



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**Diseño Geométrico y Estructura De Pavimento Rígido de la Carretera
Bluefields – San Francisco, Tramo I Estación. 48+280.00 – 61+530.00,
Longitud 13.25 Km.**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado Por:

Br. Ruth María Palacios Muñoz.

Tutor

Ing. Gioconda Isabel Juárez Romero.

Managua, Nicaragua

Noviembre 2019.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecerle a Jehová Dios y a mi Virgen Santísima por darme la fortaleza, sabiduría y entendimiento para seguir luchando hasta convertirme en lo que soy, por todas sus bendiciones y sobre todo por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional y personal, por ser la luz que guía mi camino.

Gracias a mi padre el Ing. Guillermo Palacios Q.E.D por ser mi pilar más fuerte que Dios me dio, porque tu creíste en mi desde la primera vez que supistes en lo que anhelaba ser de grande, gracias por ser el mejor padre que pude tener, por tus consejos, tus regaños porque siempre me llevaste por el camino del bien hasta el cielo te mando besos y abrazos. Gracias madre Mayra Muñoz por ser tu mi confidente, por ser una madre amorosa porque siempre creíste en mí y a mi hermano Yader Palacios por siempre darme ánimos en momentos de dificultad. Gracias a ustedes por enseñarme que las cosas se logran con esfuerzo, con dedicación y valentía de no temer a las adversidades porque Jehová Dios siempre está conmigo.

Agradezco a los docentes de la universidad que con su sabiduría, conocimiento y apoyo me motivaron a desarrollarme como persona y profesional. A mí tutora la Ing. Gioconda Juárez por ser la persona quien me guio a lo largo de mi carrera y de mi proyecto monográfico por ser una excelente maestra y una gran amiga.

Agradezco a mi tío el Ing. Víctor Palacios, a mi tía Maritza Muñoz, a mis padrinos Anielka Gutiérrez y Edén Urtecho por el apoyo incondicional e insistencia para culminar mi carrera.

INDICE.

I. GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.	1
1.1.2 Localización y ubicación del proyecto.	2
1.1.3 Descripción general del proyecto.....	4
1.1.4 Población beneficiada.	4
1.1.5 Geomorfología.....	4
1.1.6 Clima.	5
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo General.	6
1.2.3 Objetivo Específico.....	6
1.3 Antecedentes.....	7
1.4 Justificación.	8
II. ESTUDIO TOPOGRÁFICO.	10
2.1 Georreferenciación de punto Base.	10
2.2 Levantamiento Topográfico.	10
2.3 Diseño Geométrico.	11
2.3.1 Alineamiento Horizontal.	12
2.3.1.1 Velocidad de Diseño.	12
2.3.2 Alineamiento vertical.	14
2.3.3 Altimetría.	15
2.2.4 Elaboración de planos.....	16
III. ESTUDIO DE TRÁNSITO.....	17
3.1 Introducción.	17
3.2 Criterio e información utilizada en la elaboración del estudio de tránsito.....	18
3.2.1 Clasificación de vehículos.	21
3.2.2 Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.	21
3.3 Metodología del estudio.	22
3.4 Recopilación de datos.	23

3.4.1 Tránsito Normal.	24
3.4.2 Tránsito Generado.	24
3.4.3 Tránsito Desviado.	24
3.4.4 Tránsito Total.	25
3.4.5 Análisis de Variables.	25
3.4.5.1 Serie histórica del PIB (Periodo 2014 – 2017).	26
3.4.5.2 Análisis del parque vehicular del país, periodo 2010-2017.	27
3.4.6. Análisis de los resultados obtenidos.	29
3.4.6.1 Tránsito Generado.	29
3.4.6.2 Tránsito Desviado.	34
3.4.6.3 Resultados Encuestas O/D Estudio de Roughton International (Transporte Bimodal, Ruta La Curva- Muelle de los Bueyes-El Rama- Bluefields).	35
3.4.6.4 Vehículos Livianos, de Pasajeros y de Carga.	36
3.4.6.5 Tránsito desviado (medio aéreo).	39
3.4.6.6 Tránsito de Motos, C2 Livianos y C2.	40
3.4.6.7 Tránsito Desviado debido a Desvío de Carga.	45
3.4.6.8 Tránsito Total.	46
IV. ESTUDIO DE SUELO.	47
4.1 Introducción	47
4.2 Clasificación de los Suelos.	48
4.2.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) ASTM D – 3282.	48
4.2.2 Clasificación AASHTO M – 145.	48
4.3 Propiedades fundamentales de los suelos	50
4.3.1 Granulometría.	50
4.3.2 Plasticidad	50
4.3.3 Humedad natural.	51
4.3.4 Compacidad.	52
4.3.5 Resistencia del suelo (Ensaye de CBR).	52
4.4 Determinación del CBR de diseño.	53
4.4.1 Correlación con los tipos de suelos.	55

4.5	Mejoramiento de Suelo.....	56
4.6	Pedraplén	57
4.6.1	Definición	57
4.6.2	Características de los materiales utilizados en el pedraplén.....	58
4.6.3	Partes de un pedraplén.....	59
4.6.4	Ejecución	61
4.7	Resultados de Estudio de Suelos.	62
4.7.1	Resultados de los Sondeos de Línea.	62
4.7.2	Análisis de Resultados de las investigaciones de suelos.	63
4.8	Resultados de los Sondeos en los bancos de materiales.....	64
4.8.1	Introducción	64
4.8.2	Resumen de los sondeos en los bancos de préstamos	64
4.8.2.1	Banco la Pedrera.	65
4.8.2.2	El Banco el Pool No-2.....	65
4.8.2.3	El Banco del Caño Blanco.	65
4.9	Descripción del sistema para mejoramiento del suelo.	65
4.10	Resultados de los ensayos de los bancos de materiales.....	66
V.	DIEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTOS.....	68
5.1	Introducción.	68
5.2	Características que debe reunir un pavimento.	69
5.3	Clasificación de los pavimentos.	70
5.4	Diseño de Pavimento.....	71
5.5	Consideraciones de diseño.....	73
5.5.1	Serviciabilidad de pavimento inicial y final.....	73
5.5.1.1	Condiciones de servicio del pavimento al inicio del periodo de diseño (P_0).	74
5.5.1.2	Condición de servicio del pavimento final del periodo de diseño (P_t).....	74
5.5.1.3	Pérdida de serviciabilidad de diseño (ΔPSI).....	74
5.5.2	Confiabilidad en el diseño (R).....	75
5.5.3	Desviación Normal estándar (Z_r).	76
5.5.4	Desviación estándar de la variable (S_o).....	77

5.5.5 Análisis de cargas y ejes equivalentes para el diseño de pavimento (W18).	77
5.5.6 Estimación de las cargas de diseño.....	78
5.5.7 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).....	78
5.5.8 Factores de equivalencia de carga.	78
5.5.8.1 Factor de Sentido (FS).....	79
5.5.8.2 Factor de carril (FC).....	79
5.5.8.3 Factor de crecimiento Anual (FCA)	80
5.5.8.4 Factor equivalente de carga para pavimento rígidos.....	80
5.5 Resistencia a la flexión del concreto (Modulo de Rotura, MR).	80
5.6 Módulo de ruptura del concreto para las losas de pavimento.....	81
5.8 Módulo de Elasticidad del Concreto (EC).....	82
5.9 Cálculo del módulo de reacción de la sub-rasante (K) de diseño.	82
5.10 Coeficiente de transferencia de carga (J).....	84
5.11 Coeficiente de drenaje para pavimento rígido (Cd).	85
5.12 Resumen de los datos calculados de las diferentes variables para poder entrar al nomograma y obtener el espesor de la losa.	87
5.13 Cálculo de espesor de pavimento rígido mediante el programa AASHTO-93.....	89
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
6.1 Conclusiones.....	91
6.2 Recomendaciones.	93
VII. BIBLIOGRAFIA.....	94
VIII. ANEXOS	95

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio denominado “Diseño Geométrico y Estructura de Pavimento Rígido de la Carretera Bluefields – San Francisco, Tramo I Est. 48+280.00 – 61+530.00” presenta la información básica y los criterios necesarios para el diseño de la estructura de pavimento rígido aplicando el método AASHTO-93.

En este trabajo se abordaron 5 capítulos donde cada uno está comprendido por un tema específico.

Capítulo I. Aspectos Generales: En este capítulo se plantea las generalidades del tema como son: Introducción, objetivos, antecedentes, y justificación.

Capítulo II. Topografía y Diseño geométrico: Este aborda el diseño geométrico en donde se dibujó el alineamiento horizontal en el que consiste diseñar geoméricamente las curvas horizontales, verticales, peraltes y sobre ancho basados en el Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2004) y a la información obtenida por la empresa IMPULSO - EDICRO S.A y auxiliado con el programa Autodesk Civil 3D.

Capítulo III. Estudio de Tránsito: En este tema se analizará el tránsito necesario para determinar el número ESALS. Se especifica la recopilación de datos, clasificación de vehículo, clasificación del tipo de vehículo de acuerdo con la disposición de sus ejes, tasas de crecimiento, periodo de diseño, proyección de tránsito, factor de crecimiento, factor de distribución, factor carril, número de año en el periodo de diseño, tránsito inicial en el año 0.

Capítulo IV. Estudio de Suelo: en este capítulo se presenta la información brindada por la empresa IMPULSO-EDICRO S.A, donde se analizaron las pruebas, para determinar su utilidad en la vía como base sub-base, y sub-rasante las cuales soportarán las cargas a las que serán sometida, por la cantidad de vehículos análisis de los bancos de materiales, sondeos y su respectiva clasificación.

Capítulo V. Diseño de Pavimento Rígido: En este capítulo comprende el diseño de pavimento rígido; de forma manual y con el programa AASHTO-93, en el cual se realiza el cálculo para el espesor de pavimento. A la vez se detalla el procedimiento para la selección de parámetros de diseño como son: ejes equivalentes de diseño, confiabilidad, serviciabilidad, desviación estándar, CBR de diseño en el cual sirvió como base para determinar el módulo de resiliencia, coeficiente de drenaje y transferencia de carga.

I. GENERALIDADES.

1.1 Introducción.

Un pavimento, es la estructura integral de capas superpuestas, generalmente horizontales denominadas sub-rasante, sub-base, base y carpeta de rodamiento, colocadas hasta coronar la rasante y destinada a permitir el tránsito vehicular, que se construyen sobre una superficie no natural, aumentando la capacidad de soporte, transitabilidad, seguridad y comodidad de la vía.

El trabajo monográfico dará a conocer el diseño geométrico vial y los espesores de la estructura de pavimento rígido del tramo de carretera Bluefields – San Francisco primera etapa longitud 13.25 ms, bajo el método AASHTO 1993, lo último se llevará a cabo mediante un análisis sobre los resultados del estudio de suelo, planteando la alternativa que resulte óptima para su mejoramiento tomando en cuenta el tipo de suelo y las condiciones climáticas de la zona.

Además; se desarrollará el análisis de los resultados de los aforos vehiculares realizados en la zona para determinar de esta manera el Tránsito Promedio Anual (TPA) de la vía.

Con apoyo de los resultados obtenidos a partir del estudio de tránsito y la geotecnia del sitio, se realizará el diseño de los espesores de pavimento para una estructura de concreto hidráulico según el método de diseño tradicional desarrollado por la AASHTO 1993, con losas de 3.8 metros de ancho por 4.5 metros de largo, lo cual hace posible que varios o todos los sets de ruedas de un vehículo permanezcan en ella al mismo tiempo.

También se presenta la información obtenida de los levantamientos topográficos realizados en la zona de estudio, a partir de los cuales se realizará el diseño geométrico del tramo de carretera en estudio.

1.1.2 Localización y ubicación del proyecto.

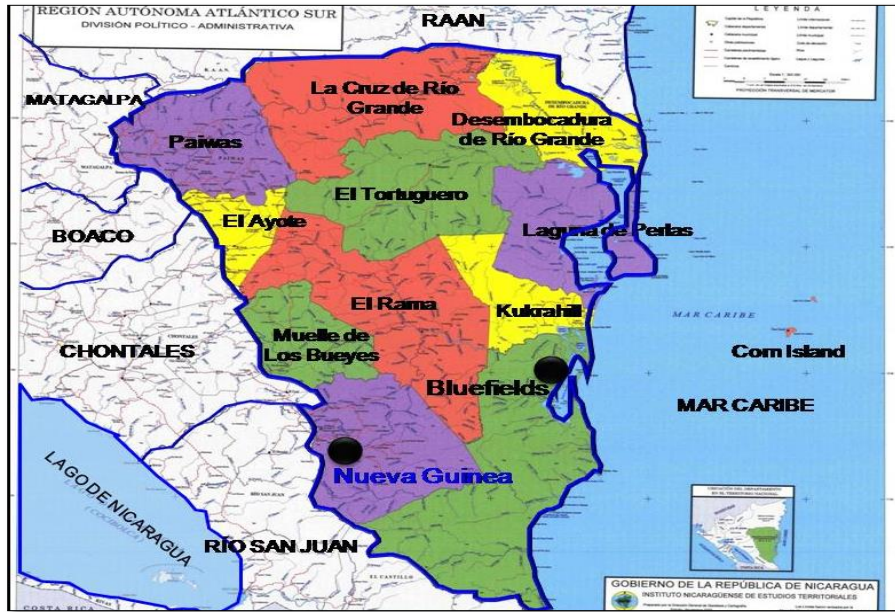
El proyecto se localiza a 380 km de Managua, sobre la ruta Managua – Nueva Guinea – Bluefields. Está ubicado en la Región Autónoma Costa Caribe Sur (RACCS), y su punto de inicio se encuentra en una comarca conocida como Talento, Estación 48+280, (coordenadas N 1, 324,170.353 y E 828,920.827), a aproximadamente 15Km. del poblado llamado San Francisco, siguiendo la ruta hacia Bluefields, y finaliza en un lugar conocido como La Veranera, Estación 61+530, (N 1, 327,214.997 y E 840, 299.996), a aproximadamente 14 Km antes de llegar a la ciudad de Bluefields.

El Tramo tomado en consideración para el desarrollo de este trabajo es el comprendido entre Bluefields– San Francisco, con una longitud total de 26.50 km. El proyecto total inicia en la comunidad de Naciones Unidas y finaliza en Bluefields y está ubicado en la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS), localizado a la altura del Km 308.25 desde Managua.

De acuerdo a la clasificación funcional del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), se considera que será una carretera colectora secundaria, que pertenece a la NIC-71, que comunicará el municipio de Bluefields con el poblado San Francisco y de ahí con el resto del País.

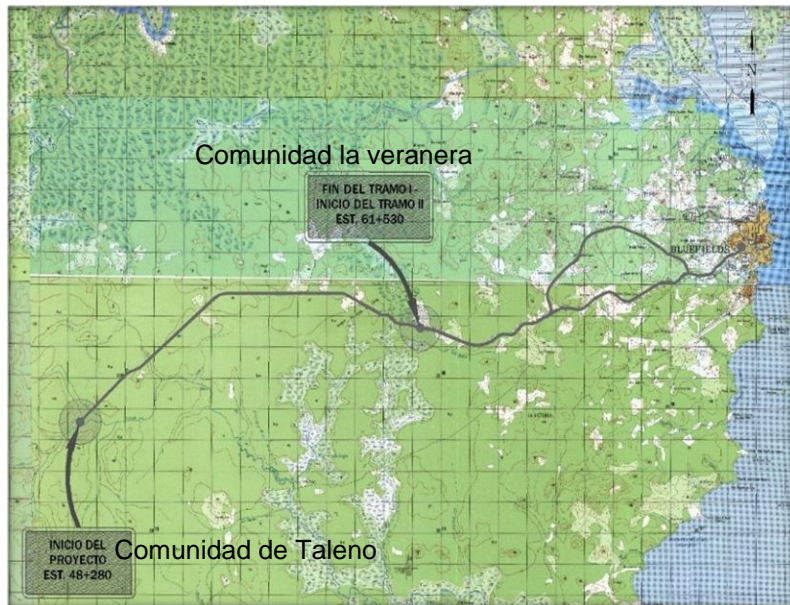
La macro localización y la micro localización del Proyecto se muestran a continuación:

Figura No. 1- Macro localización del proyecto en la RAACS.



Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudio Territoriales.

Figura No. 2- Macro localización del proyecto en Nueva Guinea- Bluefields.



Fuente: Informe final del proyecto Mejoramiento de Camino Rural Bluefields – San Francisco elaborado por EDICRO S.A

1.1.3 Descripción general del proyecto.

La carretera Bluefields - San Francisco representa la primera etapa de una ruta de interconexión entre la ciudad de Bluefields y la zona del Pacífico de Nicaragua, ya que actualmente el acceso hacia la ciudad de Bluefields es por aire o por vía acuática. Considerando la importancia económica que representa la región Atlántica de nuestro país, por la producción agrícola y su potencial turístico se requiere la infraestructura vial para el crecimiento económico tanto de la zona en mención como a nivel nacional.

1.1.4 Población beneficiada.

La carretera se encuentra entre los municipios de Nueva Guinea y Bluefields, la cual cuenta con una población de 112,483 habitantes, donde el 39.56% es población Urbana y el 60.43% es Rural. La población directamente beneficiada sería: Naciones Unidas (1,645 hab.), Germán Pomares (1,400 hab.), Nuevo León (1,060 hab.), La Esperanza (956 hab.), El Paraisito (400 hab.), Nuevo Horizonte (500 hab.), San Francisco Kukra River (1,400 hab.), Bluefields (45,547 hab.) para un total de 52,908 habitantes. De los cuales corresponde un 50.52% a las mujeres para un total de; 26,733 y varones 49.48 % 26,175.

1.1.5 Geomorfología.

En términos geomorfológicos, el área del camino en los primeros 14 kilómetros partiendo de la ciudad de Bluefields con dirección a San Francisco se restringe en gran parte, por una topografía plana, representada por una extensa capa de suelo, finos, con relieve levemente ondulado y formas dómidas y el resto del proyecto con pequeñas variaciones de lomeríos un mejor drenaje, pero en lo general plano.

1.1.6 Clima.

Se caracteriza por tener un período lluvioso de 9 ó 10 meses, con precipitaciones promedio anuales en la zona del proyecto que van 2,000 a 3000 ml a medida que el proyecto avanza de Naciones Unidas hacia Bluefields la precipitación aumenta y luego las lluvias disminuyen en los meses de marzo y abril.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General.

- Realizar el Diseño Geométrico y Estructura de Pavimento Rígido de 13.25 Km de la carretera Bluefields – San Francisco de la Estación 48+280.00 a la Estación 61+530.00.

1.2.3 Objetivo Específico.

- Generar los perfiles del terreno natural obtenido por el levantamiento topográfico realizado por la empresa EDICRO-IMPULSO S.A y así determinar la rasante más óptima, longitudinal y transversalmente.
- Realizar un análisis de tránsito a partir del aforo vehicular en el sitio para obtener el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) y las cargas de diseño para el periodo de proyecto.
- Analizar las características físicas y mecánicas de los suelos y los bancos de materiales existentes y nuevos para su utilización adecuada en la estructura de pavimento, utilizando los datos de laboratorio suministrados por EDICRO - IMPULSO S.A.
- Realizar el diseño geométrico de la vía, utilizando el software Civil Cad 3D 2014 aplicando las normas de Diseño Geométrico de Carretera y Calles (AASHTO 2004) y las Normas de Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales (SIECA 2da Edición), para garantizar la seguridad y el confort de los usuarios.
- Diseñar la estructura de pavimento rígido considerando las condiciones de carga y las propiedades de los suelos, aplicando el método de Diseño de Estructura de Pavimentos AASHTO 93 y analizado con el programa método AASHTO para el diseño de pavimento 1993 para soportar las cargas de diseño.

1.3 Antecedentes.

En un país en desarrollo como Nicaragua, la apertura de nuevas vías de circulación o la reparación y mantenimiento de las ya existentes, constituyen un patrimonio nacional que como tal se debe proteger, conservar y mejorar.

Algunas de las vías de comunicación terrestre existentes en la Costa Caribe Sur cuentan con superficies de rodamiento de pequeños espesores y otras están desprovistas de las mismas. Propiamente el tramo Bluefields – San Francisco se localiza en zonas de topografía ondulada; y el nivel de servicio actual del camino se ve limitado por la falta de obras de paso en quebradas de regular envergadura que muy probablemente impiden la circulación en la época de lluvias, sumado al rodamiento a nivel de terracería.

Este municipio siempre ha estado limitado en cuanto a sus vías de acceso, ya que por mucho tiempo solamente se podía transitar por vía acuática y vía aérea.

Actualmente existe una trocha en pésimo estado siendo posible transitar en vehículo hasta cierta distancia en época de verano y en bestias en invierno.

Las características actuales del camino son:

- a) Es una trocha veranera que presenta variaciones en su ancho de 5 a 7 metros.
- b) Carece de material de revestimiento en su totalidad, es decir, el material de sub-rasante es arcilloso y sobre él se ha colocado material para su mejoramiento, como grava arcillosa.
- c) A 26.50 km antes de llegar a Bluefields, el camino es totalmente intransitable aun para vehículos de doble tracción.
- d) La inexistencia de obras de drenajes, (cunetas, puentes vados, alcantarillas, etc.) imposibilita el tráfico vehicular, especialmente en la época de invierno.

1.4 Justificación.

En años pasados existían únicamente dos maneras para llegar a la ciudad de Bluefields, una vía aérea desde Managua, y en embarcaciones que zarpan diariamente desde el puerto Arlen Siu en El Rama recorriendo una distancia de 88 kilómetros a través del río Escondido. Unir la vía terrestre el Caribe nicaragüense con la ciudad de Managua será una realidad tangible a través de la construcción de 26.5 kilómetros de carretera de concreto hidráulico, que unirán el municipio de Bluefields con el poblado de San Francisco (pertenecientes a la línea Nueva Guinea – Bluefields) logrando así una comunicación vial directa Bluefields – Managua (364.5 Km).

La importancia y raíz de este proyecto yace en la necesidad de conseguir una mayor inclusión de la Costa Caribe del país como parte activa y actuante del mismo, considerando que en esta zona se encuentra uno de los puertos más importantes que dispone de una terminal adecuada para atender barcos que transportan diésel, además de prestar servicio a la carga de cabotaje y a la exportación de camarón por medio de contenedores refrigerados, Puerto Bluff/Bluefields.

Debido a los factores antes expuestos y el mal estado del camino en estudio, se necesita una estructura de pavimento que cumpla con las expectativas de los pobladores y dinamice la economía del Municipio y por ende la del país dado la importancia de este corredor nacional.

Tomando en cuenta el potencial económico del área de influencia del proyecto, se obtendrán beneficios considerables en los sectores agrícolas, ganaderos, pesqueros y turísticos. Se reducirán los costos de mantenimiento del transporte y el tiempo de traslado de los productos hacia los centros de comercialización.

Al considerar todos los elementos técnicos se certifica que el proyecto al ser ejecutado, tenga una mayor vida útil y buena planificación que garantiza el mantenimiento continuo y periódico de la vía.

A lo anterior se le suma que el Gobierno de Nicaragua anunció recientemente la construcción de un puerto de aguas profundas en Bluefields, tomando en cuenta que en el municipio existe ya la experiencia portuaria y que una vez construida la carretera Bluefields – San Francisco, San Francisco – Nueva Guinea, la carga del Pacífico se llevará en camiones hasta el lugar de donde luego sería embarcada. Esto trae como ventaja que Nicaragua disminuirá los costos operativos al llevar mercadería hacia los puertos centroamericano.

II. ESTUDIO TOPOGRÁFICO.

Todo estudio, elaboración y ejecución de cualquier proyecto de ingeniería de obras tenga como asiento la superficie de la tierra, es de importancia el estudio de topografía en la elaboración del área destinada para cualquier obra. Las características del terreno son la guía del diseñador, para una mejor distribución y ubicación, en sus aspectos funcionales y ornamentales

En los estudios topográficos se vincula analíticamente los diferentes ejes de simetría de la obra entre sí, con elementos fijos del terreno, BM (Banco Maestro) con fines de su posterior replanteo.

2.1 Georreferenciación de punto Base.

La georreferenciación tiene como objetivo fundamental enmarcar todo el levantamiento topográfico al sistema nacional del país, con el fin de ubicarlos en los mapas geodésicos, además son utilizados para el control de alineamiento horizontal ya que permite determinar el error de cierre lineal.

En nuestro estudio topográfico ya existía los puntos de referencias auxiliares denominados P-1, P-2 y P-3 que se encuentran ubicadas en la pista de aeropuerto de Bluefields del plano proporcionado comprado por la empresa EDICRO S.A. **(Ver anexos, figura No.3, pág. I)**

2.2 Levantamiento Topográfico.

El levantamiento topográfico es uno de los puntos más importantes para la realización del diseño geométrico. Estos levantamientos fueron realizados por la empresa EDICRO S.A.

Se necesitaron 3 cuadrillas topográficas, las cuales utilizaron para los levantamientos los siguientes equipos: estación total, nivel de precisión, cintas de 30 mts, chapas, mojones de concreto y pinturas de aerosol en un lapso de 6 meses.

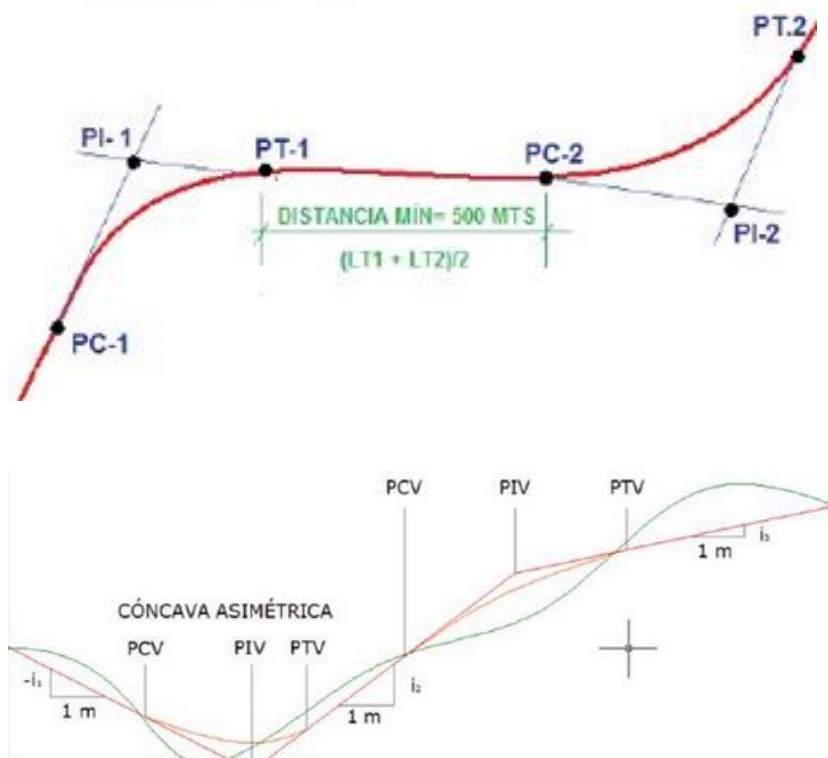
2.3 Diseño Geométrico.

El diseño geométrico de una carretera este compuesto por tres elementos bidimensionales que se ejecutan de manera individual, pero dependen unos de otros, y que al unirlos finalmente se obtiene un elemento tridimensional que corresponde a la vía propiamente. Estos tres elementos

- Alineamiento Horizontal.
- Alineamiento Vertical.
- Sección transversal.

La siguiente imagen muestra la relación que presenta el uno del otro:

Figura No. 4- Elementos del Diseño Geométrico. (Alineamiento horizontal y vertical)



Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración del diseño geométrico del tramo se utilizó las herramientas contenidas en el software AUTOCAD CIVIL 3D 2014 y el Manual Centroamericano para el Diseño Geométrico de las Carreteras Regionales 2da edición 2004.

2.3.1 Alineamiento Horizontal.

Este trabajo consistió en el seccionamiento del eje central cada 20 mts a partir de los puntos de la Línea Base previamente establecida dentro de este proceso se seleccionaron puntos o sitios para obras de drenajes donde se detectaron cruces de aguas, depresiones e irregularidades de la topografía del terreno.

En el levantamiento se tomaron detalles en los puntos correspondientes al centro del camino orillas, bordes, etc. La información del levantamiento quedó plasmada en las libretas de campo con toda la infraestructura levantada, así como los esquemas de puntos de la línea base con su respectivo código de las estaciones totales utilizadas.

El alineamiento inicia en la estación 61+530 comarca la veranera y finaliza en la estación 42+280 en la comarca talento.

El diseño del alineamiento horizontal está basado en una óptima relación entre la velocidad de diseño (V_d) y la curvatura (G_c); y la relación de estos elementos con la super elevación (e) y el coeficiente de fricción (f).

2.3.1.1 Velocidad de Diseño.

La velocidad de diseño o velocidad de proyecto de un tramo de carretera es la velocidad guía o de referencia que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad. Por lo tanto, ella representa una referencia mínima. Se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en una sección determinada de una vía, cuando las condiciones son tan favorables, que las características geométricas del diseño de la vía predominan.

La velocidad de diseño o velocidad de proyecto de un tramo de carretera es la velocidad guía o de referencia que permite definir las características geométricas mínimas de todos los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y

seguridad. Por lo tanto, ella representa una referencia mínima. Se define como la máxima velocidad segura y cómoda que puede ser mantenida en una sección determinada de una vía, cuando las condiciones son tan favorables, que las características geométricas del diseño de la vía predominan.

Según el estudio topográfico las pendientes naturales del terreno natural oscilan entre pendiente mínima de 0.20% a pendiente máxima de 3.70%, por lo tanto, se clasifica el terreno en estudio con la siguiente tabla.

Tabla No. 1- Clasificación de los terrenos en función de las pendientes naturales.

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

G= Pendiente

Fuente: Manual centroamericano para Carreteras Regionales 2da Edición SIECA 2004, pág. 4-63.

El Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) del tramo, según el estudio de tráfico, es de 363 vehículo por día (vpd) (**ver tabla No.34, pág. XXXIII**) y en base al estudio topográfico, el terreno es plano según SIECA 2004 pág. 4-63, la vía se clasifica como una Colectora Rural y su velocidad de diseño es de 70 kph de acuerdo a la siguiente tabla, tomada del SIECA (2da edición 2004).

Tabla No. 2- Elementos de diseño geométrico de las carreteras regionales.

No.	DESCRIPCION	AUTOPISTAS REGIONALES	TRONCALES			COLECTORAS	
			Suburbanas	Rurales	Suburbanas	Rurales	
1	TPDA, vehículos promedio diario	>20,000	20,000-10,000	10,000-3,000	3,000-500	3,000-500	
2	VHD, vehículos por hora	>2,000	2,000-1,000	1,500-450	300-50	450-75	
3	Factor de Hora Pico, FHP	0.92	0.92	0.95-0.91	0.92	0.85	
4	Vehículo de Diseño	WB-20	WB-20	WB-20	WB-15	WB15	
5	Tipo de Terreno	P O M	P O M	P O M	P O M	P O M	
6	Velocidad de Diseño o Directriz, km/hora	110 90 70	90 80 70	80 70 60	70 60 50	70 60 50	
7	Número de Carriles	4 a 8	2 a 4	2 a 4	2	2	
8	Ancho de Carril, metros	3.6	3.6	3.6	3.3-3.6	3.3	
9	Ancho de Hombros/Espaldones, metros	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 1.0 - 1.5 Ext: 1.8 - 2.5	Int: 0.5 - 1.0 Ext: 1.2 - 1.8	Ext: 1.2 - 1.5	Ext: 1.2 - 1.5	
10	Tipo de Superficie de Rodamiento	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.	Pav.-Grava	
11	Dist.de Visibilidad de Parada, metros	110-245	110-170	85-140	65-110	65-110	
12	Dist. de Visib. Adelantamiento, metros	480-670	480-600	410-540	350-480	350-480	
13	Radio Min. de Curva, Peralte 6%, metros	195-560	195-335	135-250	90-195	90-195	
14	Maximo Grado de Curva	5°53' - 2°03'	5°53' - 3°25'	8°29' - 4°35'	12°44' - 5°53'	12°44' - 5°53'	
15	Pendiente Longitudinal Max, porcentaje	6	8	8	10	10	
16	Sobreelevación, porcentaje	10	10	10	10	10	
17	Pendiente Transversal de Calzada, %	1.5 - 3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	1.5-3	
18	Pendiente de Hombros, porcentaje	2-5	2-5	2-5	2-5	2-5	
19	Ancho de Puentes entre bordillos, metros	Variable	Variable	Variable	7.8-8.7	7.8-8.1	
20	Carga de Diseño de Puentes (AASHTO)	HS 20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44+25%	HS20-44	HS20-44	
21	Ancho de Derecho de vía, metros	80-90	40-50	40-50	20-30	20-30	
22	Ancho de Mediana, metros	4-12	4-10	2-6	-	-	
23	Nivel de Servicio, según el HCM	B-C	C-D	C-D	C-D	C-D	
24	Tipo de Control de Acceso	Control Total	Control Parcial	Sin Control	Sin Control	Sin Control	
25	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL	AR-TS	AR-TS-TR	TR-CR	TS-CS	TR-CR	

Notas: Pav: Pavimento asfáltico o de cemento Portland

P: Plano O: Ondulado M: Montañoso

AR:Autopista Regional, TS: Troncal Suburbana, TR: Troncal Rural, CS: Colectora Suburbana, CR: Colectora Rural

Fuente: Manual centroamericano para Carreteras Regionales 2da Edición SIECA 2004, pág. 13.

De acuerdo a los datos obtenidos de la Tabla No. 2 para un ancho de carril de 3.80 m en 2 vías de circulación y una sobreelevación de 10% con un coeficiente fricción lateral de 0.17 al tramo completo, le correspondería un Radio Mínimo 160m con un Vehículo de Diseño WB15 y una Carga de Diseño HS20-44.

2.3.2 Alineamiento vertical.

El alineamiento vertical del tramo de carretera en estudio, está ligada estrechamente y depende de la configuración topográfica del terreno siendo montañoso. Este 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. Pendiente Relativa 1.3 %.

- **Secciones Transversales.**

El levantamiento de las secciones transversales, se hizo sobre el tramo de estudio, perpendicularmente al eje del camino, se tomaron en cuenta los cambios de niveles para que a la hora de realizar los cálculos sean más precisos (**Ver anexos, juegos de planos de secciones transversales**). A continuación, se detallan los datos para generar las secciones transversales en Civil 3D 2014.

- Número de Carriles	2.
- Ancho de carril	3.80m.
- Ancho de Rodamiento	7.60 m.
- Ancho de Hombros	0.70 m.
- Ancho de Corona	9.00 m.
- Ancho de Cuneta	2.32m.
- Bombeo	3 %.

2.3.3 Altimetría.

También conocida como hipsometría, la altimetría abarca diversos procesos, metodologías y técnicas para la determinación y la representación de la altura de un punto, teniendo en cuenta cierto plano de referencia. De esta manera, la altimetría posibilita la representación del relieve.

- **Pendiente.**

La pendiente máxima que se presenta a lo largo del tramo en estudio es de 3.63 % y se encuentra entre los estacionamientos 50+340 – 50+425 y su pendiente mínima es de 0.08% y se localiza entre las estaciones 60+800 – 60+965.

Esta pendiente se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$m = \frac{\text{Elev. final} - \text{Elev. Inicial}}{DH} * 100\% \quad (\text{Ecuación No. 1})$$

Donde:

m= Pendiente

Elev. = elevación

DH= distancias Horizontal.

- **Establecimiento de BM'S.**

Se estableció como banco maestro (BM) ubicado en la cabecera este de la pista del aeropuerto de Bluefields a 8.26mts del inicio de la pista sobre la línea central girar 90 al lado derecho con una distancia de 25.62 mts, con sus respectivas elevaciones que son las siguientes:

Lat: 11°59'45.322 Long: 83°45'59.682 Alt. Elipsoidal: 18.618 m

- **Curvas de Nivel.**

Se determinaron las elevaciones por medio de los puntos proporcionado por la empresa de todo el tramo en estudio estos fueron procesados en el software de AutoCAD civil 3D 2014 generando así el plano topográfico de conjunto y los planos plantas perfil con sus respectivas secciones transversales.

2.2.4 Elaboración de planos.

A partir del estudio topográfico las coordenadas fueron utilizadas para la generar los planos finales de construcción en hojas de planta perfil donde se muestra la línea central los límites del derecho de vía, el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y la rasante del anteproyecto. **(Ver anexos, juegos de planos de Planta Perfil).**

La escala de las secciones transversales fueron 1:200 vertical y horizontal. Los planos de planta perfil fueron procesados a escala 1:2000, en el sentido horizontal y sentido vertical 1:200.

Al igual se presenta el reporte de curvas horizontales y verticales extraído del software Civil 3D 2014. **(Ver anexos, pág. II a la pág. XVIII).**

III. ESTUDIO DE TRÁNSITO.

3.1 Introducción.

El transporte terrestre por carreteras es y será en Nicaragua, el principal medio de locomoción de personas y mercancías, desde y hacia los distintos orígenes y destinos de la república y de Centroamérica, esta modalidad ha sido tradicionalmente utilizado en nuestro medio económico y aunque existen otros modos de traslado, como el acuático, el aéreo, cabe señalar que su desarrollo y elevados costos, como la rigidez, no les permiten competir con la dinámica y versatilidad del transporte por carreteras.

La información que se requiere para determinar el tránsito en una determinada vía, con el propósito del diseño de la estructura de pavimento, es su promedio diario y su discriminación por tipo de vehículo.

Es de suma importancia a la hora del diseño de la carretera contar con la información más precisa del tránsito sobre la misma, ya que, de lo contrario, con datos imprecisos, se obtendrían diseños inseguros o con un grado significativo de sobre diseño, que elevarían de gran manera los costos de construcción de la alternativa de pavimento que se haya seleccionado para ejecutar.

Desde el punto de vista de tránsito, se abordarán las siguientes investigaciones:

1. La cuantificación del Tráfico Promedio Anual (TPDA), para el año base y proyectarlo para la vida útil del Proyecto, a partir de las estadísticas del Anuario de Aforos 2014 del MTI.

En el estudio de tránsito se realizaron tres etapas para su correcta elaboración:

- Criterios e información utilizada en la elaboración del estudio.
- Metodología del Estudio.
- Datos recopilados para el análisis.
- Análisis de resultados obtenidos.

3.2 Criterio e información utilizada en la elaboración del estudio de tránsito.

El presente Estudio de Tránsito forma parte de los Estudios Técnicos elaborados por la División de Pre Inversión del MTI para gestionar el financiamiento para ejecutar la construcción de la Carretera Naciones Unidas - Bluefields, de 74.2 kilómetros de longitud.

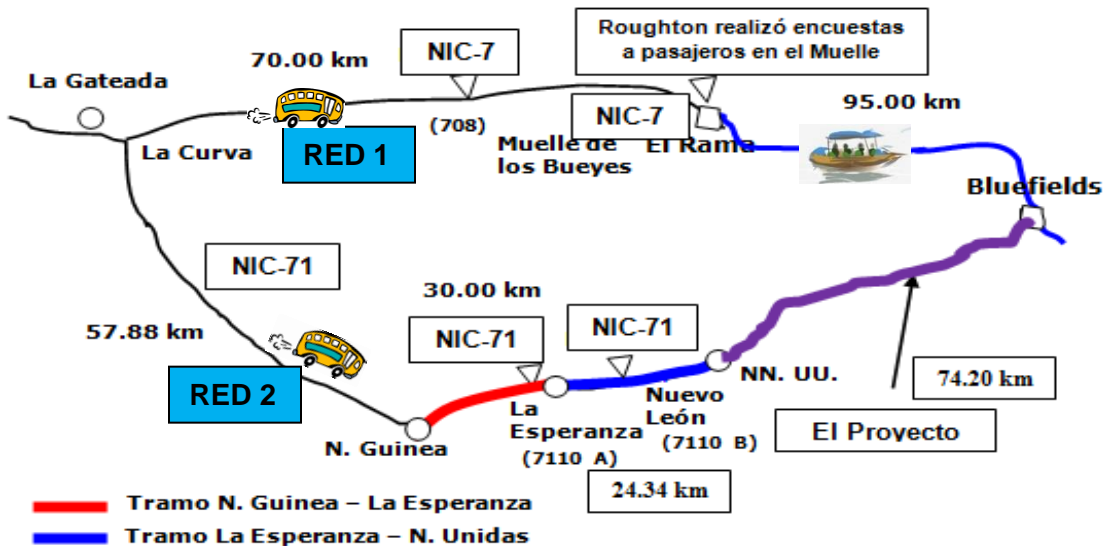
Se ha tomado como fuentes de información el Estudio de Factibilidad de la Carretera Nueva Guinea – Bluefields, Nicaragua; presentado en agosto del año 2005 por la Empresa Consultora Roughton International International, datos de tránsito plasmados en el Anuario de Tráfico 2014 publicado por la División de Administración Vial (DAV) del MTI, datos estadísticos recopilados de la Dirección General de Transporte Acuático (DGTA) Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), de la Empresa Portuaria Nacional (EPN), de la Empresa Administradora de Aeropuertos Internacionales (EAAI) y del Banco Central de Nicaragua (BCN).

Dado que actualmente lo que existe sobre el tramo es una trocha de difícil acceso incluso al viajar en bestia o a pie, principalmente en invierno, se procedió a realizar un análisis con el fin de determinar potenciales usuarios que viajan desde Bluefields hacia la región pacifico-central-norte del país o viceversa, y que actualmente hacen uso de la carretera hacia El Rama para luego viajar por vía fluvial hacia Bluefields y las comunidades aledañas.

Para esto se analizaron 2 redes, las cuales se presentan en el Mapa No. 1: Red bimodal.

- **Red 1:** La Curva – Muelle de los Bueyes – El Rama, por vía terrestre, y El Rama – Bluefields, por vía fluvial.
- **Red 2:** La Curva – Las Miradas – Nueva Guinea – La Esperanza – Naciones Unidas – Bluefields, todo por vía terrestre.

Mapa No.1- Red Bimodal



Fuente: Informe de transito Nueva Guinea – Bluefields.

Así mismo en conjunto con el análisis del transporte bimodal que ocurre actualmente, se analizaron datos de transporte aéreo entre Managua y Bluefields en términos de pasajeros y carga transportada.

Otros criterios a considerarse fueron los siguientes:

- Periodo de Diseño del proyecto 30 años.
- Periodo constructivo: Año 2015-2017. Fase de operación del proyecto: A partir del año 2018.

- El tránsito desviado se determina en base al análisis de las encuestas realizadas por Roughton International International aplicadas a los datos actuales que se manejan en el puerto de El Rama, asimismo se incluye análisis del TPDA de la red vial Las Curvas – Muelle de los Bueyes – El Rama. Se incluye análisis de pasajeros que viajan actualmente desde Managua a Bluefields por vía aérea.
- El Tránsito Generado fue determinado de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de la densidad poblacional de las comunidades insertas en el Análisis Institucional y Desarrollo AID del proyecto, en conjunto con resultados obtenidos de las encuestas O/D realizadas por Roughton International International. Así mismo se utilizó la metodología de zona testigo para cuantificar tránsito de vehículos que generalmente realizan viajes de carácter local.
- Las tasas de crecimiento del tránsito una vez entre en operación la carretera en estudio fue determinada en base al aumento histórico de la carga transportada entre El Rama y Bluefields, así como de la cantidad de pasajeros que viajan entre estos. Así mismo se utilizaron los antecedentes del tránsito del tramo Muelle de los Bueyes – El Rama y el crecimiento previsto del PIB de Nicaragua a mediano plazo.

A partir de estos datos se procedió a determinar el Tránsito Total que circularía por la carretera, durante el periodo de diseño establecido.

3.2.1 Clasificación de vehículos.

Para la clasificación de los vehículos, el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) ha designado la siguiente terminología para los vehículos que circulan a través de la infraestructura vial en el país **(Ver anexos, tabla No. 3, pág. XIX)**.

Vehículos de pasajeros. Son destinados al transporte público de pasajeros de dos, cuatro, seis y más ruedas, incluyen microbuses pequeños, microbuses medianos, buses medianos y grandes.

Vehículos de carga. Son aquellos vehículos que se utilizan para transporte de mercancías sea esta carga seca o líquida.

Equipo pesado. Son los vehículos de construcción y los agrícolas.

Tracción animal. Son animales que son utilizados para jalar carretas, transportar cargas y gente, acarrear agua y cosechas, etc.

Otros. Son remolques o tráiler pequeño halado por cualquier automotor o por tracción personas.

3.2.2 Clasificación del tipo de vehículo por la disposición de sus ejes.

La diversidad en las características de los vehículos que circulan sobre un pavimento durante su vida de diseño, trae como consecuencia un amplio espectro de ejes de cargas, con diferentes espacios entre llantas y distintas presiones de inflado, lo que origina una amplia gama de esfuerzos y deformaciones aplicados a un determinado punto de la estructura.

Se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de sus ejes de la forma que se muestra en el Diagrama de Cargas Permisibles en este caso vigente **(Ver anexo, tabla No. 4, pág. XX)**.

3.3 Metodología del estudio.

Con el objetivo de determinar el tránsito total que circulara por la carretera Naciones Unidas – Bluefields, durante la vida útil de diseño del proyecto, se utilizaron varias fuentes de información y procedimientos metodológicos.

Con esta información se procederá a analizar posibles escenarios del comportamiento del tránsito una vez la carretera entre en operación dado que actualmente no existe tránsito normal sobre la misma.

Se analizará información de transporte de pasajeros y carga por los modos de transporte actuales: marítimo y aéreo. Asimismo, se calcularán tiempos de viaje de los usuarios, así como los costos en que incurren en la situación actual versus los mismos datos una vez el proyecto fuese ejecutado para poder estimar un potencial tránsito que probablemente se desviaría hacia la carretera, por ofrecer menor tiempo de viaje, mínimo costo de transportación, o bien una combinación de ambas.

Roughton International en su estudio realizó levantamientos de información en campo, parte del cual es retomado en el presente estudio. En este sentido se han tomado datos de encuestas Origen y Destino (O/D) que se efectuaron en dos puntos de interés para el proyecto, en el poblado de La Esperanza ubicado a 13 kilómetros antes de Naciones Unidas (desde Nueva Guinea hacia Naciones Unidas) y en la carretera que es la alternativa actual de transportación desde y hacia Bluefields, La Curva – Muelle de los Bueyes – El Rama, el lugar donde se realizaron las encuestas fue Muelle de Los Bueyes.

3.4 Recopilación de datos.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de las encuestas O/D de acuerdo al estudio antes descrito.

Tabla No. 5 - Resultados de las encuestas O/D.

N° Zona	Zonas de Tránsito				
	Denominación	Origen	%	Destino	%
1	NUEVA GUINEA	133	45.70%	51	38.10%
2	LA ESPERANZA	65	22.30%	39	29.10%
3	NN UU	60	20.60%	34	25.40%
4	SAN FCO.	0	0.00%	1	0.70%
5	BLUEFIELDS	2	0.70%	0	0.00%
6	M BUEYES	2	0.70%	0	0.00%
7	CHONTALES	8	2.70%	2	1.50%
8	SAN JUAN	4	1.40%	1	0.70%
9	ESTELI	2	0.70%	0	0.00%
10	MANAGUA	15	5.20%	5	3.70%
11	RIVAS	0	0.00%	1	0.70%
TOTAL		291	100.00%	134	100.00%

Fuente: Encuesta Origen y Destino – Roughton International 2010.

De acuerdo a los resultados presentados se puede observar que el tránsito entre Nueva Guinea y Naciones Unidas constituye casi la totalidad de los viajes. Un 88.6% de los viajes se origina en estos lugares y un 92.6% de los viajes tiene como destino uno de estos sitios.

Para las comunidades de San Francisco y Bluefields los datos son prácticamente nulos, 2 viajes como origen y uno como destino. Un factor determinante para este comportamiento es lo intransitable de estos tramos de carretera (Naciones Unidas – San Francisco – Bluefields), por lo que su accesibilidad es remota, siendo actualmente este tramo no atractivo para los usuarios.

3.4.1 Tránsito Normal.

Dado que sobre la ruta del proyecto existe una trocha por donde no existe tránsito vehicular actualmente, no existe tránsito normal.

3.4.2 Tránsito Generado.

De acuerdo a la densidad de los nodos poblacionales de un país dependerá la necesidad de viajes de estas personas. Es lógico que entre más personas habiten en determinada ciudad o poblado hay más requerimientos de productos, bienes o servicios. Es esta lógica la que acompaña la construcción de una carretera nueva.

En el escenario de que no hay carretera los viajes de las personas son muy escasos, tratan de obtener los mayores y mejores resultados para suplir sus necesidades en un viaje, o simplemente viajan muy esporádicamente. Sin embargo, la situación una vez la carretera entre en operación es muy diferente. Hay oportunidad de poder suplir necesidades básicas y no básicas, entrando en juego factores relacionados a viajes con relación a la producción, educación, salud, ocio, etc.

En este sentido es importante conocer la población total que habita dentro del AID del proyecto, así como determinar variables en zonas testigos (similares al proyecto) en relación a índices de ocupación de los vehículos, pasajeros que se movilizan, factor de viaje por habitante, etc.

3.4.3 Tránsito Desviado.

El Tránsito desviado es aquel volumen de tránsito que actualmente utiliza rutas alternas al proyecto para moverse y que se integrará al mismo por representar una mejor alternativa de viaje para los usuarios. Esto quiere decir que el potencial tránsito desviado hacia el proyecto actualmente forma parte del tránsito normal de rutas alternas.

Dentro de los principales factores que influyen en la decisión de los usuarios para elegir una ruta determinada de viaje están la longitud a recorrer, tiempos de viaje y el estado de la vía. Existen también otros factores importantes tales como la congestión vehicular, seguridad vial, paso por puntos con alta densidad poblacional, etc.

Para determinar correctamente y de manera precisa el posible tránsito atraído hacia un proyecto se deben analizar los principales nodos poblacionales, productivos, comerciales, etc., que estén en el área de influencia del proyecto, previendo que vías podrían verse influenciadas por el mejoramiento de la carretera, y realizar encuestas O/D a los usuarios de las rutas alternas al proyecto con el fin de determinar el potencial deseo de cambio de ruta.

3.4.4 Tránsito Total.

El tránsito total que transitará sobre la carretera lo constituye la suma de los diferentes tránsitos que aplican para el proyecto en particular. En el caso de que el proyecto sea construcción nueva es lógico que no habrá tránsito normal, pero si puede haber otros tipos tales como tránsito generado, desviado o atraído, desarrollado.

3.4.5 Análisis de Variables.

Hay diversos factores que influyen en la demanda de tránsito en las carreteras. Entre estos tenemos Factores Económicos, como por ejemplo el Producto Interno Bruto del país (PIB) y el Nivel de Ingreso de los habitantes. Asimismo, factores demográficos como población y tamaño de hogares; factores geográficos como ordenamiento territorial y lugares de trabajo. Otro factor importante es el parque vehicular del país, que constituyen los vehículos que hacen uso de las distintas carreteras del país. En el presente estudio se ha tomado en cuenta variables como el Producto Interno Bruto (PIB) y la población del área de influencia del proyecto, así como el parque vehicular del país.

3.4.5.1 Serie histórica del PIB (Periodo 2014 – 2017).

Se realizó un análisis de la variable PIB, dado que esta tiene una estrecha relación con el incremento del parque automotor y del tránsito por las diferentes carreteras del país. Esta relación se basa dado que la variable PIB refleja el crecimiento económico que experimenta el país, lo cual es producto de una mayor producción, por lo que se traduce en mayor cantidad de carga a transportar, es decir, se generan más viajes de los vehículos ya existentes y se incorporan nuevos vehículos al tránsito actual.

El crecimiento del PIB también se puede traducir en mayor poder adquisitivo de las personas, ya que hay más riquezas en el país, por lo que el parque automotor, principalmente vehículos livianos se incrementa.

En la Tabla No. 6 se muestran los diferentes datos del PIB en millones de dólares durante el periodo 2014 – 2017.

Tabla No. 6- Producto Interno Bruto (PIB) de Nicaragua; 2014 – 2017.

AÑO	2014	2015	2016	2017
PIB (M-US\$)	1916.8	2036.4	2098.4	2028.2

Fuente: Informe Anual, 2017. Banco Central de Nicaragua pág. 11.

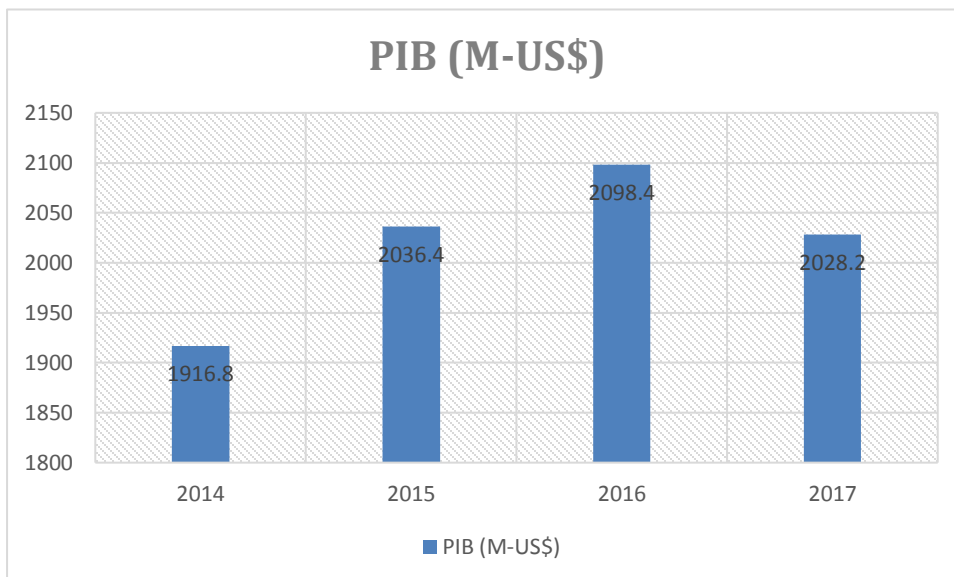
De acuerdo a estos datos se procedió a calcular la tasa de crecimiento interanual, y la tasa de crecimiento promedio del periodo 2014-2017. En la Tabla No.7 y Gráfico No. 1, se observan los resultados.

Tabla No. 7- Tasa de Crecimiento Promedio del PIB periodo 2014 - 2017

PERIODO	2014	2015	2016	2017
Tasa de crecimiento	4.8	4.8	4.6	4.7
Tasa de crecimiento promedio 2014-2017	$TC = \frac{4.8+4.8+4.6+4.7}{4} = 4.7\%$			

Fuente: Informe Anual 2017 Banco Central de Nicaragua pág. 11.

Gráfico No.1- Producto Interno Bruto (PIB) de Nicaragua; 2014 - 2017



Fuente: Informe Anual 2017 Banco Central de Nicaragua

3.4.5.2 Análisis del parque vehicular del país, periodo 2010-2017.

En el presente estudio se analizó también el comportamiento que ha venido experimentando el parque vehicular en el país. En este contexto se presentan datos en la siguiente tabla de la Dirección de Seguridad de Tránsito Nacional de la Policía Nacional desde el año 2010 al año 2017.

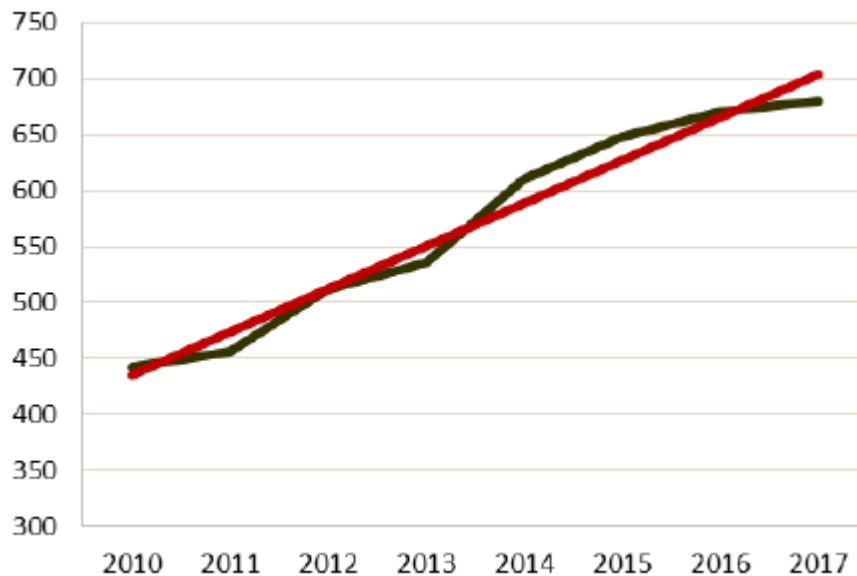
Tabla No 8- Estadísticas del parque vehicular, periodo 2010-2017.

Tipología	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Autobús	6,739	6,904	7,256	7,404	8,443	7,076	7,210	7,248
Automóviles	116,943	112,373	119,446	125,200	142,741	134,691	138,684	139,699
Cabezal	7,649	6,816	7,278	7,636	8,709	8,469	8,649	8,752
Camiones	30,438	32,532	35,443	37,001	42,181	41,470	43,621	43,428
Camioneta	136,756	131,439	140,097	141,751	161,610	151,986	156,553	155,926
Furgoneta	4,296	3,871	3,998	4,138	4,717	4,551	4,613	4,653
Microbuses	8,457	9,008	9,683	10,106	11,521	10,785	11,083	11,068
Montacargas						99	107	99
Motos	112,632	134,456	169,055	181,781	207,246	266,589	276,625	286,680
Rastra/Remolque	5,729	5,857	6,221	6,710	7,650	7,900	9,203	8,202
Retroexc.								4
Tractor	2,416	2,235	2,372	2,390	2,725	2,866	3,177	3,003
Varu	9,589	9,583	9,955	9,950	11,343	9,653	9,893	9,730
Aplanadoras		484	827	864	985	800	702	767
Total	441,644	455,558	511,631	534,931	609,871	646,935	670,120	679,259

Fuente: Anuario Estadístico de Transporte 2017 Pág. 22

De acuerdo a estas cifras se puede observar el comportamiento ascendente que ha experimentado en ese periodo de 7 años el parque vehicular en Nicaragua, casi duplicándose. En el Gráfico siguiente se plasma este crecimiento.

Gráfico No. 2- Parque Vehicular de Nicaragua; 2010 – 2017



Fuente: Anuario Estadístico de Transporte 2017 Pág. 22

De acuerdo a estos datos se procedió a calcular la tasa de crecimiento interanual, y la tasa de crecimiento promedio del periodo 2010-2017. En la Tabla No. 9 se observan los resultados.

Tabla No. 9-Tasa de Crecimiento Promedio del Parque Vehicular periodo 2014 – 2017.

PERIODO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tasa de crecimiento	4.4	4.5	5.1	5.3	6.1	6.5	6.7	6.8
Tasa de crecimiento promedio 2014-2017	$TC = \frac{4.4+4.5+5.1+5.3+6.1+6.7+6.8}{8} = 4.5\%$							

Fuente: Dirección de Seguridad de Tránsito Nacional, Policía Nacional, pág.22.

3.4.6. Análisis de los resultados obtenidos.

3.4.6.1 Tránsito Generado.

Dentro del área de influencia directa del proyecto una vez que este entre en operación puede generarse tránsito como consecuencia de contar con una mejor accesibilidad en zonas que actualmente cuentan con caminos de trocha inaccesibles o muy poco conservados.

Para poder cuantificar este tránsito generado se utilizó como referencia la generación de viajes que en promedio realiza cada persona en zonas próximas al proyecto, como es el tramo Nueva Guinea – Naciones Unidas. Se tomó en cuenta los poblados identificados dentro del área de influencia directa del estudio realizado por Roughton International , considerando la información referente a población, la cual está identificada en los poblados que se encuentran distribuidos en unidades censales agropecuarias en que está dividido el mapa y la información estadística que lo acompaña; esta información fue utilizada para establecer el tránsito generado para vehículos de pasajeros como los autos, jeep, camionetas y buses.

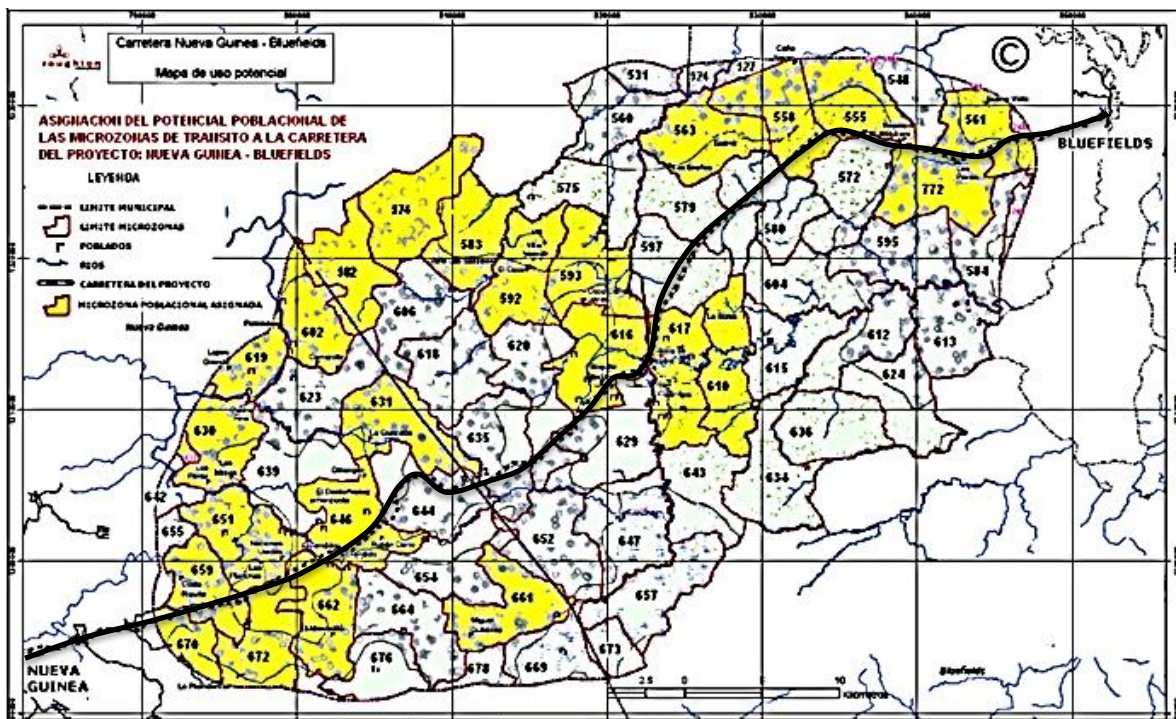
Tabla No. 10- Tasa de crecimiento poblacional según el INIDE.

Municipio	Tasas de Crecimiento		
	2005-2010	2010-2015	2015-2020
Bluefields	0.70%	0.30%	0.20%
Rama	0.70%	0.40%	0.20%
Nueva Guinea	0.70%	0.40%	0.20%

Fuente: Instituto de Información de Desarrollo (INIDE).

A continuación, se presenta el mapa de uso potencial de las micro zonas de las cuales se obtienen la información de la cantidad de viviendas y población a partir del 2005.

Mapa No. 2- Mapa de uso potencial poblacional de las micro zonas de tránsito a la carretera Nueva Guinea – Bluefields.



Fuente: Informe de tráfico Nueva Guinea – Bluefields.

Para establecer el TPDA de los viajes vehiculares generados se consideró a la actual población que se encuentra ubicada en el área de influencia directa de la carretera, entre Naciones Unidas – San Francisco y San Francisco – Bluefields que se definió en el mapa antes mencionado, así como también el resultado de la población actual del área de influencia. **(Ver anexo, Tabla No 11, pág. XXI)**

Un factor importante está referido al promedio de viajes por habitante y se obtiene a partir de la población actualmente servida que se ubica en los poblados hasta donde actualmente llegan los servicios de transporte público en el área del proyecto, esto va desde Nueva Guinea hasta Naciones Unidas, al promedio y total de pasajeros que actualmente se movilizan en vehículos motorizados en el área del proyecto, todos ellos según tipo de vehículo.

Teniendo en consideración las variables resultantes en el estudio de Roughton International (factores de viaje para Nueva Guinea – Naciones Unidas, factor de distribución de viajes vehiculares, índices de ocupación promedio y factor de incremento de viajes con proyecto) estas variables son aplicadas a los datos proyectados de población para el año de inicio del proyecto (2018).

Para proyectar este tránsito durante el periodo de diseño del proyecto se utilizó un promedio de la tasa de crecimiento de la población de estos municipios y el crecimiento del PIB, dado que evidentemente hay una relación directamente proporcional entre la situación económica de la población y su transportación, ya sea por trabajo, estudio, ocio, etcétera. Las tasas futuras de crecimiento de la población son del 0.20%, mientras que el PIB se prevé un crecimiento promedio a mediano plazo del 4.5%, lo que resulta un promedio del 2.35% de crecimiento entre ambas variables.

Los datos recopilados del estudio de Roughton International y que son retomados en este análisis se muestran a continuación.

Tabla No. 12- Factores de distribución de viajes.

Factores	% De distribución	Tipo de Vehículo
Factor de distribución de viajes vehiculares	0.25	
factor de viaje/hab. del tramo Nueva Guinea - Naciones Unidas	0.006	Liviano
	0.052	Bus
factor de incremento viajes c/p	1.7	
Promedios pasajeros/veh (utilización promedio)	2.4	Liviano
	30	Bus

Fuente: Informe de tráfico Nueva Guinea – Bluefields.

El factor de distribución de viaje considera que un 25% del total de la población dentro del Área de Influencia Directa (AID) del proyecto utilizará para transportarse una vez este entre en operación.

A esta población potencial de usuario se le aplicó el factor de distribución de viajes ya sea en automóvil (vehículos livianos) o buses, resultante de las encuestas O/D realizadas por Roughton International del tramo inmediatamente anterior al proyecto, es decir Nueva Guinea – Naciones Unidas. A este resultado se le aplicó el factor de incremento de viajes en la situación Con Proyecto, el cual fue considerado de 1.7. En este mismo apartado en el Estudio de Roughton International se explica que este factor para zonas semiurbanas varía entre 1.7 – 1.8 viajes por habitante.

Finalmente se aplica el promedio de utilización de personas por vehículo tanto para vehículos livianos como para buses. El resultado de los vehículos livianos fue dividido entre los 3 vehículos livianos representativos: auto, jeep y camioneta. Los porcentajes a utilizar para cada uno de ellos se tomaron en base al TPDA de estos tres tipos de vehículos presentes en el tramo Nueva Guinea – Naciones Unidas, tramo continuo al analizado y que se mejoró con pavimento de adoquines, brindando así una idea más aterrizada de la representatividad de los vehículos en

la zona. De acuerdo a datos del anuario de Trafico 2014 del MTI del total de estos tres tipos de vehículos el automóvil representa un 23.2%, el jeep un 8.4% y la camioneta un 68.5%.

Tabla No. 13 - TPDA de Nueva Guinea – Naciones Unidas 2014.

Tipo	Autos	Jeep	Camionetas	Total
vpd	47	17	139	203
%	23.2%	8.4%	68.5%	100.0%

Fuente: Anuario de Aforo de tráfico 2017

Tabla No. 14- TPDA Nueva Guinea- Naciones Unidas.

N°	CODIGO NIC	EST.	TIPO	NOMBRE DEL TRAMO	Depart.	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5+ Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e	V.A.	V.C.	Otros	TPDA
324	NIC-71	7110A	ECD	Nueva Guinea - La Esperanza	RAAS	2014	319	35	11	80		1	26	31	52	2		2						559
						2010	80	4	2	25	2		12	8	30							1		174
						2008	103	6	3	18		4	21	7	19									182
						2004	21	10	2	28		2	44	21	21	1						1	2	153
						2001	24	6	5	21		3	40	20	27									145
				EMC: 1802																				
				Tasa Crecimiento:		7.38%	2017	395	43	14	89		1	32	38	64	2		2					692
325	NIC-71	7110B	ECD	La Esperanza - Naciones Unidas	RAAS	2014	172	12	6	59			19	25	37	5		2						337
						2008	57	5	4	13		10	12	14	34	1						1	1	152
						2004	18	11	4	18		5	21	12	11									98
						2001	18	6	4	19		3	20	11	15									95
				EMC: 300																				
				Tasa Crecimiento:		4.89%	2017	198	14	7	66		22	29	43	6		2						389

Fuente: Anuario de aforo de tráfico 2017, MTI, pág. 214

Los resultados del tránsito generado se mostrarán en la tabla siguiente: **(Ver Anexos, tabla No. 15, pág. XXII).**

3.4.6.2 Tránsito Desviado.

Realizando un análisis del área donde se ubica el tramo de carretera, y ya que los modos actuales de transporte permiten conectar Bluefields con el resto del país únicamente a través de medios aéreos o acuáticos, los cuales resultan en general más costosos que el viaje por carretera, es un hecho que al estar construida la carretera un porcentaje muy significativo de los actuales usuarios de estas rutas y modos de transporte preferirían viajar a través de la carretera.

Sin Embargo, hay otros factores muy importantes que pueden influir para los usuarios puedan tomar la decisión de preferir esta nueva forma de viaje como su alternativa, entre estos podemos mencionar:

- **Tiempo de viaje.**
 - **Para pasajero.**

Como es de conocimiento sabemos que para viajar por avión el usuario debe de llegar como mínimo al aeropuerto alrededor de 2 horas antes de vuelo, sumado a esto el tiempo que le toma al usuario llegar hasta el aeropuerto estamos hablando aproximadamente 3 horas promedio antes de emprender viaje, a esto se le suma un periodo de 45 minutos aproximadamente el viaje en avión hasta Bluefields da un total de 3.75 horas.

En relación al viaje bimodal (terrestre o marítimo) el usuario debe viajar vía terrestre hasta el Rama y ahí esperar turno para las embarcaciones que se dirigen a Bluefields. Tomando como referencia la Red 1 (La curva- Muelle de los Bueyes- Rama) para los usuarios de transporte el itinerario es el siguiente:

El usuario debe tomar un bus que cubra la ruta La Curva – El Rama, con una distancia de 70 km cuyo recorrido de un autobús con una velocidad promedio de 50 km/h dura 1.4 horas aproximadamente. Al llegar al Rama este debe abordar una panga que salen hacia Bluefields este tiempo de viaje es de 2 hora aproximadamente con tiempo promedio de embarque y desembarque de 2 horas con un total de 5.4 horas viajes.

Cuando la carretera esté en funcionamiento, tendría desde La Curva hasta Bluefields una longitud de 156.42 km la cual un vehículo a una velocidad promedio de 50 km/h el tiempo estimado de viaje es de 3.13 con un ahorro de viaje de 2.27 hora viajes.

- **Para Carga.**

Para transportar carga por avión se debe esperar el descargue y la entrega aproximadamente 1 hora más de viaje que el de pasajero. Esto nos da 4.75 horas viaje.

En el caso de tener carga por barco se debe esperar la desestiba de la carga esto nos aumenta el tiempo de viaje a 4 horas aproximadamente, mas 2 horas de tramites de administración, es decir se nos hace 6 horas más del tiempo regular de un pasajero, para un total de 11.4 horas.

A estar en funcionamiento la carretera se considera que los vehículos de carga transitarían a un promedio de 30 km/h, tomando en cuenta paradas varias, revestimiento de combustible, entre otras, dando un tiempo de viaje total de 5.21 horas con un ahorro de viaje 6.19 horas.

3.4.6.3 Resultados Encuestas O/D Estudio de Roughton International (Transporte Bimodal, Ruta La Curva- Muelle de los Bueyes-El Rama-Bluefields).

Se realizó la encuesta de O/D a usuarios de los vehículos de pasajeros, livianos y de carga. Así mismo esta empresa consultora realizo encuesta a los usuarios del transporte fluvial, estas encuestas se realizaron específicamente en Muelle de los Bueyes, con el objetivo de medir el comportamiento de los usuarios actuales de la Red 1, que viajan actualmente hasta Bluefields.

De acuerdo a las encuestas realizadas por Roughton International a los usuarios de los medios fluviales el 86.7% de las personas encuestadas tenían interés en el

proyecto de la carretera hacia Bluefields y respondieron que viajarían más frecuentemente si la carretera estuviera construida.

En este sentido es importante señalar que un porcentaje muy alto de estos usuarios que actualmente utilizan el transporte bimodal sobre la Red 1 (La Curva – Muelle de los Bueyes – El Rama – Bluefields) se integrarían a la carretera Naciones Unidas – Bluefields una vez construida.

La tabla siguiente presenta un resumen con los resultados obtenidos de las encuestas a los usuarios de los medios fluviales

Tabla No. 16- Encuesta de Viaje.

¿Viajaría más frecuente si hubiera carretera?	SI	NO	TOTAL, ENCUESTADOS
	156	24	180
	86.7%	13.3%	100%

Fuente: Estudio de Factibilidad de la Carretera Nueva Guinea – Bluefields, Nicaragua, Roughton International, 2010.

3.4.6.4 Vehículos Livianos, de Pasajeros y de Carga.

Para el caso de los vehículos livianos, de Pasajeros y de Carga, Roughton International también realizó encuestas para poder prever que porcentaje de los usuarios de estos vehículos preferirían transitar sobre la nueva carretera en lugar de la ruta actual.

En base a los resultados de la siguiente tabla se presenta el tipo de vehículo y el porcentaje que utilizaría la nueva carretera.

Tabla No. 17- Tipos de Vehículos a usarse en la nueva carretera.

Tipo de Vehículo	% que utilizaría la nueva carretera
Auto	3.57%
Camioneta	6.8%
Bus	21.54%
C3	9.21%
Camiones Articulado	34.09%

Fuente: Estudio de Factibilidad de la Carretera Nueva Guinea – Bluefields, Nicaragua, Roughton International, 2010.

En el estudio de Roughton International no fueron considerados los tipos de vehículos Motos y de los C2 Livianos y C2. Las motos son más condicionadas a viajes cortos, que probablemente sean de habitantes ubicados dentro del área de influencia directa de la carretera. Así mismo los C2 Livianos y C2 son vehículos que transportan producción agrícola más de carácter local y distribuyen alimentos y bienes varios. Estos tipos de vehículos deberán ser analizados con un enfoque diferente.

La información de tránsito (TPDA) y características de la carretera Muelle de los Bueyes – El Rama fue proporcionada por la División de Administración Vial (DAV) del MTI. **(Ver Anexos Tabla No.18 Pág. XXIII).**

Las tasas de crecimiento inter-periodos que ha experimentado el tramo Muelle de los Bueyes – El Rama se muestran en la siguiente tabla.

Tabla No 19- Periodos y porcentajes de crecimiento

PERIODO	% DE CRECIMIENTO
1998-2001	6.1
2001-2003	21.3
2003-2005	18.2
2005-2011	2.2
2011-2013	5.4
Tasa de crecimiento 1998-2013	7.9
tasa de crecimiento 2003-2013	5.9
tasa de crecimiento 2014-2018	4.8

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en consideración la longitud del proyecto, 74.2 kilómetros, el periodo de construcción abarcaría un estimado de 3 años, desde el año 2015 al 2017. Midiendo los porcentajes de crecimiento del tramo de los últimos 10 años, desde 2003-2013, el crecimiento fue de un 5.9%, a partir del 2014 al 2018 la tasa de crecimiento fue del 4.8% por lo tanto, se considera más adecuada para proyectar el tránsito al año de inicio del proyecto. Teniendo en cuenta esta tasa de crecimiento del TPDA se ha proyectado al año 2018, que es cuando se prevé que la carretera Naciones Unidas – Bluefields este en operación. Los resultados se mostrarán en la siguiente tabla. **(Ver Anexo, Tabla No. 20, pág. XXIII).**

Tomando como referencia los datos resultantes para potencial tránsito desviado por tipo de vehículo provenientes de las encuestas O/D realizadas por Roughton International , se aplicaron estos porcentajes al TPDA calculado para el año 2018. Determinando así la cantidad de vehículos que se desviaría de la ruta actual de viaje hacia la carretera Naciones Unidas – Bluefields una vez construida y en operación en el año 2018. **(Ver Anexo, Tabla No. 21, pág. XXIV)**

Para determinar las tasas de crecimiento que servirán para proyectar este tránsito durante la vida útil del proyecto se han tomado en consideración la tasa de crecimiento histórica del tránsito en el tramo Muelle de los Bueyes – El Rama, que

es la ruta actual de transporte de los usuarios, así como el crecimiento esperado del PIB nacional, el cual es un indicador primario y de mucha importancia para medir la transportación tanto de la población como de la producción a nivel nacional.

Tomando en cuenta el crecimiento de los últimos 10 años del tránsito en el tramo Muelle de los Bueyes – El Rama (5.9%) a partir del 2014 al 2018 se tomó en cuenta la tasa de crecimiento del 4.8%, así como la proyección de crecimiento del PIB a mediano plazo (4.5%), se ha considerado una tasa de crecimiento de este tránsito desviado de un 5.07%. Los resultados se presentan en la siguiente (**Ver Anexo, Tabla No. 22, pág. XXIV**).

3.4.6.5 Tránsito desviado (medio aéreo).

Por medios aéreos se trasladaron entre Managua y Bluefields y viceversa un total de 36,538 pasajeros durante el año 2013, de acuerdo a cifras brindadas por la Oficina de Estadísticas de la División General de Planificación del MTI. Esta cifra da un promedio diario anual de 101 personas aproximadamente.

Dado que no existe carretera que conecte Bluefields con las demás regiones del país, así como lo dilatado del viaje Bimodal actual (terrestre y marítimo), la opción de viaje por avión es muy determinante en términos de ahorro de tiempo, mas no en términos de costos de viaje.

En base a las variables analizadas y sus resultados se ha estimado para efectos del estudio que un 50% de los usuarios actuales que viajan por avión utilizarían la carretera una vez esta entre en operación. Los pasajeros serán distribuidos únicamente para los tipos de vehículos livianos (auto, jeep y camioneta) en porcentajes equitativos, con una tasa de crecimiento promedio de 2.6%, tomando en cuenta el comportamiento global de viajeros entre los años 2010 y 2013 de acuerdo a cifras de la Oficina de Estadísticas de la DGP del MTI, así como el crecimiento económico previsto para el país a mediano plazo, que ronda entre el

4 y el 5% de crecimiento del PIB. Los resultados se muestran en la tabla siguiente: **(Ver Anexo, tabla No. 23, Pág. XXV).**

En la siguiente tabla se muestra el resultado total del tránsito desviado. **(Ver Anexo, Tabla No.24, pág. XXVI).**

3.4.6.6 Tránsito de Motos, C2 Livianos y C2.

En el análisis anterior no fueron incorporados los tipos de vehículo motocicleta, C2 Liviano y C2, ya que no hay datos de dichos tipos de vehículos en las encuestas O/D por las mismas características que estos vehículos realizan viajes mayormente de carácter local no regional. Así mismo, no se sabe a ciencia cierta qué porcentaje de la población podría decidir adquirir una motocicleta al momento que esté construida la carretera, o bien cuantas pulperías o distribuidoras de bienes varios se encuentran sobre el tramo dado que los tipos de vehículos C2 Liviano y C2 son utilizados frecuentemente para distribución de mercancías, bienes varios y producción agrícola local, en la siguiente tabla se presenta la TPDA sin estos tipos de vehículos. **(Ver Anexo, Tabla No. 25, pág. XXVII).**

En el caso de las motocicletas, la realidad del país nos indica claramente que estas constituyen un medio de transporte que se encuentra en auge, principalmente por la economía de combustible que implican, aunado a que la mayoría de la población cuenta con escasos recursos económicos, más en la zona donde se ubica el proyecto. De acuerdo a estadísticas de Transito Nacional de la Policía Nacional al año 2013, en el país circulan aproximadamente 200,000 motocicletas, y diariamente se inscriben en promedio 150 motocicletas más, alrededor de 4,000 motocicletas mensualmente. Obviamente esta cantidad de motocicletas es muy importante en el parque vehicular por lo que es necesario tomar en cuenta este tipo de vehículo a la hora de realizar el análisis de este proyecto.

Por tanto, para poder cuantificar lo más realista posible la cantidad que se prevé se generarán de estos tipos de vehículos se ha utilizado la metodología de ubicar una zona testigo, con características similares a la carretera en estudio, con el fin de determinar si existe un patrón consistente en la cantidad de estos tipos de vehículos respecto al TPDA total de estos tramos. En este caso se analizaron por separado las motocicletas y luego los C2L y los C2. Para verificar si existe una relación confiable entre dichas variables se hizo uso de del modelo estadístico de Regresión Lineal de los mínimos cuadrados, donde la correlación entre las variables será comprobada mediante el grado de relación que define el índice de correlación R^2 , al cumplir la condición $R^2 \geq 0.80$, si se cumple esta condición; entonces se considera que existe correlación y con la generación de la ecuación de correlación, se utiliza el coeficiente de la ecuación de la recta $Y = ax + b$; donde “a” corresponde a la pendiente de la recta, que a su vez es la elasticidad de la demanda.

La carretera que se ha utilizado en este análisis es Siuna – Puerto Cabezas, la cual constituye actualmente la única carretera que conecta el Pacífico con el Atlántico, una vez se ejecute el proyecto Naciones Unidas – Bluefields será la segunda carretera que cumple este propósito. Además de que conecta el Pacífico con el Atlántico se ha utilizado esta carretera dado que tienen las mismas características de zonas semi rurales, y cuentan con potencial productivo; además de que ambas cuentan con un Puerto (El Bluff y Puerto Cabezas) para realizar esta correlación se utilizó la TPDA del 2005 y la del 2014.

Los tramos estudiados y los datos más actuales de TPDA con que se cuenta se mostraran en la tabla siguiente:

Tabla No.26- TPDA de los tramos estudiados.

No. De Tramos	NOMBRE DEL TRAMO	Año	Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus< 15 pas.	MnBus 15-30s.	Bus	Liv 2- 5Ton	C2 5+Ton	C3	Tx- Sx<=4e	Tx- Sx<=5e	TPDA
TRAMO 1	Siuna-Emp Alamikamba	2014	194	168	23	143	1	0	34	56	88	16	0	23	746
TRAMO 2	Emp. Alamikamba - Rosita	2005	109	1	9	34	0	8	11	5	12	14	0	2	205
TRAMO 3	Rosita- Rio wawa	2005	7	3	7	21	0	0	10	10	5	17	0	8	88
TRAMO 4	Rio Wawa - Emp. Waspam	2005	3	4	6	21	0	0	9	3	7	18	0	7	78
TRAMO 5	Emp. - Pto. Cabezas	2005	5	7	7	33	0	1	19	7	12	18	1	3	113

Fuente: Anuario de aforo de tráfico 2014, MTI

Motocicletas

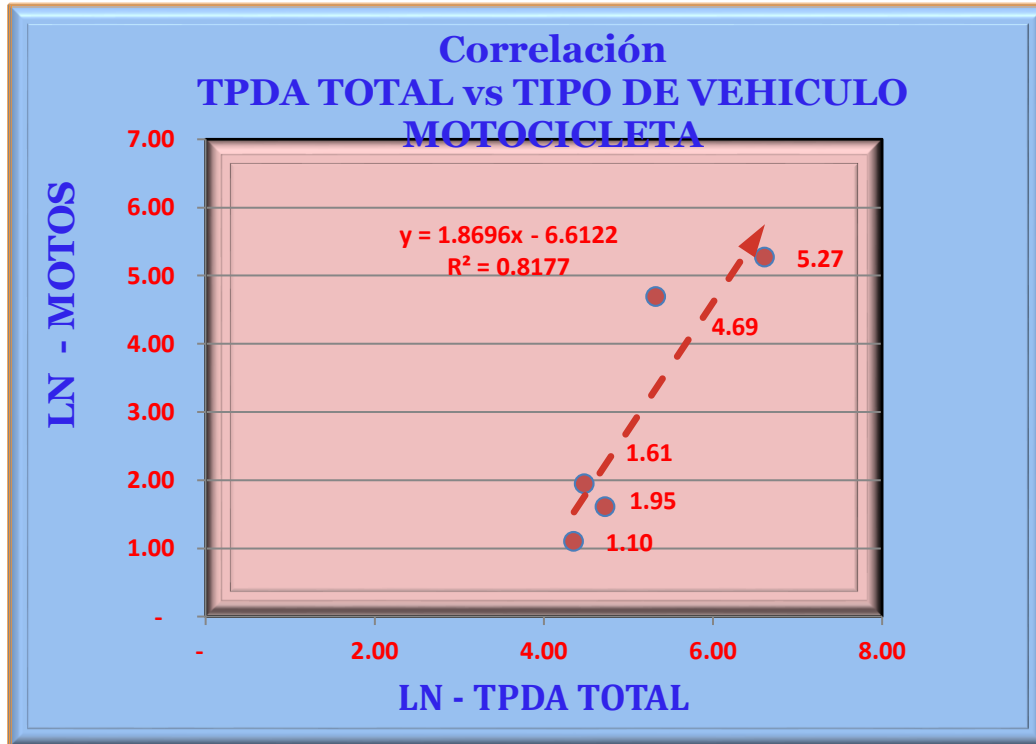
Al realizar los cálculos correspondientes de la correlación los resultados son los mostrados en la siguiente tabla, así como su respectivo gráfico.

Tabla No. 27- Cálculos de la correlación para Motocicletas.

Variable	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
TPDA TOTAL	746.0	205.0	88.0	78.0	113.0
MOTOS	194.0	109.0	7.0	3.0	5.0
LN TPDA TOTAL	6.61	5.32	4.48	4.36	4.73
LN MOTOS	5.27	4.69	1.95	1.10	1.61
Tasa de correlación	26.01%	53.17%	7.95%	3.85%	4.42%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico No 3- Correlación Tipo de vehículo motocicleta.



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados obtenidos hay una correlación muy buena entre las variables TPDA Total y TPDA de motocicletas con un $R^2 = 0.8177$. Por tanto, se utilizará para nuestro estudio el promedio de los porcentajes que constituyen las motos con respecto al TPDA de los tramos de la zona testigo. En este sentido las motos representan en promedio un 19.08% del TPDA total. En este mismo porcentaje se incluirán motos al tramo Naciones Unidas – Bluefields.

Los resultados se presentan en la tabla siguiente. **(Ver Anexo, Tabla No. 28, pág. XXVIII).**

C2 Livianos y C2

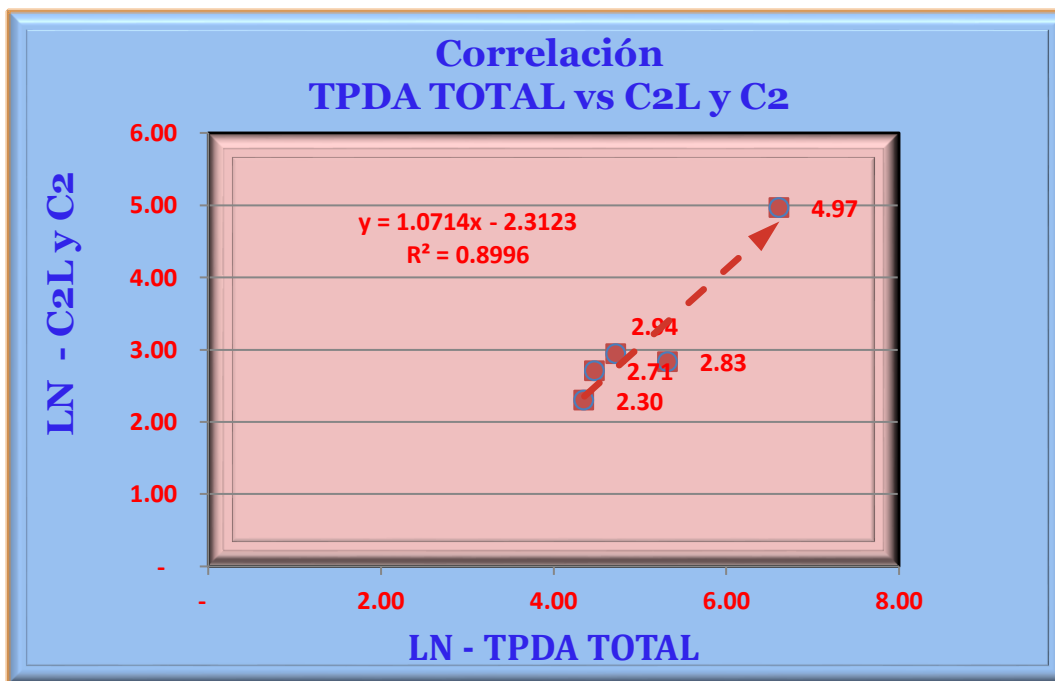
Al realizar los cálculos correspondientes los resultados son los mostrados en la siguiente tabla con su respectiva grafica.

Tabla No. 29- Cálculos de correlación para vehículos pesados.

Variable	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
TPDA Total	746.0	205.0	88.0	78.0	113.0
C2L y C2	144.0	17.0	15.0	10.0	19.0
LN TPDA Total	6.61	5.32	4.48	4.36	4.73
LN C2L y C2	4.97	2.83	2.71	2.30	2.94
Tasa de correlación	19.30%	8.29%	17.05%	12.82%	16.81%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4- Correlación Tipo de vehículos pesados.



Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje que se incluirán al tramo Naciones Unidas – Bluefields, para los tipos de vehículos C2 Livianos y C2 es del 14.86%.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla. **(Ver Anexo, tabla No. 30, pág. XXIX).**

Es importante tomar en cuenta estos tipos de vehículos (C2L y C2) dentro del TPDA proyectado, dado que estos tipos de vehículos moverían carga y producción agrícola también a nivel local para satisfacer necesidades de la población asentada a lo largo del tramo en estudio, lo que es muy importante considerar dado que en su momento el estudio de Roughton International no lo considera. El análisis se considera pertinente y adecuado, dado que se analiza una zona testigo similar en aspectos socioeconómicos y con similar potencial productivo.

3.4.6.7 Tránsito Desviado debido a Desvío de Carga.

Un efecto a considerarse como consecuencia de la ejecución del proyecto es el desvío de carga que se efectuará desde la ruta actual bimodal (terrestre y fluvial) hacia la Carretera Naciones Unidas – Bluefields.

Tomando como parámetros básicos el tiempo y costo en la transportación de la carga por la ruta actual hay un claro beneficio en trasladar la carga por la carretera una vez se mejore la misma. Sin embargo, este desvío de carga hacia el proyecto se traduce en una mayor circulación de vehículos pesados de carga que transporte dicha carga.

Para esto se ha analizado la cantidad de carga que se transportaba por la ruta actual. Al año 2013 se contabilizaban un volumen de carga transportada de 164,918 toneladas Métricas². La tasa de crecimiento que ha experimentado el volumen es del 11.61% anual. A partir de estos datos se han proyectados los volúmenes a lo largo del periodo de diseño del proyecto, con la hipótesis de que el volumen crecerá al 11.61% anual hasta el año 2027, es decir durante los primero 10 años de operación de la carretera, llegando en este año a un punto mayor equilibrio en donde el crecimiento de los volúmenes de carga se reducirá al 5.20%. Del total de dichos volúmenes de carga se ha considerado que en un 90% pasara a utilizar el transporte terrestre por la carretera Naciones Unidas – Bluefields y que una cuota del 10% se quedara haciendo uso de la ruta fluvial. Los

resultados de estos análisis se presentan en la **(Ver anexo, Tabla No. 31, pág. XXX).**

Esta carga anual se transformó a volumen por día. Con esta cifra se valoró con las proyecciones de vehículos pesados C3 y T3S2 que se han proyectado anteriormente en este análisis si cubría la potencial carga a desviarse. El índice de ocupación promedio considerado de estos vehículos es del 65%.

En la siguiente tabla se presenta la capacidad de carga que se puede transportar con el TPDA proyectado en el análisis previo y también la carga a transportarse de acuerdo al análisis de desvío de carga hacia el proyecto. **(Ver Anexo, Tabla No. 32, pág. XXXI).**

Teniendo en cuenta el TPDA de la ruta actual Muelle de Los Bueyes – El Rama y su distribución de los tipos de vehículos C3 y T3S2, se utilizó la misma proporción para cuantificar los vehículos necesarios para transportar el volumen de carga que todavía no se podría transportar con el TPDA proyectado. Al C3 le corresponde el 23.08% y al T3S2 el 76.92%.

Al realizar el análisis con el volumen de carga a transportarse en la vía se obtienen los datos presentados en la tabla siguiente. **(Ver Anexo, tabla No. 33, pág. XXXII).**

3.4.6.8 Tránsito Total.

El Tránsito Total lo constituye la suma de los diferentes tipos de tránsito calculados en el estudio, por lo tanto, como resultado tenemos que para el año 2018 pasaran 363 vpd y para el año 1143 vpd. Los resultados se presentan en la siguiente tabla **(Ver Anexo, Tabla No. 34, pág. XXXIII).**

IV. ESTUDIO DE SUELO.

4.1 Introducción

La Geotecnia es la rama de la ingeniería civil que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la tierra. Investiga los suelos y las rocas por debajo de la superficie para determinar sus propiedades y de este modo diseñar las estructuras que estos soportarán.

Los suelos, según su acepción geotécnica, son agregados naturales de partículas minerales granulares y cohesivas separables por medios mecánicos de poca energía.

Los estudios de suelos para carreteras deben suministrar datos suficientes del subsuelo que permitan definir sus propiedades geotécnicas más importantes, materiales por los que atraviesa el proyecto y señalar las unidades geomorfológicas a las que pertenecen. Sí la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aún con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos.

Dentro de las consideraciones indispensables que se deben tomar en cuenta para el diseño de pavimentos se encuentra el analizar las características físico-mecánicas del suelo donde será construida la estructura de pavimento.

Los estudios de suelos in situ desarrollan tres grandes actividades:

- Sondeos de línea.
- Localización de bancos de préstamos.

En la actividad de sondeos, se muestrea el sub suelo en donde descansará la estructura de pavimento; estas muestras se empacan y se trasladan al laboratorio

para ser examinadas y determinar qué tipo de material es el que se encuentra en ese lugar.

La actividad de sondeo es un método de exploración del sub-suelo para conocer el tipo de material que tiene la capa de sub-rasante y rodamiento en ese sitio.

La actividad de localización de bancos de préstamos es la de ubicar fuentes de materiales para usarse en la estructura de pavimento, como capa de base o sub base; la realiza un técnico especialista con gran experiencia en el estudio de suelos.

4.2 Clasificación de los Suelos.

La correcta clasificación de los suelos permite en primera instancia tener una idea de cómo será el comportamiento de los suelos como base de apoyo firme. Normalmente suele ser suficiente conocer la granulometría y plasticidad de un suelo para predecir cómo será el comportamiento mecánico del mismo.

4.2.1 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) ASTM D – 3282.

Esta clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistente en prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. En la siguiente tabla se muestran dichos símbolos y su significado además de información complementaria. **(Ver Anexo, tabla No. 35, pág. XXXIV).**

4.2.2 Clasificación AASHTO M – 145.

La clasificación empleada por AASHTO considera siete grupos básicos de suelos, numerados desde el A – 1 hasta el A – 7. A su vez algunos de estos grupos presentan subdivisiones, el grupo A – 1 y A – 7 cuenta cada uno con dos subdivisiones, mientras que el grupo A – 2 tiene cuatro subdivisiones, además contiene un “índice de grupo” entre paréntesis.

El índice de grupo se calculó con la formula empírica:

$$IG = (F-35) [0.2+0.005(WL-40)] + 0.01(F-15) (IP-10) \text{ (Ecuación No 2)}$$

Dónde:

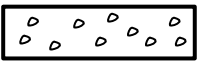

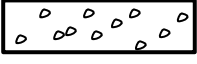
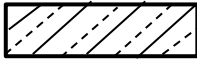


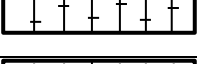

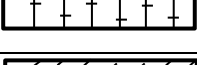

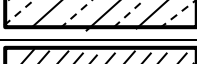
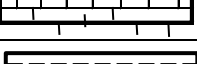
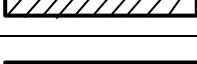
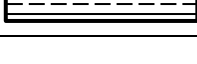
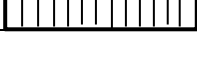
F= Porcentaje que pasa por el tamiz No 200, expresado en números enteros.

WL= Limite Liquido

IP= Índice de Plasticidad

En la Tabla No. 36, se muestra los signos convencionales para identificar los grupos mencionados en perfiles de calicatas.

Tabla No. 36 - Simbología y Clasificación AASHTO M-145

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A - 1 - a		A - 5
	A - 1 - b		A - 6
	A - 3		A - 7 - 5
	A - 2 - 4		A - 7 - 6
	A - 2 - 5		Materia Orgánica
	A - 2 - 6		Roca Sana
	A - 2 - 7		Roca Desintegrada
	A - 4		

Fuente: Simbología AASHTO.

Los ensayos necesarios para poder ubicar un suelo dentro de un grupo determinado de acuerdo a esta clasificación son el Análisis Granulométrico y los límites de Atterberg.

En la tabla siguiente nos muestra las pruebas realizadas a los diferentes tipos de suelos existentes en el proyecto. **(Ver Anexo, tabla No 37, pág. XXXV).**

A continuación, se muestran los significados utilizados en la clasificación H.B.R para los diferentes tipos de suelo. **(Ver Anexo, tabla No. 38 pág. XXXV).**

4.3 Propiedades fundamentales de los suelos

Los suelos presentan muchas propiedades que son útiles e importantes para determinar su utilización y productividad. Entre las propiedades se encuentran:

4.3.1 Granulometría

La granulometría estudia la distribución de las partículas que conforman el suelo de acuerdo a su tamaño. El análisis granulométrico del suelo, permite hacer una clasificación descriptiva del mismo, basado en el tamaño de las partículas constituyentes.

El estudio granulométrico tiene como finalidad determinar los porcentajes relativos de las partículas minerales del suelo (grava, arena, limo y arcilla) en base al peso seco total de la muestra luego de la destrucción de los agregados. Este estudio se desarrolla de acuerdo a los procedimientos descritos en el ensaye de laboratorio ASTM D – 422 ó AASHTO T – 88

4.3.2 Plasticidad

La plasticidad es una propiedad inherente de los suelos finos y arcillas que permite que un suelo sea capaz de modificar su consistencia o resistencia al corte en función únicamente del porcentaje de humedad que contenga.

Dicho de otra manera, la plasticidad es la propiedad de un material por la cual puede soportar deformaciones rápidas sin rebote elástico, sin agrietarse, desmoronarse o tener afectaciones volumétricas apreciables. El análisis

granulométrico no brinda información de esta propiedad, por lo que se hace necesario aplicar el ensayo de laboratorio Límites de Atterberg ASTM D – 423 ó AASHTO T – 89.

Según su contenido de agua en forma decreciente, un suelo susceptible a ser plástico puede encontrarse en cualquiera de los siguientes estados de consistencia según Atterberg: líquido, plástico o sólido. Los límites de Atterberg denotan cuan sensible es el comportamiento de un suelo en relación a su contenido de agua.

Los límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son:

Límite Líquido (WL): el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.

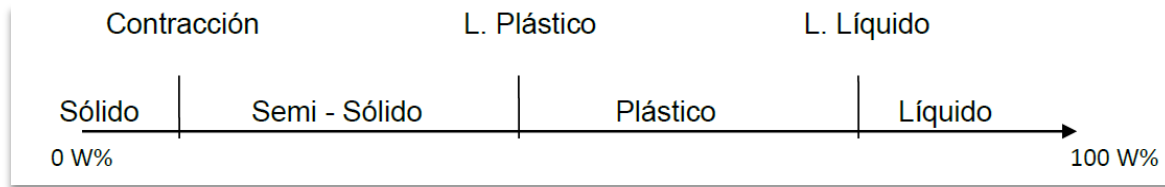
Límite Plástico (WP): el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y puede romperse.

Además del Límite Líquido y el Límite Plástico, otra característica a obtener es el Índice de Plasticidad (ensayo ASTM D - 424 ó AASHTO T- 90) que no es más que la diferencia entre WL y WP. El Índice plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica.

4.3.3 Humedad natural

Se denomina humedad natural del suelo a la cantidad de agua por volumen de tierra que hay en un terreno. Establecer el índice de humedad es de vital importancia para determinar la ubicación del nivel freático y de este modo valorar las bondades del suelo existente, en las que se apoyará la estructura de pavimento.

Figura No.5- Límites de Atterberg



Fuente: Informe final de suelo Naciones Unidas- Bluefields

4.3.4 Compacidad.

Esta es una característica propia de suelos granulares que puede definirse como el grado de compactación de suelos no cohesivos. La compacidad de los suelos es una propiedad importante en carreteras, puesto que se encuentra en relación íntima con la resistencia, deformabilidad y estabilidad de una estructura de soporte

La humedad juega un papel trascendental en este apartado, mientras un suelo seco necesita una determinada cantidad de energía de compactación, el mismo suelo ligeramente húmedo requerirá un menor esfuerzo, ya que el agua actúa como un lubricador disminuyen la fricción entre las partículas constituyentes.

Al añadir agua al suelo, este llega a un estado en el cual todos los huecos presentes se encuentran ocupados por el líquido. Tomando en consideración lo anterior, aparece el concepto de Humedad óptima, que no es más que la obtiene una compacidad máxima para una misma cantidad de energía de compactación.

4.3.5 Resistencia del suelo (Ensayo de CBR).

El ensayo CBR se realiza con la finalidad de conocer la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos. Se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

El CBR se define como la relación en porcentaje entre la fuerza utilizada para que un espécimen de suelo registre 0.25 cm de penetración con un vástago de 19.35 cm² de área transversal, a una velocidad de 1.27 mm/minutos y la fuerza ejercida en un material patrón (piedra triturada) para esa misma penetración.

$$\text{CBR} = \frac{\text{Carga unitaria del Ensayo}}{\text{Carga Unitaria Patrón}} * 100\% \quad (\text{Ecuación No 3})$$

El número CBR matemáticamente representa un porcentaje de la carga patrón, no obstante, este símbolo (%) es suprimido y la relación existente entre la carga unitaria de ensayo y la carga unitaria patrón se expresa como número entero.

4.4 Determinación del CBR de diseño.

El ensayo de CBR mide la resistencia al corte también se conoce como esfuerzo cortante de un suelo bajo las condiciones de humedad y densidad controlada, además se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente usados como base y subrasante bajo el pavimento de carretera, la ASTM nombra a este ensayo como relación de soporte y esta normado: ASTM D 1883-73 y en la AASHTO con el numero T-193.

Aplicando el criterio especificado por el instituto de asfalto para la determinación del valor del CBR de diseño, el cual recomienda tomar un valor tal, ya sea el 60%, el 75% o el 87.5% de los valores individuales obtenidos sean iguales o mayores que el pavimento.

Tabla No. 39 - Límites de la sección de resistencia

N° de ejes de 8.2 toneladas en el carril de Diseño (N)	Percentil a seleccionar para encontrar la resistencia
< 10 ⁴	60%
10 ⁴ – 10 ⁶	75%
> 10 ⁶	87.50%

Fuente: Ingeniería de Pavimento para carreteras. Ing. Alfonso Montejo Fonseca. Pág. 68.

Cuando se habla de numero de ejes 82 ton. En el carril de diseño (N), se refiere al número de repeticiones de cargas equivalentes al peso mencionado y a esa variable se le conoce como ESAL'S. En nuestro estudio el ESAL'S corresponde al valor siguiente **4,349,611.36. (Ver tabla No.49 pág. 79)**

Por lo tanto, el percentil es de 87.50%

Se ordenaron Los valores de CBR obtenidos de menor a mayor y se determinó el número y porcentaje de valores iguales o mayores de cada uno.

Tabla No. 40- Porcentaje de valores iguales o mayores de CBR.

VALORES DE CBR ORDENADOS	FRECUENCIA	NUMERO DE VALORES DE CBR \geq	% DE VALORES DE CBR \geq
4.7	2	134	100
5	6	132	99
5.2	27	126	94
5.4	2	99	74
5.5	10	97	72
5.7	8	87	65
5.8	6	79	59
6	10	73	54
6.1	1	63	47
6.9	6	62	46
7.6	6	56	42
7.8	4	50	37
8	4	46	34
8.3	21	42	31
8.5	1	21	16
9.3	2	20	15
9.6	4	18	13
10.7	14	14	10
TOTAL	134	0	0

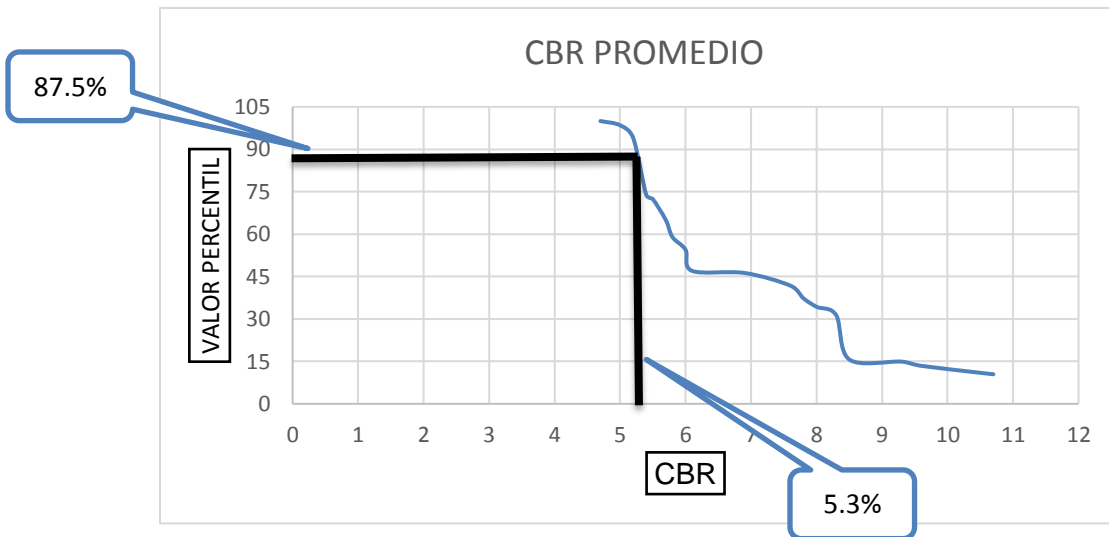
Fuente: Elaboración propia.

Con los valores obtenidos del CBR, se realizó la gráfica donde se determinó el CBR para la sub-rasante. Para la gráfica lo realice de la siguiente manera:

- a. Con los % de valores CBR mayores o iguales y los valores de CBR, se grafican.

- b. Aplicar recomendaciones del instituto del Asfalto de USA, en nuestro caso el percentil es de 87.5% del CBR de diseño de la capa sub-rasante.
- c. Por último, introducir dicho porcentaje en la gráfica y leer el valor de CBR de diseño.

Gráfico No. 5- CBR de diseño.



Fuente: Elaboración propia

Al trazar la tangente sobre el valor percentil de 87.5% obtenemos el CBR de diseño para la sub-rasante igual al 5.3%.

4.4.1 Correlación con los tipos de suelos.

Existen varios procedimientos y tablas que han sido utilizados para estimar el Módulo resiliente (M_r) de la subrasante para diferentes clasificaciones de suelos, también estas tablas relacionan otras medidas típicas con el módulo resiliente. Por ejemplo, el valor del CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO), se puede convertir a módulo resiliente de la subrasante.

La AASHTO, en la Guía de Diseño establece la correlación del CBR con el M_r esto es:

Para materiales de sub-rasante con CBR igual o menor a 10%

$$MR_{(psi)} = 1500 * (CBR) \text{ (Ecuación 4)}$$

$$MR = 1500 * 5.3\%$$

$$MR = 7,950.00 \text{ PSI}$$

Seleccionamos la ecuación que se correlacionará el CBR, obtenido de los sondeos de línea y esto permitirá establecer que el CBR de diseño es 5.3% y que el Módulo resiliente (Mr) es de 7,950.00 psi, esto es:

Tabla No.41 – Resultado de Mr.

Unidad de Diseño	Estaciones	Mr sub-rasante (Psi)
1	48+280 a 61+530	7,950.00

Fuente: Elaboración Propia.

4.5 Mejoramiento de Suelo.

El suelo como material ingenieril, se diferencia de la piedra, la madera y otros materiales naturales por la particularidad de ser modificado para darle las características deseadas. La mejora del suelo es una práctica que permite construir en terrenos con condiciones marginales.

La corrección se realiza a través de métodos aplicados in situ o mediante la construcción de rellenos artificiales. En cualquier caso, los objetivos son una mayor capacidad de carga y la prevención de asentamientos. Se han desarrollado muchas técnicas, como densificación, sobrecarga, nivelación y construcción de rellenos (pedraplén o terraplén), que gozan de amplia aceptación.

Entre los objetivos que se persiguen al mejorar un suelo, se tiene:

- Aumentar la capacidad o resistencia al corte.
- Disminuir los asentamientos, tanto absolutos como diferenciales.
- Disminuir el riesgo de licuefacción en caso de terremotos o vibraciones importantes.

- Disminuir la deformabilidad.
- Disminuir la permeabilidad.

En obras situadas en zonas donde los suelos no sean las especificaciones técnicas que requiere un proyecto específico, estas técnicas permiten evitar la excavación de los mismos y así disminuir los volúmenes de movimientos de tierra y por consiguiente el costo de la obra. Siempre se deberá valorar el costo de la técnica a emplear, la disponibilidad de los equipos y materiales necesarios, pues muchas veces las tecnologías son muy modernas.

La técnica a usar para mejoramiento de suelo en la zona en estudio, en consideración con los análisis de suelo realizados será la colocación de una estructura de pedraplén, por ser la solución que más se adapta para sellar todo el tramo en estudio de los niveles freáticos que se caracteriza de la zona lluviosa.

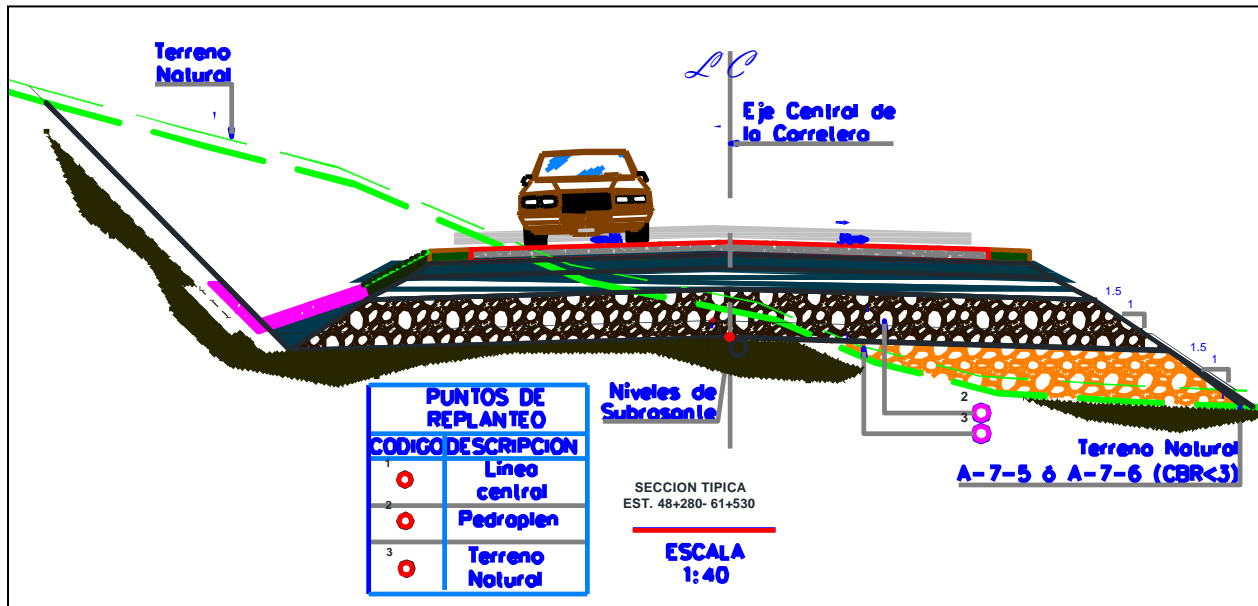
4.6 Pedraplén

4.6.1 Definición

Un pedraplén consiste en la distribución y compactación por capas de materiales pétreos, cuyas características serán las indicadas de acuerdo a las especificaciones propias de cada proyecto, con destino a crear una plataforma sobre la que se asiente la explanada y firme de una carretera.

Debido a su composición, los pedraplenes poseen gran resistencia a la sobrecarga lo cual los hace preferibles para obras viales con alta circulación de camiones y/o maquinaria pesada, vías ferroviarias y explanadas marítimas, utilizados también para la construcción de muelles u otras obras en el borde Costero.

Figura No. 6 - Sección Típica del Pedraplén



Fuente: Elaboración Propia

4.6.2 Características de los materiales utilizados en el pedraplén.

Los materiales por emplear en la construcción de pedraplenes pueden proceder de la excavación de la explanación o de fuentes aprobadas y provendrán de cantos rodados o rocas sanas, compactas, resistentes y durables.

Deberán, además, cumplir los siguientes requisitos:

- **Calidad de los materiales**

El agregado triturado utilizado para la base deberá provenir de una roca dura, sana, durable y no intemperizada. No deberá contener materiales deletéreos tales como roca descompuesta, arcilla, esquistos o mica.

Cuando por alguna circunstancia sea necesario realizar un cambio en el cemento de la mezcla aprobada, el contratista deberá presentar al ingeniero para su aprobación otro diseño utilizando el cemento sustituto.

El agua a usar en las operaciones de estabilización, debe ser clara, libre de aceites, sales, ácidos, álcalis, azúcar, material vegetal y demás sustancias que puedan ser perjudiciales para la efectividad de la estabilización.

- **Granulometría**

El material para pedraplenes deberá cumplir las condiciones granulométricas siguientes:

- El contenido, en peso, de partículas que pasen por el tamiz 1" será inferior al treinta por ciento (30 %).
- El contenido, en peso, de partículas que pasen por el tamiz No. 200 será inferior al diez por ciento (10 %).
- El tamaño máximo será como mínimo de cien milímetros (100 mm) y como máximo de novecientos milímetros (900 mm).

4.6.3 Partes de un pedraplén

El pedraplén está compuesto por las siguientes partes:

Núcleo: Es el material pétreo colocado entre el cimiento y la corona, y que corresponde al área fundamental del pedraplén.

Transición: Es la parte superior del pedraplén, que se encuentra entre el núcleo y el coronamiento y tiene como función homogenizar el área sobre el cual se construirá la corona

Corona: Es la parte superior de la explanada, que se ubica sobre la zona de transición. Está conformado por material árido y fino, que, de condiciones de soporte adecuadas para las subrasantes del proyecto, según la altura que esta posea puede considerarse un terraplén,

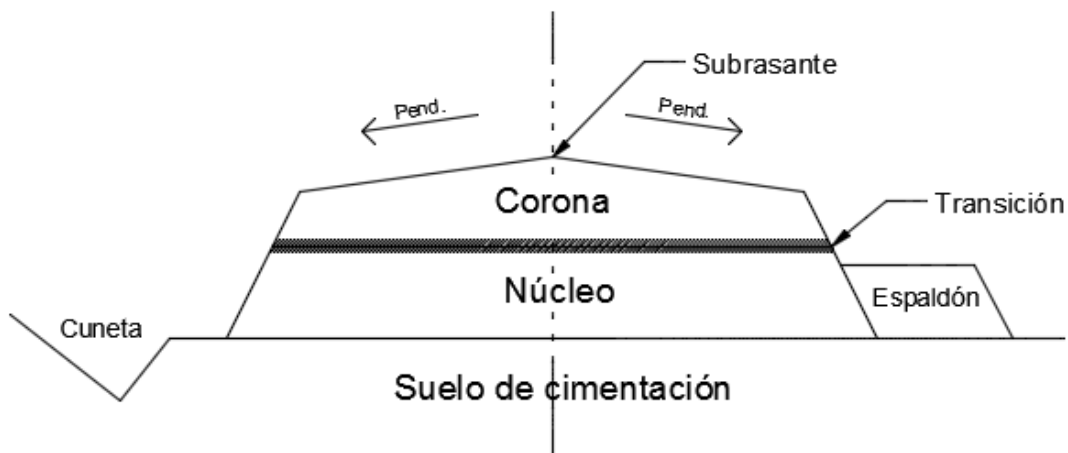
Cimiento: Parte inferior del pedraplén en contacto con la superficie de apoyo. Su espesor será como mínimo de 1m o la máxima altura libre desde la superficie

de apoyo hasta la zona de transición del pedraplén, cuando dicha altura libre fuera inferior a 1m. Su función es la de mejorar las condiciones del terreno que soportara al pedraplén.

Espaldón: Parte exterior del relleno que, ocasionalmente, constituirá parte de los taludes del mismo. Suele tener una función protectora, evitando la pérdida de material y la erosión en los costados del pedraplén.

Zonas especiales: Suele referirse a zonas que requieren características especiales, por ejemplo, zonas inundables. El proyecto debe fijar claramente sus características y dimensiones.

Figura No 7 - Partes de Pedraplén



Fuente: Elaboración propia.

4.6.4 Ejecución

Se inicia por el despeje y desbroce de la zona de asiento del pedraplén, se extrae y retira todo material inadecuado hasta la profundidad indicada en los planos. Si existen terrenos inestables, turbas o arcillas blandas, se eliminarán o consolidarán. Se realiza la preparación de la zona de circulación de los camiones. El pedraplén se construirá por capas, las cuales deberán tener un espesor suelto no superior a la dimensión de la mayor roca en el material. Estas capas se construirán en general, de un espesor suelto de máximo 0,6m. El extendido de las capas deberá efectuarse empleando un bulldozer pesado.

El material se depositará en el centro del pedraplén y se distribuirá hacia los bordes del relleno. Una vez iniciada una capa de trabajo, el material se depositará entre 8 y 10 metros más atrás del material ya colocado, de manera que sea arrastrado por bulldozer hacia su ubicación final, con el propósito que se rellenen algunos huecos con el material más fino y las vibraciones del bulldozer contribuyan a la compactación.

Una vez extendido cada capa de material rocoso de la manera señalada, se procederá a rellenar los intersticios dejados por las piedras con suelos más finos, para luego proceder a regar y compactar la superficie expuesta con un mínimo de seis pasadas por cada punto, con rodillo vibratorio de peso estático no inferior a 8 toneladas circulando a velocidades de 3 a 4 km/h y frecuencia mínima de 1000 vibraciones por minuto.

La altura de los pedraplenes alcanzará como máximo 70 cm por debajo de la superficie de la subrasante del proyecto. La última capa de pedraplén se construirá con material de filtro, en función del material del pedraplén a emplear para alcanzar las cotas de subrasante. El extendido y compactación de la coronación de terraplén es la clave para una buena calidad de la obra.

Aunque parece una operación simple y repetitiva, se debe tener en cuenta que cada material tiene unos grados óptimos de humedad diferentes, por lo que las

operaciones de carga y descarga no deben ser aleatorias. Según el material se admite mayor o menor espesor de las capas, lo cual es trascendental para la buena marcha de la obra.

4.7 Resultados de Estudio de Suelos.

Los trabajos de campo consistieron en sondeos manuales que se realizaron a lo largo y a los lados de la línea central del camino, además de los sondeos en los bancos de materiales posibles a utilizar en el proyecto.

4.7.1 Resultados de los Sondeos de Línea.

Los sondeos fueron ejecutados con dirección Bluefields - San Francisco, debido a problemas con la accesibilidad en el camino, por lo que las estaciones van en forma regresiva, partiendo del estacionamiento final Estación: 61+530 a la estación, 48+280.

En general los suelos en la ruta establecida son en su mayor parte profundos, de textura moderadamente finas, uniformes, plásticos y bastantes desfavorables. Presenta la característica de tener un comportamiento de gran expansibilidad volumétrica cuando están húmedos o saturados y por su reducción de volumen al perder humedad o secarse.

Estas características implican que estos materiales no son aptos para ser utilizado como terracería a menos que se proteja, debido a que sufre cambios volumétricos con pequeñas variaciones del contenido de humedad, pasando de un estado sólido a plásticos o líquido con relativa facilidad.

- Se efectuaron 68 sondeos manuales a una profundidad de 1.50 metros cada uno. La distancia entre cada sondeo fue de 200 metros, ubicados alternadamente al centro, izquierda y derecha de la sección de la carretera, distribuidos a lo largo de los 13.25 kilómetros de estudio, con un total de 132 muestras analizadas, lo

cual se muestra en la tabla siguiente se presenta los sondeos de línea al igual que se presenta el plano estratigráfico de los sondeos estudiados. **(Ver anexo, tabla No. 42, pág. XXXVI a la pág. XL).**

El manual para la revisión de estudios geotécnicos del MTI (s.f.) establece que: “la cantidad de sondeos manuales para caminos totalmente nuevos se harán, como mínimo 4 sondeos manuales por kilómetro a una distancia entre sondeos de 250 metros, con una profundidad de 1.2 a 1.5 metros” (p.6). De acuerdo a la normativa, los sondeos manuales cumplieron con lo establecido.

4.7.2 Análisis de Resultados de las investigaciones de suelos.

En este tramo, el subsuelo de la línea central del camino, está conformado por suelos arcillosos, altamente plásticos, con un alto contenido de finos, impermeables y de color café claro a rojo teja.

Estos suelos clasifican como A-7-5 y A-7-6, con índice de grupo predominantes mayor a 17, y después del estacionamiento 55+00, los suelos son arcillosos pero su índice de grupo varía entre 1.5 y 20, con valores de CBR bajos y predominantemente entre 2 y 3% que, siendo esto, un indicativo de la calidad de los materiales, a mayor índice de grupo, menos calidad tiene el suelo para ser utilizado en las estructuras de pavimento.

Los resultados de los sondeos manuales en línea, corresponden por lo general a suelos arcillosos, finos, altamente plásticos e impermeables, sonso cuite.

En base a lo anterior y de acuerdo a la verificación de resultados realizada para las muestras tomadas en consideración, se observa que el 60% del material analizado pertenece al sub grupo A-7-5 y el 40% al sub grupo A-7-6.

4.8 Resultados de los Sondeos en los bancos de materiales

4.8.1 Introducción

Siendo una de las actividades más importantes en el estudio de suelo, se llevó a cabo la investigación de todos los sitios probables de materiales por medio de calicatas a cielo abierto, localizando un total de 2 Bancos de materiales que son los que pueden suplir las necesidades del proyecto en lo concerniente a material de revestimiento y de base.

4.8.2 Resumen de los sondeos en los bancos de préstamos

En la selección de estas fuentes de materiales, se consideró básicamente los siguientes aspectos: necesidades de materiales para rellenos, volumen disponible, uso de la tierra y los consiguientes problemas de permitir su uso o expropiación, las necesidades de materiales de revestimientos y de base.

Sin embargo, se investigaron un total de 3 fuentes de materiales y seleccionando únicamente, Para ser utilizadas en la construcción del proyecto. En la selección de estas fuentes de materiales, se consideraron básicamente los siguientes aspectos:

- Necesidades de materiales para rellenos.
- Facilidad de acceso a los sitios investigados
- Volumen disponible
- Uso de la tierra y los consiguientes problemas de permitir su uso o expropiación.
- Las necesidades de materiales de revestimiento y base.

En la siguiente tabla se observa las 3 fuentes como alternativas para ser utilizadas. **(Ver Anexo, tabla No.43, pág. XLI).**

4.8.2.1 Banco la Pedrera.

Banco situado al norte de Bluefields y a 3 kilómetros del estacionamiento 74+200, con camino de acceso y banco actualmente en explotación. Este material bandeado por el tractor corresponde a una grava limosa de baja plasticidad. Material que si se explota de la parte central del macizo se podrá utilizar como material de revestimiento y de base. Este material clasifica como A-1-a (0), correspondiente a una grava limosa, con valor de CBR de 69, 86, 96 y 102% compactado al 90, 95, 98 y 100% respectivamente de su densidad máxima.

4.8.2.2 El Banco el Pool No-2.

Es una grava limosa con poco contenido de finos no plástico, Plásticos, tipo cascajo gravoso y se tiene en grandes cantidades. El valor de CBR es de 15.3, 66.3, 66.3, 66.4% compactado al 90, 95, 98 y 100% respectivamente.

4.8.2.3 El Banco del Caño Blanco.

Corresponde a una grava de color blanco, resistente y con un valor de CBR de 39.8, 73.4, 110 y 110% compactado al 90, 95, 98 y 100% respectivamente, puede suplir material de revestimiento y de base.

En la tabla siguiente se presenta los ensayos de laboratorios para Bancos de materiales. **(Ver Anexo, tabla No.44, pág. XLI).**

4.9 Descripción del sistema para mejoramiento del suelo.

Una vez realizada la evaluación de las características de los materiales que conforman la estructura de pavimento existente y sus espesores, se obtuvo la información básica necesaria para determinar la solución de mejoramiento de los suelos presentes en el tramo de carretera en estudio, con el fin de elegir los nuevos espesores a colocar a lo largo de la vía.

Una consideración importante que hace inaccesible el camino es que existen áreas en que los suelos se encuentran saturados, particularmente cuando se atraviesan áreas pantanosas (suampos), sitios vulnerables a las inundaciones (llano), por la topografía y la trayectoria del drenaje prevaleciente. Debido a esta condición de suelos saturados por las altas precipitaciones de la región, los suelos son bastante desfavorables.

Resulta beneficiosa la utilización de pedraplenes, puesto que esta capa de rocas permitirá que el nivel del agua suba y baje sin afectar la estructura propia del pavimento. El pedraplén deberá ser tendido y bandeado con tractor, tal como se con un mínimo de seis pasadas, garantizando que los vacíos quedarán rellenos con material de menor tamaño de grano.

Se deberán utilizar rocas adecuadas para pedraplenes tales como: las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas resistentes, sin alteraciones apreciables, compactas y estables frente a la acción de los agentes externos y en particular, frente al agua.

Se consideran rocas estables frente al agua aquellas que, sumergidas en agua durante veinticuatro horas, con tamaños representativos de los de puesta en obra, no manifiestan fisuración alguna, y la pérdida de peso que sufren es igual o inferior al 2%.

Las capas de roca (Tongadas) susceptibles de saturarse durante la vida del relleno tipo pedraplén se construirán, de acuerdo con el Proyecto, con un tipo de material que tenga un comportamiento aceptable bajo dicha acción (erosión, expansión y colapso, etc.

4.10 Resultados de los ensayos de los bancos de materiales

Las muestras tomadas de los bancos de materiales, fueron sometidas a todos los ensayos de laboratorios que expresan los términos de referencias, con el propósito de conocer las características físicas y mecánicas de los mismos, con el fin de clasificarlos y así poder determinar su uso más adecuado.

Tabla No. 45- Resultados de los ensayos de los Bancos de Materiales.

Pasa Tamiz	Banco de Materiales		
	La Pedrera	Pool No-2	Caño Blanco
2"	100	100	100
1. 1/2"	81	100	100
1"	63	90	81
3/4"	53	73	57
3/8"	36	50	33
No-4	24	37	23
No.10	4	25	17
No.40	7	13	10
No-200	6	7	4
LL %	20	-	-
IP %	2	NP	NP
Clasificación AASHTO.	A-1-a (0)	A-1-a (0)	A-1-a (0)
Descripción	Grava Limosa	Grava Limosa	Grava
Densidad Húmeda km/m3	2094	1843	1758
Densidad máxima km/m3	1750	1951	2021
Humedad Optima	12.9	6	15.6
CBR Modificado	90	69	15.3
	95	86	66.3
	98	96	66.3
	100	102	66.4

Fuente: Informe de suelo Naciones Unidas-Bluefields

V. DISEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTOS.

5.1 Introducción.

El diseño de pavimentos consiste en determinar cada uno de los espesores de las capas que conforman la superficie de rodadura. Este diseño está basado en los estudios del tránsito y las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

El método de Diseño utilizado para la alternativa de Pavimento Rígido (Concreto Hidráulico) fue la Guía de Diseño de Espesores de pavimento de la AASHTO 93 (Guide for Design of Pavement Structures). Este tiene como objetivo obtener un pavimento que cumpla con soportar adecuadamente las cargas de tráfico que circulen sobre él, con la calidad de los suelos de fundación y el período de tiempo en años y así garantizar un tránsito fluido de los vehículos, tanto de carga como de pasajeros, que preste las condiciones de seguridad y confort adecuadas.

Con este método se toma en cuenta las siguientes investigaciones: El Estudio Geotécnico, el cual tiene la finalidad de proporcionar los detalles necesarios, para conocer las características físico-mecánicas del subsuelo a lo largo de la ruta, efectuando ensayos de laboratorio (Granulometría, Límites de Atterberg y CBR) y análisis de la información obtenida.

La investigación persiguió también, conocer las características de los Bancos de Materiales, necesarios en el abastecimiento del material selecto que requiere el proyecto en su ejecución.

El estudio del conteo de tránsito el cual tiene la finalidad de conocer la cantidad y tipo de vehículos que utilizan la vía para conocer la carga móvil que soporta y hacer su proyección al período de diseño.

5.2 Características que debe reunir un pavimento.

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial, adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permita una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de la deformación y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.
- Debe ser económico.
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

5.3 Clasificación de los pavimentos.

Los pavimentos más importantes son los pavimentos rígidos y flexibles, sin embargo, puede existir una división más amplia en los tipos de pavimentos que dependerá del tipo de base que se use.

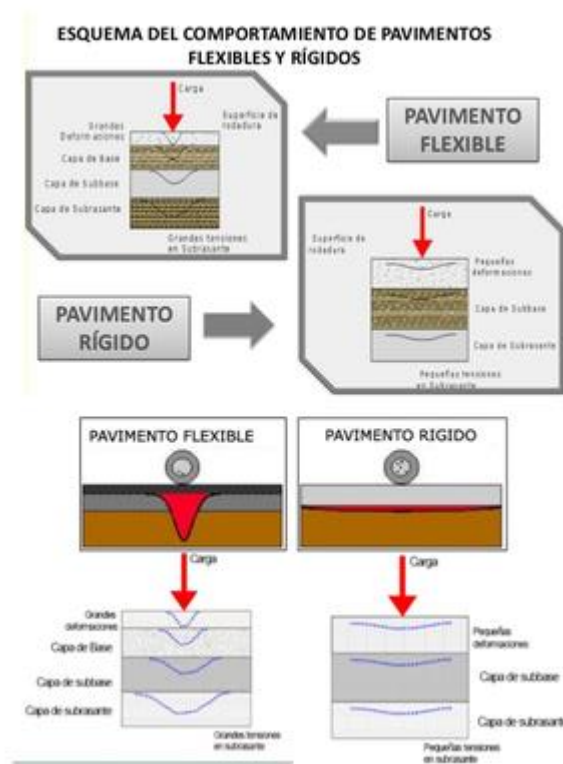
Pavimento flexible: Este tipo de pavimento está formado por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base, no obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra.

Pavimentos rígidos: Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub-rasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido.

Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub-rasante.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas sub-yacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

Figura No. 8- Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.



Fuente: ipacons.jimdo.com

5.4 Diseño de Pavimento.

El hormigón se emplea hace más de un siglo, su primera aplicación tuvo lugar en algunas arterias urbanas de ciudades europeas, pasando después a los Estados Unidos donde en 1909 se construye la primera carretera con pavimento rígido para vehículos automóviles en Wayne Country (Michigan). En este país se desarrolla rápidamente la tecnología, con estudios, ensayos de laboratorio y tramos de ensayo o escala natural.

Para el diseño de espesores de pavimentos rígidos se usan dos tipos de métodos los cuales son los siguientes:

- Método de AASHTO 93.

➤ Método de la PCA.

Para este documento monográfico se decidió aplicar el método de la AASHTO-93 para encontrar los espesores del pavimento rígido, los cuales soportaran las cargas de diseño la fórmula a aplicar es la siguiente:

Ecuación 5

$$\log_{10} W_{8.2} = ZrS_0 + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) * \log_{10} \left[\frac{MrC_d(0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 * j \left[0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(Ec/K)^{0.25}} \right]} \right]$$

En donde:

W_{8.2}: Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas a lo largo del período de diseño.

Zr: Desviación normal estándar.

S₀: Error estándar combinado en la producción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D: Espesor de pavimento de concreto, en milímetros.

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

P_t: Índice de serviciabilidad o servicio final.

Mr: Resistencia media del concreto (en MPA) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz).

C_d: Coeficiente de drenaje.

J: coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

Ec: Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa.

K: Módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, sub-base o sub-rasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

5.5 Consideraciones de diseño.

5.5.1 Serviciabilidad de pavimento inicial y final.

Se escoge el índice de serviciabilidad final (P_t) es una selección del valor más bajo que pueda ser admitido, antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o una reconstrucción de un pavimento. Como el índice de serviciabilidad final de un pavimento es el valor más bajo de deterioro a que puede llegar el mismo, se sugiere que para carreteras de primer orden (de mayor tránsito) este valor sea de 2.5 y para carreteras menos importantes sea de 2.0; para escoger el valor del índice de serviciabilidad inicial (P_0) es necesario considerar los métodos de construcción ya que de esto depende la calidad del pavimento, en los ensayos de pavimentos de AASHTO-93, P_0 llegó a un valor de 4.5 para pavimentos de concreto y 4.2 para pavimentos de asfalto.

La diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial (P_0) y el índice de serviciabilidad final (P_t) es $\Delta PSI = P_0 - P_t$

Donde:

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

P_0 = Índice de servicio inicial (4.5 para pavimento rígidos)

P_t = Índice de servicio terminal, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0 recomendando 2.5 o 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

Tabla No. 46- Valor de la serviciabilidad final

Características de la vía	Valores de (Pt)
Autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico	2.5 - 3.0
Autopista urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas	2.0 - 2.5
Vías locales, ramales, secundarias y agrícolas	1.8 - 2.0

Fuente: guía para diseño de estructura de pavimentos, AASHTO - 93

5.5.1.1 Condiciones de servicio del pavimento al inicio del periodo de diseño (P_0).

En el método de AASHTO-93 recomienda asignar a esta variable independiente un valor de 4.5, en el caso de pavimento rígido, valor este que será empleado en la solución de la ecuación de diseño.

5.5.1.2 Condición de servicio del pavimento final del periodo de diseño (Pt).

La experiencia de otros países sugiere diferentes valores para esta variable independiente, en función del tipo de pavimento en análisis el valor mínimo que se debe de considerar es **2.0**.

5.5.1.3 Pérdida de serviciabilidad de diseño (ΔPSI).

En este estudio se asume un $P_0 = 4.5$ y $P_t = 2.0$, teniendo entonces los P_0 y los P_t la pérdida de serviciabilidad es la diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y final, dando como resultado una $\Delta PSI = 2.5$

$$\Delta PSI = P_0 - P_t \text{ (Ecuación 6)}$$

$$\Delta PSI = 4.5 - 2 = 2.5$$

$$\Delta PSI = 2.5$$

5.5.2 Confiabilidad en el diseño (R).

Con el parámetro de confiabilidad “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de las secciones estructurales que se obtenga, duren como mínimo en el periodo de diseño.

Tabla No. 47 – Relación de confiabilidad y el valor (Zr)

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Zr
50	-0.000
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: guía para diseño de estructura de pavimentos, AASHTO-93

Tabla No 48- Niveles de confiabilidad (R) en función del tipo de carretera.

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

Fuente: Manual Centroamericano de normas para el diseño geométrico de las carreteras regionales, SIECA, 2001.

De acuerdo con la clasificación funcional de la vía, la guía de la AASHTO-93 recomienda diferentes niveles de confiabilidad. Para nuestro tramo y dada la ubicación en la que se encuentra la vía, y el tránsito que utilizara esta es liviano, se asume un valor de confiabilidad (**R**) de **75%** que corresponde a un valor recomendado, para una clasificación como zona colectora y para tipo de caminos troncales.

5.5.3 Desviación Normal estándar (Zr).

La varianza (SD)² del comportamiento del pavimento y el tránsito estimando en el período de diseño pueden ser determinados para un caso de diseño en particular si se dispone de suficiente información o en caso contrario se pueden usar los valores de la **tabla No. 47** mencionada anteriormente.

Estos valores fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el AASHTO Road Test y en base a predicciones futuras de tránsito.

5.5.4 Desviación estándar de la variable (So)

Como lo indicado anteriormente, este valor representa la desviación estándar conjunta, e incluye la desviación estándar de la ley de predicción del tránsito en el periodo de diseño con la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, el número de ejes que puede soportar un pavimento hasta que su índice de serviciabilidad descienda por debajo de un determinado Pt.

Se recomienda utilizar para desviación estándar (So) valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Para pavimentos rígidos: 0.30 – 0.40

En construcción nueva: 0.35

En sobre capas: 0.40

El valor de la “desviación estándar So”, por otra parte, sugerido por el propio método AASHTO-93 es de **0.35** para el caso de diseño de un nuevo pavimento rígido; este valor será, en consecuencia, empleado en la solución de la ecuación de diseño de la AASHTO-93 para el caso del pavimento de concreto hidráulico.

En nuestro estudio monográfico tomaremos como desviación estándar (So) = **Para pavimentos rígidos 0.35**

5.5.5 Análisis de cargas y ejes equivalentes para el diseño de pavimento (W18).

Definiremos como ESAL'S de diseño a la transformación de ejes de un tránsito mixto que circula por una vía a ejes equivalentes de 8.2 toneladas, 18 kips o 18000 libras, en el carril de diseño durante la vida útil del pavimento, haciendo uso del factor de equivalencia de carga, acumulados durante el periodo de diseño, se hará uso de las cargas por ejes por cada tipo de vehículo permitidas por el Ministerio de transporte e Infraestructura.

5.5.6 Estimación de las cargas de diseño.

Las cargas de diseño han sido determinadas en función de los resultados del “Estudio de tráfico” sin incluir las motos, como parte de la información requerida para el proyecto integral de apertura de esta carretera

5.5.7 Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

El número de vehículos, para el tramo, por tipo, por día y para cada año del periodo de diseño incluido en el “Estudio de Trafico” con el fin de discriminar más en detalle la composición del tránsito en cuanto a los tipos de camiones y de una manera más precisa los “efectos daño” de cada tipo de vehículo sobre el pavimento (**Ver Anexo, tabla No. 34, pág. XXXIII**).

5.5.8 Factores de equivalencia de carga.

Son valores Numéricos que se definen el daño que causa el paso de un vehículo o eje determinado sobre una sección de pavimento en una manera relativa al daño que el vehículo o eje patrón causa al pasar sobre la misma sección de pavimento.

Se obtiene las tablas de la AASHTO-93 para ejes sencillos, dobles. Conociendo la serviciabilidad final los espesores de la estructura de pavimento y los pesos (las cargas se encuentran en Kips) se obtienen los factores de equivalencia (AASHTO-93).

Parámetros:

Tasa de Crecimiento (TC)= 5.07%

Periodo de diseño (n) = 30 años

Total, de ESAL'S de Diseño = 4, 349,611.36

Tránsito de Diseño (TD)

TD= TPDA*fd*fc*F_{CA}*365

ESAL'S diseño= TD* factor esal

Tabla No. 49 - Resumen de cálculo ESAL de diseño por eje por tipo de vehículo.

Tipo Vehículo	TPDA	Factor de Crec. Anual (FCA)	Tránsito de Diseño (TD)	Factores de ejes de equivalentes (Fec"s)	Esal Diseño
Livianos					
Moto	3,932.00	818.12	1608,431.05	0.0002	350.89
Auto	1,946.00	818.12	796,034.29	0.0002	173.66
Jeep	942.00	818.12	385,336.23	0.0023	890.16
Mcbus y Mnbus	399.00	818.12	163,215.66	0.0446	7,276.49
Pickup	3,959.00	818.12	1619,475.72	0.0109	17,688.87
Medianos					
Bus	3,479.00	818.12	1423,126.05	0.54	766,228.84
Liv 2-5 ton	877.00	818.12	358,747.21	0.54	193,153.98
C2	877.00	818.12	358,747.21	0.42	149,649.11
C3	1,501.00	818.12	614,001.78	0.28	169,518.24
Pesados					
TX-SX>=5	4,398.00	818.12	1799,053.86	1.79	3214,550.25
TOTAL DE ESALS DE DISEÑO					4,349,611.36

Fuente: Elaboración propia

5.5.8.1 Factor distribución (fd)

El factor de sentido a utilizar en este caso será de **0.5** debido a que la vía de acceso a la zona es única.

5.5.8.2 Factor de carril (Fc)

La vía en estudio se compone únicamente de un carril por sentido, lo cual se traduce en que el 100% de composición vehicular lo hace en cada uno de ellos por ende **FC= 1**.

5.5.8.3 Factor de crecimiento Anual (FCA)

Si se desea obtener el factor de crecimiento anual del tráfico (FCA) de manera exacta, se puede obtener a partir de la siguiente formula:

$$\text{FCA} = \frac{((1+g)^n - 1)}{(g)(n)} \quad (\text{Ecuación 6})$$

FCA= Factor de crecimiento anual.

n= Vida útil en años.

g= Tasa de crecimiento anual, en %

$$\text{FCA} = \frac{((1+0.0507)^{30} - 1)}{(0.0507)(30)} = 2.24$$

5.5.8.4 Factor equivalente de carga para pavimento rígidos.

En las tablas siguientes se presentan los factores equivalentes para pavimentos rígidos, para ejes simples y ejes doble. **(Ver Anexo, Tabla No.50 y Tabla No. 51, pág. XLII a la pág. XLIII)**

5.5 Resistencia a la flexión del concreto (Modulo de Rotura, MR).

Este es el valor que corresponde al módulo de elasticidad de los materiales que se emplean en la construcción de la sub-rasante, ya sean mejorados o no, y representa la calidad de los materiales.

Se determina con equipo especial que no es fácil adquisición, por lo tanto, se han establecidos correlaciones para calcularlo a partir de otros ensayos, como el CBR.

Calculo para determinar el módulo de resiliencia de la sub-rasante.

Para materiales de sub-rasante con CBR igual o menor a 10%.

MR= 1500 * (CBR) (Ecuación 4 mencionado en el capítulo IV)

MR= 1500* 5.3

MR= 7,950 PSI

5.6 Módulo de ruptura del concreto para las losas de pavimento.

Obtenemos por medio de la siguiente tabla que se muestra el módulo de ruptura (MR) recomendado por la guía para el Diseño de Estructura de Pavimentos, AASHTO-93. Los valores que se consideran aceptables. Se recomiendan como mínimo una resistencia de 41 kg/cm² (583 psi) y como mínimo 50kg/cm² (711 psi), a los 28 días, dependiendo del uso que vayan a tener.

Tabla No. 52- Módulo de Ruptura

Tipos de Pavimento	MR recomendado	
	kg/cm²	psi
Autopista	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas industriales	45.0	640.1
Urbanas principales	45.0	640.1
Urbanas secundarias	42.0	597.4

Fuente: Guía para Diseño de Pavimento AASHTO-93.

Estas variables independientes son características del método AASHTO-93 para pavimentos rígidos. En nuestro análisis emplearemos un concreto de resistencia a la rotura de 48 kg/ cm² (682.7 psi) para los canales de circulación y de 25 kg/ cm² para los hombros.

5.8 Módulo de Elasticidad del Concreto (EC).

Módulo de elasticidad (EC). Está íntimamente relacionado con su módulo de ruptura y se determina conforme a la norma **ASTM C469**. Existen varios criterios con los que puede estimarse a partir del módulo de ruptura, pero el que utilizaremos es la siguiente ecuación.

$$E_c = (6,750) (MR) \text{ (Ecuación 6)}$$

$$E_c = (6750) (682.7)$$

$$E_c = 4,608,225 \text{ psi}$$

5.9 Cálculo del módulo de reacción de la sub-rasante (K) de diseño.

La resistencia de la subrasante es considerada dentro del método por medio del módulo de reacción del suelo K que se puede obtener directamente mediante la prueba de placa.

El módulo de reacción del suelo corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportara el cuerpo del pavimento. El valor del módulo de reacción (K) se puede obtener directamente del terreno mediante prueba de placa ASTM D1195 Y D1196. El valor de K representa el soporte (terreno natural y terraplén si lo hay) y se puede incrementar al tomar contribución de la sub-base.

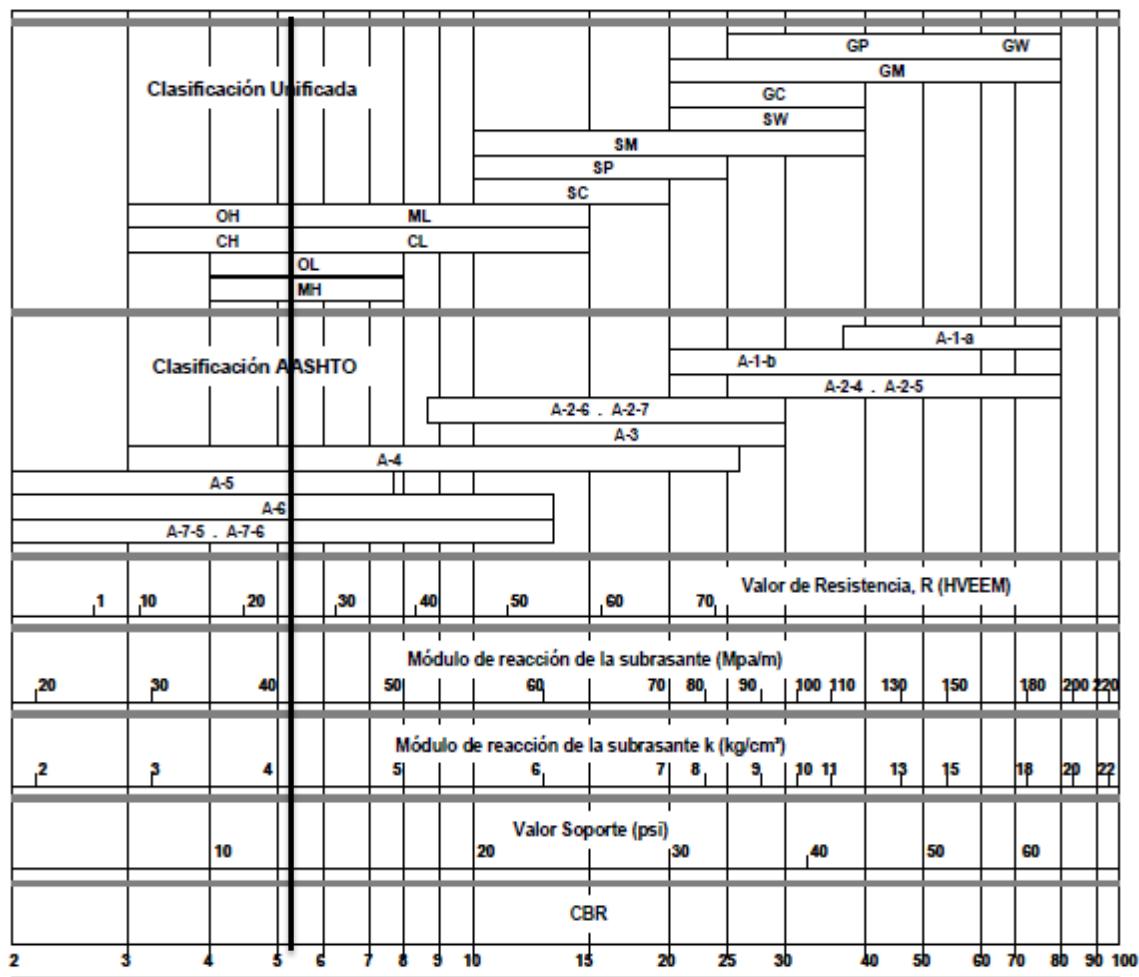
El soporte dado a los pavimentos de concreto por la base y la sub-base, es el segundo factor en el diseño de espesores. El terreno de apoyo está definido en términos del módulo de reacción de la subrasante de westergaard (K). Es igual a la carga en libras por pulgadas cuadradas de un área cargada (plato de 30 plg. de diámetro) dividido entre la deformación en pulgadas que provoca dicha carga. Los valores de k son expresados como libras pulgadas cuabras por pulgada (psi/plg) o más comúnmente, por libras pulgadas cubicas. (pci).

Las bases mejoradas o tratadas con cemento aportan mayor capacidad de carga y su comportamiento a largo plazo es mucho mejor y son ampliamente empleadas para pavimentos de concreto con tráfico pesado. Se contribuyen con materiales

granulares como los tipos de suelo AASHTO A-1, A-2-4, A-2-5 Y A-3, el contenido de cemento es determinado mediante las pruebas de congelación – descongelación y mojado- secado y el criterio de pérdidas admisibles.

La capacidad de soporte se mide en términos de módulo de reacción K determinados por pruebas de placa directa, debido a que estas pruebas complejas y costosas el valor de K lo estimamos por correlación con pruebas más sencillas con el CBR. Calculamos el CBR de diseño obteniendo 5.3 y entramos en la gráfica de correlación aproximada entre la clasificación de los suelos y los diferentes ensayos obteniendo un resultado de **41.3 Mpa**, como lo muestra la siguiente Figura No. 9 correlación SUCS, CBR Y K, a continuación:

Figura No.9- Correlación SUCS, CBR y (K)



Fuente: Guía para Diseño de Estructura de Pavimento AASHTO-93

5.10 Coeficiente de transferencia de carga (J)

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

En función de estos parámetros, se indican en la siguiente tabla los valores del coeficiente (J).

Tabla No. 53- Valores de coeficiente de transmisión de carga (J)

Hombro				
Elemento de transmisión de carga				
Concreto asfáltico		Concreto hidráulico		
Tipo de pavimento	Si	No	Si	No
No reforzado o reforzado con juntas	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Reforzado continuo	2.9-3.2	-	2.3-2.9	-

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimento, AASHTO, 1993. Cap.7 Pág. 59

En casos de carreteras de poco tránsito, el volumen de camiones sea reducido, entonces se pueden utilizar los valores más bajos de J, ya que habrá menos pérdida del efecto de fricción entre los agregados.

El tipo de pavimento a utilizar es el **no reforzado**, con hombros de concreto asfáltico obteniendo un elemento de transmisión de carga **3.2**.

5.11 Coeficiente de drenaje para pavimento rígido (Cd).

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

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

Tabla No. 54- Calidad del drenaje

Calidad del drenaje	Tiempo en que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy Malo	El agua no evacua

Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

Se considera que la calidad del drenaje es **buena** y el tiempo que tarda el agua en ser evacuada es de **1 día**.

Combinando todas las variables que intervienen para llegar a determinar el coeficiente de drenaje (Cd) se llega a los valores de la siguiente tabla:

Tabla No.55- Valores de coeficiente de drenaje (C_d)

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.			
	Menor de 1%	1% - 5%	5% - 25%	Más del 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Mediano	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Malo	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy Malo	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

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

En el caso del tramo en estudio estimamos que la calidad del drenaje será buena con un tiempo de drenaje del 85% de saturación y el tiempo de exposición de la estructura del pavimento a los niveles de humedad próximos a la saturación será 25%, correspondiendo a estos a estos criterios el **Cd es de 1**. Ya que la base estará conformada por una mezcla de materiales estabilizados con cementos. Se considera que el estudio incluye todas las soluciones hidrotecnias del camino y que toma en cuenta el criterio de desalojar el agua de la calzada en el mejor tiempo posible.

5.12 Resumen de los datos calculados de las diferentes variables para poder entrar al nomograma y obtener el espesor de la losa.

Tabla No. 56- Valores de las variables para el Diseño de pavimento Rígido.

Variables		Valor a Determinar
Espesor de la losa (cm)	D	19
Módulo de elasticidad del concreto de la losa (Psi)	Ec	4,608,225
Módulo elástico de soporte de la Sub-base (Mpa)	K	41.3
Índice de serviciabilidad Inicial	Po	4.5
Índice de serviciabilidad Final	Pt	2
Δ PSI Perdida de serviciabilidad de diseño	ΔPSI	2.5
Módulo de ruptura del concreto (MR) (Mpa)	MR	4.8
Transferencia de carga	J	3.2
Coefficiente de Drenaje	Cd	1
Confiabledad (R)	R	75%
Desviación estándar de la variable	So	0.35
Eje de diseño 30 años (ESAL'S)	Wt18	4,349,611.36

Fuente: Elaboración propia

5.13 Cálculo de espesor de pavimento rígido mediante el programa AASHTO-93.

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. It is divided into several sections for input and output:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' and 'Pavimento rígido'. 'Pavimento rígido' is selected.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu shows '75 % Zr=-0.674' and a text box shows 'So' as 0.35.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.5) and 'PSI final' (2).
- Módulo de reacción de la subrasante:** Text box for 'k' (150.75 pci).
- Información adicional para pavimentos rígidos:**
 - Módulo de elasticidad del concreto - E_c (psi): 4608225
 - Módulo de rotura del concreto - S_c (psi): 682.7
 - Coefficiente de transmisión de carga - (J): 3.2
 - Coefficiente de drenaje - (Cd): 1
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular D' and 'Calcular W18'. 'Calcular D' is selected. The result 'W18 = 4369611.36' is displayed.
- Espesor de losa (plg):** The result 'D = 7.8' is displayed.

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Fuente: Elaboración Propia

Basado a los resultados anteriores los espesores son:

Tabla No. 57 - Resultado de los espesores a utilizarse.

Capas de la Estructura de Pavimento Rígidos	Espesores en (Cm)
Losa de concreto	19 cm
Base Suelo- Cemento	15 cm
Pedraplén	70cm
Espesor Total (Cm)	104 cm

Fuente: Elaboración Propia.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1 Conclusiones.

Del estudio topográfico proporcionado por la empresa EDICRO-IMPULSO S.A, se generó por medio del Civil 3D y la SIECA 2004, las curvas de nivel y el perfil longitudinal del terreno obteniendo así las pendientes que oscilan entre 0.20% a 3.70% clasificando el terreno como llano o plano donde se propuso la rasante más optima tanto longitudinalmente y transversalmente.

Al realizar el diseño geométrico de la vía, se clasifico por medio de los resultados del análisis de la TPDA y la Sieca 2004 como una carretera colectora Rural, así como también se determinó 14 curvas horizontales circulares el alineamiento horizontal del proyecto con sobre ancho que oscilan entre 1m y 1.50m, en el alineamiento vertical se determinaron 49 curvas verticales y se concluye que la capacidad de la vía podrá soportar hasta 1143 vpd hasta final de los 30 años, el ancho total de la vía diseñada es de 7.6 m (cada carril de 3.80 m), .

Al realizar el análisis del estudio de tránsito se determinó el TPDA de la carretera en estudio, por lo tanto, se concluye que para el año 2018 pasaran 363 vpd y para el año 2047 pasaran 1,143 vpd.

De acuerdo al análisis granulométrico proporcionados por la empresa EDICRO S.A los suelos más predominantes son A-7-5 Y A-7-6, por lo tanto, obtuvimos un K natural de la subrasante de 41.1 Mpa/m, utilizando los bancos de materiales de préstamo para la sub- base, base y carpeta de rodamiento.

El espesor de suelo de fundación a ser utilizado es de 70 cm, donde extraemos el suelo expansivo y se colocara material estabilizado (pedraplén) donde el CBR del suelo tratado debe alcanzar un valor igual o mayor al 10% para mejorar la calidad y soporte de la Sub-rasante.

Siguiendo los parámetros correspondientes al método de la AASHTO-93 nuestro espesor de losa propuesto de 19 cm (7.5 plg) cumple con lo establecido en dicho método, sin embargo, se realizó el análisis en el programa para pavimento dando un resultado de espesor de 19.8 cm (7.8 plg) dando una diferencia entre ambos de 0.8 cm (0.3 plg), el ESAL'S de diseño de la carretera es de **4,349,611.36** ejes equivalentes para pesos de 18000 lbs.(8.2 Ton).

6.2 Recomendaciones.

Se recomienda para todo el tramo con presencia de arcilla, reponerlo con material del sitio o con cualquiera de los materiales de los bancos estudiados y compactar al 100% como mínimo del Proctor estándar.

Durante la construcción de cada una de las capas de la estructura de pavimento diseñado para este proyecto, se deberán ejercer rigurosos controles como son la compactación y humedad con la que se realizaron en las pruebas de suelos.

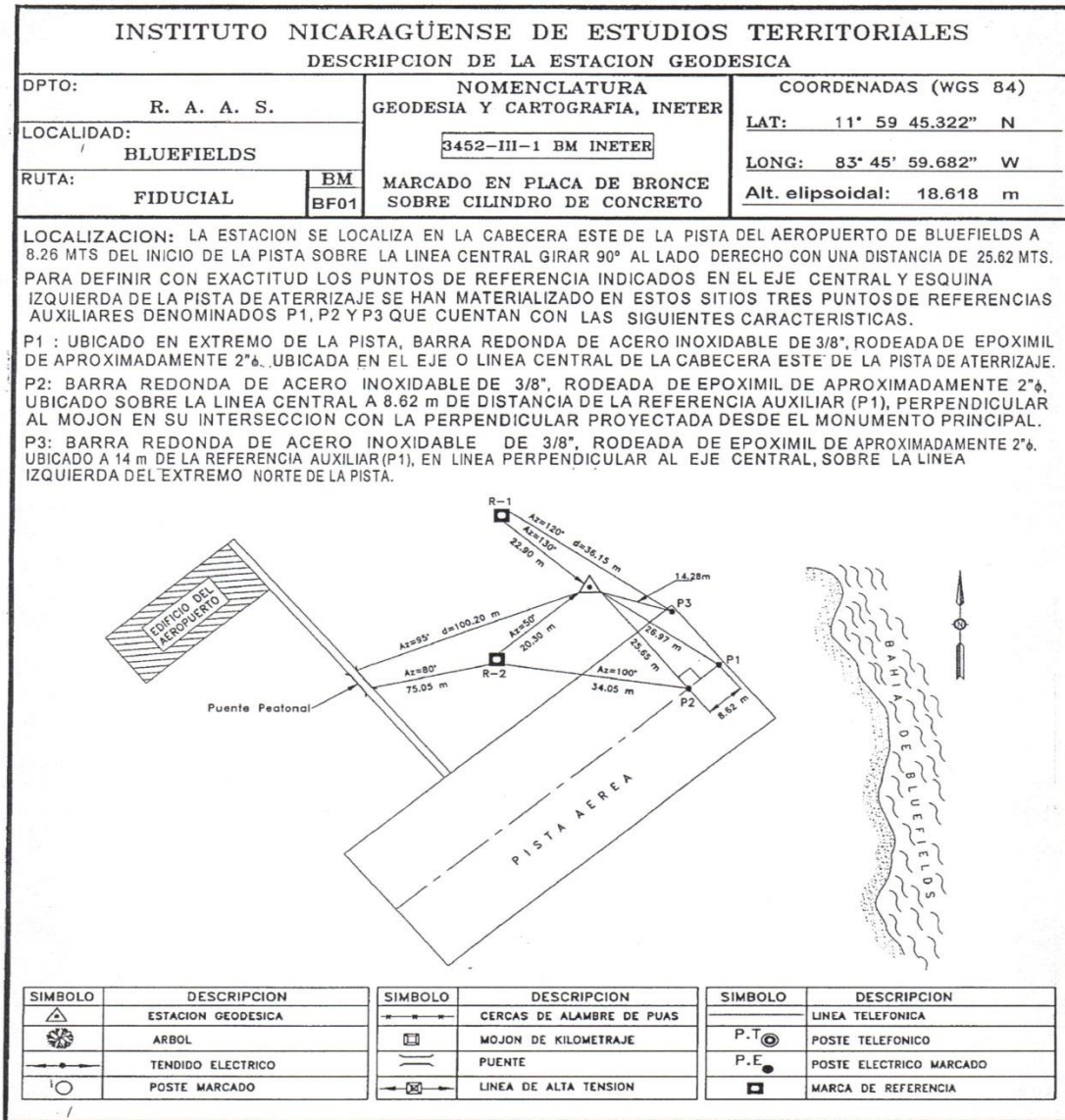
Para garantizar el buen funcionamiento y duración de la vida útil de la carpeta y estructura de pavimento, se deben construir un buen sistema de drenaje pluvial además de realizar mantenimientos periódicos de manera preventiva, que también evita los altos costos del mantenimiento correctivo y/o rehabilitación.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Anuario de Aforos de tráfico año 2014 y 2017. Dirección General de Vialidad del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes. Nic. -2000. Edición revisada y actualizada en abril 2002. Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. 2^{da} Edición. Ing. Alfonso Montejo.
- Informe Anual 2017 Banco Central de Nicaragua
- Manual Centroamericano para Diseño Geométrico de Carreteras Regionales, SIECA, 2004.
- Método de Diseño de Pavimento versión 1993 de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) para pavimentos flexibles
- Red vial de Nicaragua 2008 Emitido en abril 2009. Dirección General de Vialidad del Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- Páginas de Internet:
- www.bcn.gob.ni
- www.inifom.gob.ni
- www.mti.gob.ni
- www.economialaprensa.gob.ni
- **Documentos consultados**
- Documento de Geotécnica. Curso de Obras Viales. UNI. Dr. Oscar Gutiérrez.
- Estudio Geotécnico. GEONIC.
- Estudio de Tránsito. GEONIC.
- **Programa o software utilizado**
- Civil Cad 3D 2014
- Software de la AASHTO 93 Pavement Design (American Concrete Associations Pavement Analysis Software

















VIII. ANEXOS

Figura No. 3- Descripción de la estación geodésica.



Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER).

Tabla No. 3- Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico del sistema de administración de pavimentos.

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

Fuente: Anuario de Aforo de tráfico 2014, MTI pág.34