continuación:

5.1 Consideraciones del Diseño AASHTO-93

5.1.1 Carga de Ejes Simples Equivalentes

Se refiere al deterioro que produce cada vehículo en un pavimento, éste corresponde al número de ejes equivalentes llamado también “eje estándar”, el cual tiene un peso de 8.2 ton. (18,000 lbs) y se presentará en el carril de diseño.

Se considera que el “eje estándar” tiene un factor de daño $F=1$. Al realizar el estudio de tráfico, se clasifican todos los vehículos livianos y pesados según su peso por eje, encontrando así los volúmenes de tránsito, luego dichos volúmenes se proyectan a un período de diseño en concordancia a una tasa de crecimiento que se determina según las condiciones económicas y sociales de la zona.

El proceso anterior nos permite determinar el tránsito de diseño (TD), posteriormente se afecta este tránsito de diseño por un factor de equivalencia de carga, la sumatoria de todos los procesos anteriores para cada vehículo clasificado se denomina ESAL de diseño. En el tramo en estudio, el ESAL de diseño es de **925,310** por carril de diseño.

Es importante destacar que los espesores mínimos para bases granulares en función de los ESAL se indican en siguiente tabla:

Tabla 23. Espesores Mínimos de Concreto Asfáltico y Base Granular

Número de ESAL	Espesor mínimo (cm)	
	Concreto Asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	2.5	10
50,000 – 150,000	5	10
150,000 – 500,000	6.25	10
500,000 – 2,000,000	7.5	15
2,000,000 – 7,000,000	9	15
Más de 7,000,000	10	15

Fuente: AASHTO-93

5.1.2 Confiabilidad

La confiabilidad se define como la probabilidad de que el sistema de pavimento se comporte de manera satisfactoria bajo las solicitaciones de carga a intemperismo durante todo el período de diseño.

Esta variable trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, cuyo valor depende de variaciones al azar tanto en la predicción del tránsito como en la predicción del comportamiento, del nivel de confiabilidad elegido y del error estándar combinado, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan se desempeñarán satisfactoriamente sobre las cargas de tráfico y condiciones ambientales que durarán como mínimo el período de diseño.

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las carreteras Regionales, SIECA 2004 recomienda diferentes niveles de confiabilidad.

Para el tramo en estudio se utilizará un valor de confiabilidad **R** del **75%** que corresponde a un valor recomendado para una **Carretera Colectora Rural**. El manual SIECA ha propuesto un cuadro de porcentajes de confiabilidad de acuerdo al grado funcional mostrado en la tabla 24 y una desviación **Zr** de **-0.674** en función del porcentaje de confiabilidad (Ver tabla 25).

Tabla 24. Porcentajes de Confiabilidad (R)

Tipo de Carretera	Porcentajes de Confiabilidad (R)	
	Suburbanas	Rurales
Autopista Regional	85-99.9	80-99.9
Troncales	80-99	75-95
Rurales	80-95	50-80

Fuente: SIECA 2001

Tabla 25. Valor de Zr en Función de la Confiabilidad R

Confiabilidad R (%)	Desviación Normal Estándar Zr
50	0
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
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	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: AASHTO-93

5.1.3 Desviación Estándar (S_0)

Aplicada en este modelo, se identifica como la variación en la predicción del comportamiento de los niveles de servicio del tránsito teniendo en cuenta los errores en la predicción del mismo.

Para la estimación de la desviación estándar, la AASHTO ha dispuesto ciertos valores que fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el Road Test y en base a predicciones futuras del tránsito.

En este caso se considera el valor de **0.45**, ver tabla 26.

Tabla 26. Desviación Estándar Dependiendo de las Condiciones de Servicio.

Condiciones de Diseño	Desviación Estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.35 Pavimento Rígido
	0.45 Pavimento Flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.40 Pavimento Rígido
	0.50 Pavimento Flexible

Fuente: AASHTO-93

5.1.4 Serviciabilidad

La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. Para su determinación se realizan estudios de calidad en dependencia del tipo de carpeta de rodamiento a evaluar. La forma más sencilla para determinar la pérdida de serviciabilidad se muestra en la tabla 27.

Tabla 27. Factores de Serviciabilidad

Serviciabilidad Inicial	Serviciabilidad Final
$P_0 = 4.5$ para pavimentos rígidos	$P_t = 2.5$ o más para caminos principales
$P_0 = 4.2$ para pavimentos flexibles	$P_t = 2.0$ para caminos de tránsito menor

Fuente: Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos

La serviciabilidad inicial para este diseño es de $P_0=4.2$ por que el pavimento a usar es flexible (Articulado) y se asumió un índice de serviciabilidad final de $P_t=2$ por que pertenece a caminos con poco flujo vehicular.

5.1.5 Pérdida de Servicialidad (ΔPSI)

Es la diferencia que existe entre la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final. Entre mayor sea el ΔPSI mayor será la capacidad de carga del pavimento antes de fallar, calculado con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_0 - P_t \quad (\text{Ec. 5.1})$$

Donde:

P_0 : Servicialidad Inicial

P_t : Servicialidad Final

En el Diseño de la Estructura de Pavimento Flexible de las calles en estudio se trabajó con un valor de:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2$$

$$\Delta PSI = 2.2$$

5.1.6 Coeficiente de Drenaje

Es un hecho bien conocido que la presencia del agua es un factor primordial que se debe tener en cuenta en el diseño de pavimentos. Los modelos clásicos de diseño toman en consideración los parámetros de resistencia de los paquetes estructurales en base a la saturación.

La AASHTO-93 recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de los miembros de los paquetes estructurales, la forma de consideración de los coeficientes se demuestran en la tabla 28.

La calidad del drenaje expresado en la fórmula del número estructural, por medio del coeficiente de drenaje es de $m = 1$ según la siguiente tabla:

Tabla 28. Capacidad del Drenaje para Remover la Humedad

Capacidad del Drenaje Para Remover la Humedad				
Calidad del drenaje	Agua removida en			
	50% saturación	85% saturación		
Excelente	2 horas	2 horas		
Bueno	1 día	2 a 5 horas		
Regular	1 semana	5 a 10 horas		
Pobre	1 mes	de 10 a 15 horas		
Malo	no drena	mayor a 15 horas		
Calidad del Drenaje	P = % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	>25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.2
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.8
Pobre	1.15 - 1.05	1.15 - 1.05	0.80 - 0.60	0.6
Muy Pobre	1.15 - 1.05	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.4

Fuente: AASHTO-93

5.1.7 Coeficientes de Capa

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

a_1 : Para la carpeta de rodamiento

a_2 : Para la base

a_3 : Para la sub-base.

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

La determinación del coeficiente estructural **a_2** se realizó en base a la aplicación del nomograma para base granular proporcionado por la Guía para Diseño de Estructura de Pavimento (AASHTO-93) mostrado en el anexo IV-4.1, pág. XXXVIII.

El valor de CBR usado para el cálculo de la Base es igual a 82.1% que corresponde al Banco de Préstamo N°2 del Sr. Jorge Rodríguez; de acuerdo a la línea trazada en el nomograma se obtuvo en la escala izquierda un coeficiente estructural de **$a_2 = 0.135$** y en la escala derecha un módulo resiliente para base granular de **$Mr = 29,000$ PSI.**

Para determinar el **a_3** , se hizo uso del nomograma para la capa sub-base (Ver anexo IV-4.2, pág. XXXIX), al trazar la línea sobre el valor CBR de 82.1%, nos da como resultado que **$a_3 = 0.135$** y un módulo resiliente para sub-base de **$Mr = 19,500$ PSI.**

Se utilizó el mismo valor de CBR de 82.1% para base y sub-base debido que solamente el banco N°2 cumple con las especificaciones de la NIC 2000 (Sección 1003.23 Pág. 530) para ser empleado como capa base y sub base.

5.1.8 Número Estructural

También conocido como valor de soporte de suelo, es un número asignado para poder representar la capacidad de soporte de un pavimento. Este número indica la cantidad de espesores o capas que requiere un pavimento para soportar las cargas a las que será sometido durante su vida útil. Para cada capa se consideran coeficientes relativos que dependen del material que las conforman, por lo tanto podemos decir que el pavimento tendrá mayor capacidad de soporte mientras mayor sea el número estructural y viceversa. El número estructural (SN) se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{SN} = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3 \quad (\text{Ec. 5.1})$$

La determinación de este valor también se puede encontrar haciendo uso de ábacos, la única diferencia radica en la precisión. Siendo el nomograma más rápido pero de poca precisión.

A continuación se muestran los valores de las variables para el diseño ya conocidas:

Tabla 29. Resumen de Variables Utilizadas para el Diseño

Factores	Valores Utilizados
ESAL de diseño	925,310
Confiabilidad (R)	75%
Valor desviador (ZR)	-0.674
Desviación Estándar (So)	0.45
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	2.0
Pérdida de Serviabilidad (Δ PSI)	2.2
Coefficiente, Drenaje (m)	1
Módulo de Resiliencia (Mr)	13,612.85 PSI
Coefficiente de Capa, Carpeta de Rodamiento (a ₁)	0.45
Coefficiente de Capa, base (a ₂)	0.135
Coefficiente de Capa, sub-base (a ₃)	0.135

Fuente: Elaboración Propia

5.2 Cálculo de Espesores

Para el cálculo de SN se utilizó el Ábaco establecido por la Guía para diseño de estructura de pavimento (AASHTO-1993), obteniendo un SN para la sub-rasante de **2.43** (Ver Anexo IV-4.3, página XL).

Para determinar que el valor SN asumido es correcto se hace la igualación de la ecuación de diseño de la AASHTO-93 donde se obtiene que:

$$\text{Log}_{10}W_{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \text{Log}_{10}(\text{SN} + 1) - 0.2 + \frac{\text{Log}_{10} \left[\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(\text{SN} + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}M_R - 8.07 \quad (\text{Ec5.2})$$

$$\text{Log}_{10}925310 = -0.674 * 0.45 + 9.36 * \text{Log}_{10}(2.43 + 1) - 0.2 + \frac{\text{Log}_{10} \left[\frac{2.2}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(2.43 + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}13,612.85 - 8.07$$

$$5.97 = 5.97 \text{ /OK cumple}$$

Este resultado indica que el número estructural (SN) es satisfactorio por tanto, se utilizó este dato para determinar los espesores de pavimento.

Con los valores de los coeficientes encontrados a_1 , a_2 , a_3 , y el coeficiente de drenaje para base y sub-base, y el módulo de resiliencia, se procedió al cálculo de $SN_2(\text{Sub-Base}) = 2.2$ utilizando el ábaco mostrado en el anexo IV-4.4, pág. XLI.

Luego se calcularon los espesores de cada capa como se muestra a continuación:

El espesor D_1 para nuestro caso está definido, debido que utilizará adoquín como carpeta de rodamiento, por lo tanto D_1 será de 4 pulgadas.

$$D_1 = 4 \text{ Pulgadas}$$

Se recalcula el número correspondiente a la capa de la siguiente forma:

$$SN_1 = a_1 * D_1 = 0.45 * 4 \text{ plg} = 1.80$$

Teniendo en cuenta que es conocido el valor de SN_1 , entonces el valor del coeficiente estructural de la base se obtiene de la siguiente manera:

$$D_2 = \frac{SN_2 - SN_1}{a_2 * m_2} = \frac{2.2 - 1.8}{0.135 * 1} = 2.96 \text{ pulg}$$

Atendiendo la recomendación de la Guía de Diseño para Estructuras de Pavimento, AASHTO-93, se adopta el espesor mínimo para base granular mostrado en la tabla N°23, siendo $D_2 = 6 \text{ pulgadas (15cm)}$ y se recalcula el número estructural.

$$SN_2 = a_2 * m_2 * D_2 = 0.135 * 1 * 6 = 0.81$$

Finalmente para la sub-base se ingresa con el MR que corresponde a la sub-rasante y se obtiene $SN_3 = SN$ para todo el paquete estructural ya calculado, por tanto el espesor será:

$$D_3 \geq \frac{SN - (SN_1 + SN_2)}{a_3 * m_3} = \frac{2.43 - (1.8 + 0.81)}{0.135 * 1} = -1.33 \text{ pulg}$$

De esta manera se demuestra que no es necesario utilizar una capa sub-base.

Como verificación:

$$SN_1 + SN_2 \geq SN$$

$$1.80 + 0.81 \geq 2.43$$

$$2.61 \geq 2.43 \text{ /OK cumple}$$

Para comparar y comprobar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se determinaron los espesores de las diferentes capas de pavimento utilizando el programa “WinPAS”, ya que resulta una herramienta útil que agiliza y facilita los cálculos para el diseño. Al introducir los datos de la tabla N°29 en el software se obtuvieron los resultados que se detallan en el Anexo IV-4.5, pág. XLII y XLIII, en los cuales podemos apreciar que los resultados cumplen con el SN requerido y se obtuvo un resultado de:

$$SN \text{ req} = 2.41$$

$$SN \text{ calculado} \geq SN \text{ requerido}$$

$$2.61 \geq 2.41 \text{ /OK cumple}$$

Los resultados finales obtenidos del cálculo de los espesores son los siguientes:

Tabla 30. Espesores de Pavimento

Capa	Espesor (plg)	Espesor (cm)
Carpeta de Rodamiento (Adoquín)	4	10.16
Capa de Arena	1.97	5
Base Granular	6	15.24

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO VI

DISEÑO GEOMETRICO

6. DISEÑO GEOMÉTRICO VIAL

Para la elaboración del diseño se adoptarán las especificaciones de la “A Policy on Geometric Design of Highways and Street” (Normas sobre diseño de carreteras y vías urbanas) publicada por la AASHTO y los requerimientos del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) de Nicaragua.

Las normas de diseño se definen con los criterios aportados por el dueño, los cuales se basan en los requerimientos decretados por el MTI para los diseños de caminos vecinales de segundo orden; junto a las normas de la AASHTO.

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

Referente al diseño horizontal, se definirá directamente de acuerdo a la topografía que mayor se ajuste a una condición, como en el caso de las curvas horizontales. El diseño estará en función de una externa y la longitud de la tangente.

Tabla 31. Parámetros de Diseño Usados en el Proyecto.

Parámetros	Tipo de Camino: Colectora Rural
Ancho de Corona	6.9
Ancho de Calzada	6.6
Pendiente Máxima	11.25%
Tipo de Terreno	Ondulado
Velocidad de Diseño	30 km/h
Visibilidad de Parada	30m
Sobre-Ancho en Curvas	Variable, según sea el caso
Peralte Máximo	10%
Longitud de Transición	Variable, según sea el caso
Bombeo	3%

Fuente: SIECA 2004

6.1 Alineamiento Horizontal

Se considera como la proyección sobre un plano horizontal del eje de la subcorona del camino. Parte de los elementos que lo integran son:

6.1.1 La Tangente

Es la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de dos tangentes se le denomina PI.

6.1.2 Curvas Circulares

La curva circular es un arco de influencia que se emplea en las obras longitudinales, para lograr un cambio gradual en la dirección de las tangentes y que al mismo tiempo sirven de unión entre las mismas.

Para lograr un cambio gradual de dirección entre los tramos rectos del eje del proyecto longitudinal se emplean distintos tipos de curvas de enlace horizontal, las que se clasifican de la siguiente manera:

6.1.2.1 Curvas Circulares Simples

Las curvas circulares simples, están formadas por solo un arco de circunferencia, es decir, un segmento de circunferencia que sirve de acuerdo entre dos alineaciones.

6.1.2.2 Curvas Circulares Compuestas

Las curvas compuestas, se forman con la combinación de dos o más arcos de circunferencia, uno a continuación de otro. Los radios de cada curva son diferentes y con tangentes comunes en el punto de unión. Los centros de curva están ubicados, a un mismo lado del ángulo de Deflexión Δ . Al punto de unión se le conoce como punto de curva compuesta PCC. Las curvas compuestas pueden ser útiles en muchos casos, porque facilitarían la adopción de la curva a la topografía del terreno; pero cuando se cambia bruscamente de radio de una a otra, constituye una incomodidad por el manejo y muchas veces son peligrosas.

6.1.2.3 Curvas Inversas o Reversa

Son aquellas compuestas por dos curvas circulares, de sentido contrario o continuo y con tangente comunes en el punto, compuestas por dos uniones.

En la práctica no pueden estar continuas, desde luego que la distancia mínima del punto de la primera al punto de la segunda será cuando menos igual a la suma de las transiciones de ambas curvas. Este sería el mínimo que se dejará entre curvas inversas, aunque es preferible que haya además un tramo de tangente intermedia.

6.1.2.4 Cálculos Empleados en el Diseño de Curvas Circulares

Para el diseño de las curvas primeramente se deben tener los siguientes datos:

- Velocidad de diseño.
- Tasa de sobre elevación o peralte.
- Factor de fricción lateral.

Para luego calcular los elementos a continuación:

- Cálculo del radio de curvatura.

$$R = \frac{V^2}{127(e + f)} \quad (\text{Ec. 6.1})$$

Dónde:

R: Radio de curva (metros).

E: Tasa de sobre elevación en fracción decimal.

f: Factor de fricción lateral, que es la fuerza de fricción dividida por la masa perpendicular al pavimento.

V: Velocidad de diseño (km/h).

- Cálculo del grado de curvatura.

$$D_{20} = \frac{1145.92}{R} \quad (\text{Ec. 6.2})$$

Dónde:

D₂₀: Grado de curvatura.

R: Radio de curva (metros).

- Cálculo de peralte de diseño.

$$e_D = e_{m\acute{a}x} - e_{m\acute{a}x} * \left(\frac{G_{m\acute{a}x} - G_D}{G_{m\acute{a}x}} \right)^2 \quad (\text{Ec. 6.3})$$

- Cálculo de la tangente.

$$T = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right) \quad (\text{Ec. 6.4})$$

- Cálculo de la cuerda o desarrollo de la curva.

$$D = \frac{20\Delta}{G_D} \quad (\text{Ec. 6.5})$$

- Cálculo de las estaciones.

$$PC = PI - T$$

$$PT = PC + D \quad (\text{Ec. 6.6})$$

6.1.3 Desarrollo del Peralte

Una vez calculado el valor del peralte o sobre-elevación que deberá tener la curva circular es necesario proporcionarlo de forma gradual; es decir, convertir la forma de la sección transversal de la calzada bombeada del centro hacia los bordes, en una sección con la inclinación única del peralte del borde exterior hacia el interior de la curva.

Existen tres formas de proporcionar el peralte a la curva, los cuales son:

- Desarrollo del peralte por el eje de la vía.
- Desarrollo del peralte por el borde interior.
- Desarrollo del peralte por el borde exterior.

6.1.3.1 Cálculos Empleados en el Diseño del Peralte.

Para el diseño del peralte se deben tener los siguientes datos:

- Ancho de la calzada (a).
- Bombeo de la calzada (b).
- Pendiente relativa (m).
- Cálculo de la longitud de transición.

De las especificaciones generales para proyectos geométricos de caminos de penetración de Nicaragua, se tiene:

$$LT = m * \frac{a}{2} * e_D \quad (\text{Ec. 6.7})$$

Dónde:

a: Ancho de la calzada.

e_D : Peralte de diseño.

m: Pendiente relativa $\rightarrow 1.5625 * V_D + 75$

Nota: si el resultado no fuera un número entero, entonces el valor se redondea a un número mayor que sea múltiplo de 20.

- Cálculo de la transición del bombeo.

$$N = \frac{LT * b}{e_D} \quad (\text{Ec. 6.8})$$

Dónde:

LT: Longitud de transición.

b: Bombeo.

e_D: Peralte de diseño.

- Cálculo de los estacionamientos.

Estacionamientos de una curva circular.

- Estaciones de entrada a la curva circular:

$$EST_{N1} = EST_{PC} - LT - N$$

$$EST_{ET} = EST_{PC} - LT$$

$$EST_{N2} = EST_{ET} + N \quad (\text{Ec. 6.9})$$

$$EST_D = EST_{PC}$$

- Estaciones de salida a la curva circular:

$$EST_{D'} = EST_{PT}$$

$$EST_{N3} = EST_{TT} - N$$

$$EST_{TT} = EST_{PT} + LT \quad (\text{Ec. 6.10})$$

$$EST_{N4} = EST_{TT} + N$$

Este análisis depende del tipo de desarrollo de peralte que se haga en la curva. Basándose en el comportamiento del tipo de desarrollo del peralte en la curva es que se calculan las elevaciones en función de la rasante para la transición del bombeo y peralte.

6.1.4 Diseño del Sobre-Ancho.

Como se explicó anteriormente, el sobre-ancho es la anchura adicional a la calzada respecto al ancho en la tangente para proporcionar la misma separación entre vehículos en las curvas que en las tangentes.

Para el diseño del sobre-ancho se tomaron las siguientes normas emitidas por El Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras según la AASTHO:

- Para fines de proyecto no se consideran los sobre-anchos que resulten menores de 20 cm, si el sobre-ancho resultase mayor deberá redondearse al decímetro superior.
- No es necesario ampliar la vía si los carriles tienen un ancho de 3.50 m o más.
- Es posible no considerar la ampliación, cuando el radio de la curva es mayor de 300 m.
- El sobre-ancho de la calzada en las curvas se da en lado interior; la raya central se pinta posteriormente en el centro de la calzada ampliada.

Según las Especificaciones Generales para proyectos Geométricos de Caminos de Penetración de Nicaragua, el sobre-ancho se calcula de la siguiente manera:

Datos conocidos:

- Velocidad de diseño (V_D): Tomado de los criterios de diseño del MTI para caminos departamentales de segundo grado.
- Radio de la curva (R): Calculado en el Diseño Geométrico, según AASTHO.

- Longitud entre eje delantero y trasero del vehículo tipo del diseño. (L) Tomado del manual de proyecto geométrico para carreteras, según AASTHO.
- Número de carriles. (n). Tomado del diseño geométrico, criterios del MTI.
- Cálculo del sobre-ancho según las Especificaciones Generales para proyectos Geométricos de Caminos de Penetración de Nicaragua.

$$W = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{V_D}{10 * \sqrt{R}} \quad (\text{Ec. 6.11})$$

Nota: se redondea valor a un decimal entero.

Dónde:

W: Sobre-ancho.

n: Número de carriles.

R: Radio de la curva.

L: Longitud entre eje delantero y trasero del vehículo tipo.

V_D: velocidad de diseño.

- Cálculo del sobre-ancho para las distintas estaciones.

$$W_i = \frac{W}{LT} * arco \quad (\text{Ec. 6.12})$$

Dónde:

W_i: Sobre-ancho para estaciones.

W: Sobre-ancho de diseño.

LT: Longitud de transición.

arco: Distancia entre estaciones.

6.2 Alineamiento Vertical

El alineamiento vertical de una carretera está ligado estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno donde se localice la obra. Se compone de líneas rectas y curvas en el plano vertical, identificándose las subidas o pendientes ascendentes con un signo positivo (+), y las bajadas con signo negativo (-), expresadas usualmente en porcentajes. Aparte de consideraciones estéticas, costos de construcción, comodidad y economía en los costos de operación de los vehículos, siempre deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Visibilidad y accidentalidad.
- Composición del tránsito.
- Relación entre la velocidad y sus engranajes de cambio en la operación del vehículo.

Idealmente se desea que los vehículos operen en el cambio más alto en el alineamiento vertical, sin necesidad de cambiar hasta la detención; pero por consideraciones económicas se aceptan pendientes mayores a las ideales. La tabla 32 contiene una clasificación de las pendientes en los terrenos naturales donde se localizan las carreteras.

Tabla 32. Clasificación de los Terrenos en Función de las Pendientes Naturales

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

Fuente: SIECA 2004

La AASHTO identifica las tres categorías generales de terreno del cuadro anterior, en la forma que se describe seguidamente:

Terreno Plano: es aquel en el cual se dan condiciones topográficas favorables para los levantamientos de campo, el diseño horizontal y vertical, la construcción y reconstrucción de las obras viales, facilitándose el mantenimiento y la segura, cómoda y económica operación de los vehículos.

Terreno Ondulado: presenta frecuentes pendientes de subida y bajada y, ocasionalmente, ofrece algunas dificultades y restricciones en el alineamiento horizontal y vertical de las carreteras.

Terreno Montañoso: ofrece dificultades y altos costos en la construcción por la frecuencia de cortes y rellenos, que se requieren para lograr alineamientos horizontales y verticales aceptables. Las pendientes longitudinales y transversales son frecuentes en este tipo de terreno.

Tabla 33. Pendientes Máximas y Mínimas por Tipo de Carretera

Clasificación Funcional	Tipo de Terreno	Velocidad de Diseño (Km/h) y Pendiente Máxima (%)						Pendiente Mínima (%)
		32	48	64	80	96	112	
AR Autopistas Regionales	Plano	-	-	-	4	3	3	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	-	-	5	4	4	
	Montañoso	-	-	-	6	6	5	
TS Troncales Suburbanas	Plano	-	8	7	6	5	-	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	9	8	7	6	-	
	Montañoso	-	11	10	9	8	-	
TR Troncales Rurales	Plano	-	-	5	4	3	3	0.5 con predominio del drenaje
	Ondulado	-	-	6	5	4	4	
	Montañoso	-	-	8	7	6	5	
CS Colectoras Suburbanas	Plano	9	9	9	7	6	5	0.3 – 0.5
	Ondulado	12	11	10	8	7	6	
	Montañoso	14	12	12	10	9	7	
CR Colectoras Rurales	Plano	-	7	7	6	5	-	0.5
	Ondulado	11	10	9	8	6	-	
	Montañoso	16	14	12	10	-	-	

Fuente: SIECA 2004

Distancia que alcanzan a iluminar los faros del vehículo de diseño. De aplicación sencilla, las curvas verticales deben contribuir a la estética del trazado, ser confortables en su operación y facilitar las operaciones de drenaje de la carretera.

La configuración parabólica de estas curvas es la más frecuentemente utilizada.

6.2.1 Diseño de Curvas Verticales en Cresta o Convexa.

Existen dos condiciones para diseñar este tipo de curvas: La primera considera que la longitud de la curva (L) es mayor que la distancia de visibilidad (S) y la segunda se presenta cuando L es menor que S. En el primer caso se aplica la siguiente expresión para calcular la longitud mínima (L) de curva vertical:

$$L = \frac{GS^2}{200(\sqrt{h_1}\sqrt{h_2})^2} \quad (\text{Ec. 6.13})$$

Donde,

G: Diferencia algebraica de pendientes (%).

S: Distancia de visibilidad.

h₁: Altura del ojo del conductor.

h₂: Altura del objeto.

Reemplazando en esta fórmula la altura del ojo del conductor h₁ = 1.07 metros y del objeto = 0.15 metros, la ecuación para diseño es la siguiente:

$$L = \frac{GS^2}{404} \quad (\text{Ec. 6.14})$$

Cuando L es menor que S, la expresión matemática es la siguiente:

$$L = \frac{2S - 404}{G} \quad (\text{Ec. 6.15})$$

La longitud de la curva vertical utilizando el factor K es:

$$L = K * G \quad (\text{Ec. 6.16})$$

Cuando se utiliza la distancia de visibilidad de adelantamiento como criterio de control para el diseño, las longitudes de las curvas verticales en cresta resultan mayores que las calculadas utilizando las expresiones arriba indicadas, lo que hace pensar que diseñar para estas longitudes, conduce a una considerable elevación de los costos de construcción; además, que para recomendar estas distancias, debe haber una combinación favorable entre topografía del terreno, seguridad y volúmenes de tránsito, que dé como resultado su plena justificación.

De igual manera que el caso anterior, existen dos consideraciones a tomar en cuenta cuando se usa la distancia de visibilidad de adelantamiento; la primera se presenta cuando la longitud de curva (L) es mayor que la distancia de visibilidad (S), entonces se utiliza la siguiente fórmula:

$$L = \frac{GS^2}{946} \quad (\text{Ec. 6.17})$$

La diferencia estriba en que la altura del objeto es de 1.30 metros en vez de 0.15 metros.

Cuando la longitud de curva (L) es menor que la distancia de visibilidad de adelantamiento (S); la expresión que se usa es la que sigue:

$$L = \frac{2S - 946}{G} \quad (\text{Ec. 6.18})$$

Todos los términos de estas expresiones tienen igual significado que los anteriores.

Las distancias mínimas de visibilidad para adelantamiento y de visibilidad de parada se han utilizado para preparar la tabla 34, que presenta los valores de K para el cálculo de las longitudes de curvas verticales en cresta para diferentes velocidades de diseño.

Tabla 34. Controles de Diseño de Curvas Verticales en Cresta Basados en las distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento

Velocidad de Diseño (Km/h)	Velocidad de Marcha (Km/h)	Distancia de Parada para Diseño (m)	Tasa de curvatura vertical K, longitud (m) por % de G*	Distancia mínima de adelantamiento para Diseño (m)*	Tasa de curvatura vertical, K, longitud (m) por % de G*
30	30 - 30	30 - 30	3 - 3	217	50
40	40 - 40	45 - 45	5 - 5	285	90
50	47 - 50	60 - 65	9 - 10	345	130
60	55 - 60	75 - 85	14 - 18	407	180
70	67 - 70	95 - 110	22 - 31	482	250
80	70 - 80	115 - 140	23 - 49	541	310
90	77 - 90	130 - 170	43 - 71	605	390
100	85 - 100	160 - 205	62 - 105	670	480
110	91 - 110	180 - 245	80 - 151	728	590

Fuente: SIECA 2004

6.2.3 Diseño de Curvas en Columpios o Cóncavas

Se han identificado los siguientes cuatro criterios para usarse en el cálculo de las longitudes de curvas en columpios.

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

- El último se basa en consideraciones estéticas.

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

$$L = \frac{GS^2}{(120 + 3.5S)} \quad (\text{Ec. 6.19})$$

Dónde:

L : Longitud mínima de curva vertical en columpio, m.

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

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

Cuando L es menor que S la fórmula utilizada es la siguiente:

$$L_{min} = \frac{2s - (120 + 3.5 s)}{G} \quad (\text{Ec. 6.20})$$

Estos términos tienen igual significado que los anteriores. Se considera una altura de los faros de 0.6 metros y un ángulo de 1° de divergencia de los rayos de luz. En el desarrollo de las fórmulas de este criterio y para su aplicación en diseño, se recomienda utilizar los rangos de distancias de visibilidad de parada, que sean aproximadamente iguales a la distancia iluminada por los faros de los vehículos cuando viajan a la velocidad de diseño.

El segundo criterio basado en la comodidad, tiene su fundamento en la suspensión de la carrocería de los vehículos, el peso que mueve, la flexibilidad de las llantas, los tipos de asientos, entre otros. Se reconoce que la operación confortable de vehículos en curvas en columpio, se logra cuando la aceleración centrífuga alcanza $0.3\text{m}/\text{seg}^2$, que incorporado a la fórmula de diseño, resulta:

$$L = \frac{GV^2}{395} \quad (\text{Ec. 6.21})$$

Siendo el significado de los componentes de esta ecuación iguales a los utilizados con anterioridad. Las longitudes de curvas calculadas utilizando este criterio equivalen al 50% de los correspondientes a la modalidad anterior. El tercer criterio persigue la satisfacción de las necesidades del drenaje en las curvas en columpio. Un criterio recomendado para el diseño consiste en dotar una pendiente de 0.3 por ciento dentro de los 15 metros del punto a nivel del terreno, sus resultados son muy similares a los obtenidos de la fórmula $L = KG$, cuando $K = 51$ y la velocidad de diseño es de 100 kilómetros por hora.

Hay que aclarar que las longitudes calculadas para efecto de drenaje son máximas hasta 100 kilómetros por hora y no mínimas, como en los demás criterio de diseño de curvas verticales. Después de 100 hasta 120 Kilómetros por hora, las longitudes son mínimas, al igual que los otros criterios.

Cuando se trata de tomar en cuenta aspectos de estética en estas curvas, existe la fórmula empírica $L = 30G$, siendo L la longitud mínima y G la diferencia algebraica de pendientes. Los resultados obtenidos son similares a los que corresponden al criterio de la distancia iluminada por los faros de vehículos para velocidades de 70 – 80 kilómetros por hora.

En atención a la diferencia de longitudes de curva que se obtienen aplicando los criterios mencionados, se recomienda diseñar curvas verticales en columpio utilizando el primer criterio descrito, dando especial consideración al drenaje cuando K es mayor de 51.

A como se ha indicado en la descripción del primer criterio, la distancia de visibilidad de parada (tabla N°34) es la que controla la recomendación de longitudes mínimas para curvas en columpio, considerando valores menores y mayores de este parámetro. De igual manera en que fueron calculados los valores de diseño de las curvas en cresta, también es conveniente expresar los controles de diseño de las curvas en columpio en términos de K para todos los valores de G.

6.2.4 Criterios para el Diseño del Alineamiento Vertical

La AASHTO presenta algunos consejos valiosos en torno al diseño del alineamiento vertical, de donde cabe entresacar algunos por su relevancia para la práctica vial centroamericana:

- Las curvas verticales en columpio deben evitarse en secciones en corte, a menos que existan facilidades para las soluciones de drenaje.
- En pendientes largas, puede ser preferible colocar las pendientes mayores al pie de la pendiente y aliviarlas hacia el final o, alternativamente, intercalar pendientes suaves por cortas distancias para facilitar el ascenso.
- En tangente, deberían generalmente evitarse, particularmente en curvas en columpio donde la visión de la carretera puede ser desagradable al usuario.

Tabla 35. Controles de Diseño de Curvas Verticales en Columpio basados en la Distancia de Visibilidad de Parada, DVP.

Velocidad de Diseño (Km/h)	Velocidad de Marcha (Km/h)	Distancia de Parada para Diseño (m)	Coeficiente de Fricción	Valores DPV (m)		Factor K de diseño*
				Menores	Mayores	
30	30 - 30	30 - 30	0.40	30	30	4-4
40	40 - 40	45 - 45	0.38	45	45	8-8
50	47 - 50	60 - 65	0.35	60	65	11-12
60	55 - 60	75 - 85	0.33	75	85	15-18
70	67 - 70	95 - 110	0.31	95	110	20-25
80	70 - 80	115- 140	0.30	115	140	25-32
90	77 - 90	130 - 170	0.30	130	170	30-40
100	85 -100	160 - 205	0.29	160	205	37-51
110	91 - 110	180 - 245	0.28	180	245	43-62

Fuente: SIECA 2004

- Los alineamientos ondulados, que involucran longitudes sustanciales de pendientes que generan momento, pueden ser indeseables en el caso de vehículos pesados que pueden incrementar excesivamente su velocidad, sobre todo cuando una pendiente positiva adelante no contribuye a la moderación de dicha velocidad.
- Hay que evitar el “efecto de montaña rusa”, que ocurre en alineamientos relativamente rectos, donde el perfil longitudinal de la rasante se ajusta a las suaves irregularidades de un terreno ligeramente ondulado.

Para el cálculo de las curvas horizontales y verticales se hizo uso del software Civil 3D, tomando en cuenta los criterios antes mencionados, los resultados obtenidos. (Ver juego de planos al final del documento-Plano N°5/Hoja 1 a 5)

En el diseño horizontal, las curvas cumplen con los criterios del manual SIECA, ya que sus radios son mayor de 25 que es el recomendado según el manual SIECA 2004, cuadro 4.10, pag 4-41 respectivamente. Por lo tanto se tomará la línea existente para el tramo.

En el alineamiento vertical se obtuvieron 80 curvas, donde 35 de ellas son en Cresta o Convexa y 45 son en columpio cóncavas, todas ellas cumplen con los criterios normados por el manual SIECA. (Ver juego de planos al final del documento-Plano N°5/Hoja 1 a 5)

6.3 Determinación de Rasante

Con los resultados de los estudios topográficos, geotécnicos, pavimento y diseño geométrico de la vía se obtuvo un nivel de rasante final de 0.43m a partir del terreno natural existente.

El proyecto cuenta con una rasante que no mantiene la elevación actual del terreno en la mayoría de las estaciones, ya que se diseñó buscando soluciones que sirvan para evacuar las corriente de agua superficial del área de rodamiento de la carretera.

6.4 Elaboración de Planos

La información del levantamiento topográfico y diseño geométrico vial fue utilizada para elaborar los planos finales de construcción en hojas planta - perfil los cuales muestran la línea central, secciones transversales, límites de derecho de vía, datos de curva, referencias de línea central, BM's y sus referencias y el perfil longitudinal. (Ver juego de planos al final del documento, a partir de la pag. XLIV).

En el juego de planos constructivos se incluyen, además, hojas que contienen señalización, sección típica y otros. Todo ello fue editado en el software AUTOCAD 2015.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados inicialmente se ha concluido que:

✓ **Estudio Topográfico**

La topografía del terreno es ondulada y el tramo a adoquinar será de 4,000 ml, presentando una pendiente máxima de 11.25% y pendiente mínima de 0.35%.

✓ **Estudio de Suelos**

A partir de los 17 sondeos manuales realizados sobre la línea, se determinó que entre los suelos predominantes hay A-4, A-6 y A-7-6, los cuales no cumplen con las normativas establecidas por la AASHTO, por lo tanto se usará el banco de materiales N°1 de la Sra. López con un CBR de 22% al 95% de compactación para una compensación de Sub-Rasante esta tendrá un espesor de 13 cm aproximadamente y se utilizará el banco N°2 del Sr. Rodríguez por ser catalogado como bueno con un valor de CBR de 82.1% al 95% Proctor para capa base.

Se obtuvo un CBR de diseño de 22% a partir de un percentil del 75%, y un Mr para la Sub Rasante de 13,612.85 PSI.

✓ **Estudio de Transito**

A partir de Conteos vehiculares realizados por siete días consecutivos en períodos de 12 horas se obtuvo un TPDA de 498 vehículo/día.

Para la proyección del tráfico se utilizó una tasa de crecimiento del 4.7 %, obtenida mediante las correlaciones del TDPA-PIB, TPDA-Población y utilizando las variables de las tasas de crecimiento históricas.

Se obtuvo ESAL'S de 925,310 por carril de diseño para un periodo de diseño entre 10 a 20 años.

✓ **Estructura de Pavimento**

En el diseño de la estructura de pavimento, se utilizó el método AASTHO 93. Los coeficientes de capa obtenidos fueron los valores siguientes: Un $a_1= 0.45$ este coeficiente estructural ya está definido para la capa de rodamiento (Adoquín) según la AASHTO y un $a_2= 0.135$ el que se obtuvo haciendo uso del nomograma en función del Módulo Resiliente para base granular.

De acuerdo a los resultados del estudio de pavimento los espesores obtenidos son: 4 plg=10.16 cm de la carpeta de rodamiento con adoquín, 1.97 plg=5 cm de capa de arena y 6 plg=15.24 cm de base granular.

✓ **Diseño Geométrico Vial**

Es un Carretera Colectora Rural, con un ancho de rodamiento de 6.6 m, su velocidad de diseño es de 30 Km/h.

De acuerdo al alineamiento horizontal existen 44 curvas en todo el tramo, de las cuales la N°38 es la más cerrada con un radio de 37; sin embargo todas cumplen con los criterios del manual SIECA, ya que sus radios son mayores de 25 respectivamente También se obtuvieron 80 curvas verticales donde 35 de ellas son en Cresta y 45 en columpio.

RECOMENDACIONES

- ✓ Respetar los espesores de pavimento propuestos en el documento.
- ✓ Utilizar adoquín tipo tráfico y que este cumpla con su resistencia de 3,500 PSI según la NIC 2000.
- ✓ Utilizar adoquines procedentes de fábricas certificadas y reconocidas a nivel nacional.
- ✓ Que el adoquín este confinado en sus bordes laterales por bordillos o cunetas de concreto simple, cuyo objeto es el proteger y respaldar debidamente al adoquinado.
- ✓ Utilizar mano de obra calificada en todas las etapas constructivas.
- ✓ Darle mantenimiento periódico a la carpeta de rodamiento para maximizar su vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía El Jicaro N.S. (2011). Memoria anual de proyecto.

Alcaldía, Municipal de Jicaro, Nueva Segovia. (2010). Caracterización de El Jicaro.

The American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). Diseño de pavimentos por método AASHTO-93. Versión en español. Washington, DC: Autor

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

Wright, P. H. (2011). ingeniería de carretera . Mexico DF: Limusa.

<http://topografiadocente.blogspot.com/>. (23 de mayo de 2009). Recuperado el 07 de 09 de 2010.

Cal y Mayor, R. (2008). Ingeniería de Tránsito "Fundamentos y Aplicaciones". México, Df: Alfaomega.

García, L. B. (2007). Manual de carreteras, construcción y mantenimiento.

Leclair, R. (2001). Normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales. SIECA.Guatemala.

Tejero., F. R. (1997). Topografía general y aplicada.