



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Tesina para optar al Título de

INGENIERO CIVIL

“Diseño de los espesores de la estructura de adoquín de 527.5 metros lineales; del Tramo la Unión-Preuniversitario de la ciudad de Estelí, departamento de Estelí, empleando el método AASHTO 93.”

Presentada Por:

Br. Álvaro José González López.

Br. Leibin Javier Hernández Gutiérrez.

Tutor:

Msc. Ing. Sergio Junior Navarro Hudiel.

Managua, Nicaragua.

Julio del 2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.050
Managua, febrero 03 del 2016.

Bachilleres
ALVARO JOSE GONZALEZ LOPEZ
LEIBIN JAVIER HERNANDEZ GUTIERREZ
Presente

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema de Tesina titulado "DISEÑO DE LOS ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE ADOQUIN DE 527.5 ML; DEL TRAMO LA UNION – PRE-UNIVERSITARIO DE LA CIUDAD DE ESTELI, DEPARTAMENTO DE ESTELI, EMPLEANDO EL METODO AASHTO 93". Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, de que el Ing. SERGIO JUNIOR NAVARRO HUDIEL, sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 06 de mayo del 2016.

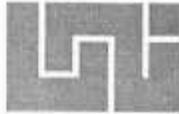
Esperando puntualidad en la entrega de la Tesina, me despido.

Atentamente,



Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
DIOGS*mary



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de tecnología de la Construcción

Estelí, viernes, 23 de junio de 2017

Doctor Oscar Isaac Gutiérrez Somarriba
Decano Facultad de Tecnología de la Construcción
UNI - RUPAP
Su despacho

Estimado Doctor Gutiérrez. Reciba un cordial saludo.

Sirva la presente para avalar la incorporación de recomendaciones del jurado en proceso de predefensa de tesina titulada **"DISEÑO DE LOS ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE ADOQUÍN DE 527.5 METROS LINEALES; DEL TRAMO LA UNIÓN – PRE UNIVERSITARIO DE LA CIUDAD DE ESTELÍ, EMPLEANDO EL MÉTODO AASHTO 93"** elaborado por los bachilleres Álvaro José González López y Leibin Javier Hernández Gutiérrez, la cual cumple con los requisitos necesarios para ser sometida al proceso de defensa de la misma.

Sin más a que hacer referencia, aprovecho para expresarle mis muestras de consideración y estima.

Atentamente,

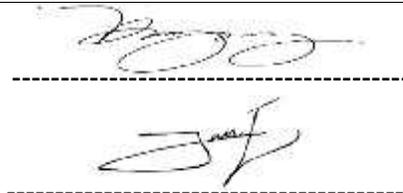
Sergio J. Navarro Hudiel
Tutor Acreditado
Docente UNI



HOJA DE INSCRIPCIÓN DE TESINA

NOMBRE DE LOS SUSTENTANTES: 1) Álvaro José González López 2) Leibin Javier Hernández Gutiérrez
NOMBRE DEL CURSO: Obras Viales para optar al título de Ingeniero Civil
NOMBRE DE LA TESINA: “Diseño de los espesores de la estructura de adoquín de 527.5 ml del tramo La Unión-Preuniversitario de la ciudad de Estelí, departamento de Estelí, empleando el método AASHTO 93.”
ESPECIFIQUE AL MENOS DOS AREAS DE CONOCIMIENTO QUE ABORDARAN EN LA TESINA: 1) Estudio de Transito 2) Diseño de Pavimento Flexible
FECHA DE INSCRIPCIÓN:
FECHA ENTREGA:
FECHA DE APROBACIÓN:
PROPONER TUTOR: Ing. Sergio Junior Navarro Hudiel
FIRMA COORDINADOR: _____

FIRMA DE SUSTENTANTES: _____



DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto a Dios, por haber estado en nuestras vidas en todo momento y por habernos brindado la dicha de la salud, bienestar físico y espiritual para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A nuestros padres, hermanos, hermanas, esposo e hijo y familiares por su esfuerzo, amor y apoyo incondicional, durante nuestra formación tanto personal como profesional. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que nos han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante.

A nuestros docentes, por brindarnos su guía y sabiduría. Por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional, en especial al Ing. Sergio Junior Navarro, por haber guiado el desarrollo de este trabajo.

Álvaro José González López.

Leibin Javier Hernández Gutiérrez.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su bondad, por darnos tanta fuerza y coraje para hacer este sueño realidad.

A nuestros padres por enseñarnos todo el valor de la educación, que dentro de sus preocupaciones nos dieron la posibilidad de brillar.

A mis hijos por su paciencia y apoyo incondicional, por el tiempo sacrificado de nuestra familia y por creer en mí. (AG).

Al Ingeniero Henry Eduardo Loaisiga y los Ingenieros José Fernando Bustamante, Jimmy Sierra Mercado, por su apoyo y confianza en nuestro trabajo y su capacidad para guiar nuestras ideas que han sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesina, sino también en nuestra formación como Ingenieros.

A todos nuestros familiares y amigos que de una u otra manera estuvieron pendientes a lo largo de este proceso, brindado su apoyo incondicional.

Todo esto nunca hubiera sido posible sin el amparo incondicional de nuestras familias, padres, hermanos, amigos, compañeros y sin el estímulo de nuestros maestros. Esto es también es su triunfo.

Álvaro José González López.

Leibin Javier Hernández Gutiérrez.

INDICE

I INTRODUCCIÓN	1
I.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL TRAMO EN ESTUDIO	2
I.1.1 Macro Localización.....	2
I.1.2 Micro localización.....	3
I.2 ANTECEDENTES	5
I.3 JUSTIFICACIÓN	7
I.4 OBJETIVOS	8
I.4.1 Objetivo General:.....	8
I.4.2 Objetivos Específicos:	8
II. ESTUDIO DE TRÁNSITO	9
II.1 Metodología de estudio	9
II.1.2 Tipología Vehicular	9
II.1.3 Vehículos de Carga.....	10
II.2 Volumen y Clasificación	10
II.3 Tránsito Promedio Diario (TPD)	11
II.4 Tasa de Crecimiento Vehicular (TC)	11
II.5 Producto Interno Bruto (PIB)	12
II.5.1 Crecimiento Poblacional	13
II.5.2 Comportamiento de Estaciones de conteo de tránsito.....	14
II.5.3 Selección de la Tasa de Crecimiento	15
II.6 Periodo de Diseño	18
II.6.1 Cálculo del tránsito futuro del proyecto	19
II.6.2 Cálculo de tránsito de diseño	19
II.6.3 Periodo de Diseño (n).....	20
II.6.4 Factor Direccional (FD).....	20
II.6.5 Factor Carril (FC).....	20
II.7 Cálculo de las repeticiones esperadas por ejes	21
III. ESTUDIO DE SUELO	26
III.1 Sub – Rasante.	27
III.2 Sub – Base.	27
III.3 Base.	28
III.4 CARPETA	29
III.4.1 Sondeos Manuales en el Tramo La Unión-Preuniversitario	29

III.4.2 Trabajos de laboratorio	30
III.4.3 Límites de Consistencia de los Suelos.....	31
III.5 Clasificación de los Suelos.....	31
III.5.1 Análisis de resultado de clasificación.....	32
III.5.2 Tramo La Unión-Preuniversitario.....	32
III.5.3 Secuencia Estratigráfica	33
III.5.4 Resultados de las pruebas de CBR realizadas al Banco de Préstamo.	33
IV Estructura de Pavimento.....	36
IV.1 Confiabilidad	37
IV.2 Desviación Estándar (SO).....	38
IV.3 Serviciabilidad	39
IV.4 Coeficiente de Drenaje.....	40
IV.5 Valor CBR.....	41
IV.5.1 Coeficientes del paquete estructural.....	43
IV.6 Número estructural (SN)	47
IV.7 Módulo de Resiliencia (Mr).....	47
IV.8 Cálculo de Espesores	55
IV.9 Cálculo de Espesores Software	59
V. Conclusiones.....	63
VI. Recomendaciones.....	64
VII. Bibliografía.....	65
VII. ANEXO	66

I INTRODUCCIÓN

La ciudad de Estelí, ha experimentado un desarrollo muy alto en los últimos diez años, fenómeno que ha debilitado las capacidades municipales, las que no son suficientes para satisfacer las demandas crecientes de los pobladores de los nuevos asentamientos que requieren de los servicios básicos; apertura y conformación de calles, servicio de agua, energía eléctrica, servicio sanitario, entre otros.

El crecimiento del Sistema Vial de Nicaragua ha tenido un lugar influyente y fundamental en la economía nacional; por lo que el presente trabajo consistirá en el diseño de la estructura de pavimento de adoquín utilizando las especificaciones del método de la “AASHTO 93” en dependencia de las condiciones de suelo existente y de las proyecciones de tránsito en el área de análisis.

El Municipio de Estelí está ubicado en la región central-norte de Nicaragua y es uno de los seis municipios del departamento del mismo nombre, a la vez que es su cabecera departamental. Es el principal centro de comercio y servicios de la región segoviana. Se comunica con todo el país a través de la Carretera Panamericana y está a 145 kilómetros al norte de la Ciudad de Managua.

La vía en estudio recibe un tránsito medio por ser una zona industrial. Además, un caudal considerable de las aguas pluviales provenientes de las partes altas de la ciudad, que las conduce a buscar desagües de pendiente natural.

Los nuevos asentamientos surgidos en los últimos diez años, se ubicaron en áreas no contempladas para la expansión urbana, según el plan de desarrollo urbano de 1994 de la Alcaldía Municipal de Estelí, lo que incide directamente de manera negativa en la apertura y conformación de calles. La alternativa de solución que se plantea para el tramo La Unión-Preuniversitario, es un pavimento de adoquín, el cual se considera viable por su fácil colocación y que no necesita de mano de obra especializada logrando economía en tiempo, equipos, materiales, costos financieros y sociales.

Se realizó el diseño de espesores de pavimento aplicando la Metodología AASTHO 93, para la cual se realizó un estudio de tránsito que fue proyectado a 20 años obteniendo un ESAL de 432108.06 los espesores obtenidos refieren a una carpeta de rodamiento con adoquín de 4" y una base granular mínima de 4".

I.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL TRAMO EN ESTUDIO

Como se muestra en figura 1, el tramo en estudio se localiza en el municipio de Estelí, Departamento de Estelí, distrito III de dicha ciudad; la cual tiene una longitud de 527.5 metros lineales. La ciudad de Estelí está ubicada en la región central-norte de Nicaragua, es cabecera departamental del departamento de Estelí y es el principal centro de comercio y servicios de la región segoviana. Situada en una superficie delimitada por su perímetro urbano de 31.68 Km.² representando un 3.7% de la extensión territorial del municipio y se encuentra a una altitud promedio de 845 m.s.n.m. La densidad de población es de 2,951 hab. /km² con una población estimada al 2004 de 93,484 habitantes.

I.1.1 Macro Localización.

Figura N° 1: Mapa de División Política-Nicaragua, Municipio de Estelí.



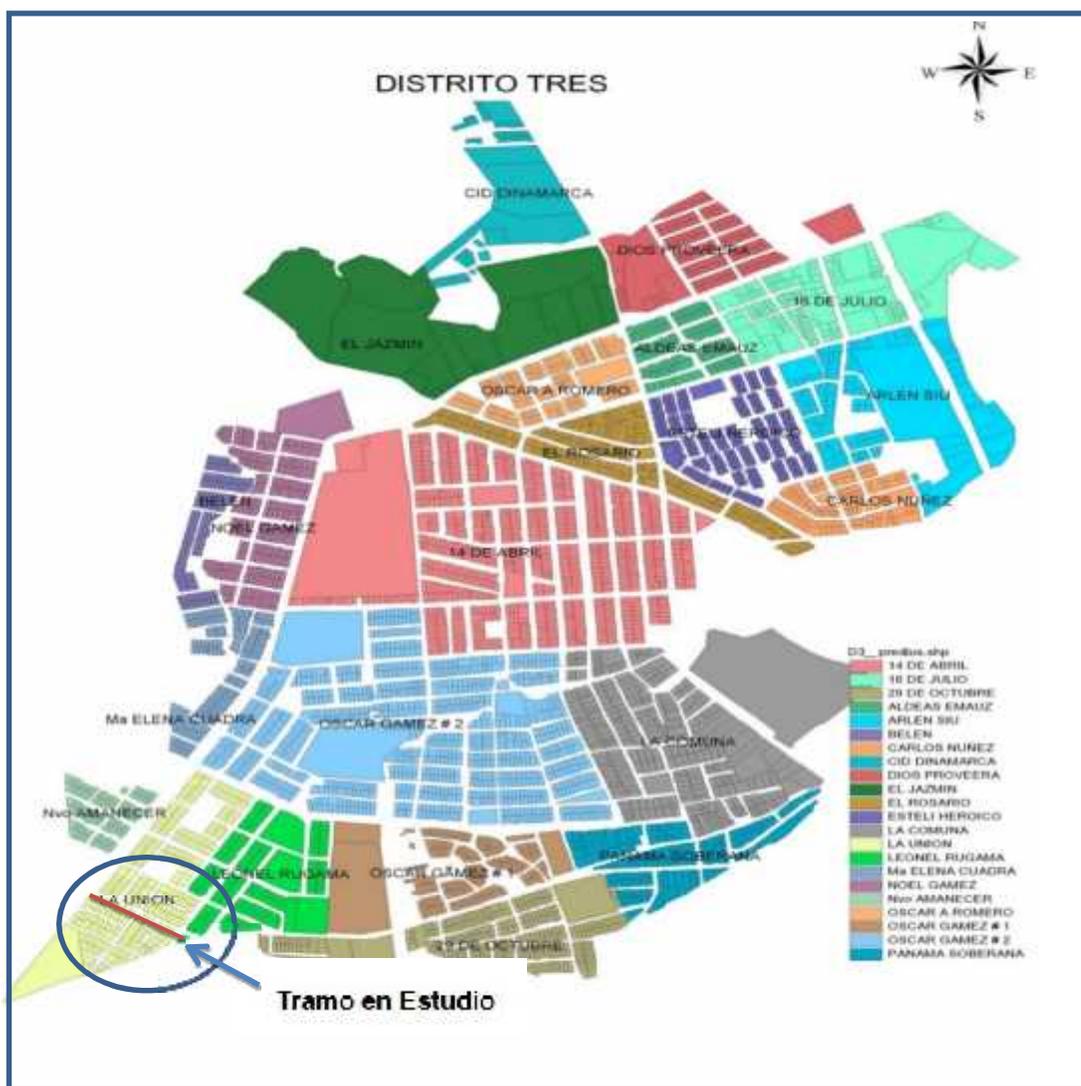
Fuente: Instituto Nacional de Turismo. (INTUR)

I.1.2 Micro localización.

La ciudad de Estelí está ubicada en la región central-norte de Nicaragua, es cabecera departamental del departamento de Estelí y es el principal centro de comercio y servicios de la región segoviana. Situada en una superficie delimitada por su perímetro urbano de 31.68 Km.² representando un 3.7% de la extensión territorial del municipio y se encuentra a una altitud promedio de 845 m.s.n.m. La densidad de población es de 2,951 hab. /km² con una población estimada al 2004 de 93,484 habitantes.

Micro localización.

Figura N° 2: Mapa de Organización Jerárquica de las Unidades Habitacionales.



Fuente: Plan de Desarrollo Urbano 2005-2015 Estelí-Alcaldía Municipal.

Figura N° 3: Micro localización.



Fuente: Plan de Desarrollo Urbano 2005-2015 Estelí - Alcaldía Municipal

I.2 ANTECEDENTES

En el año 2008, La alcaldía Municipal de Estelí, a través de la Dirección de ordenamiento Territorial Y Desarrollo Urbano-Alcaldía Municipal de Estelí, realizó un "Estudio de Transporte Urbano Colectivo" en las ocho principales ciudades de Nicaragua, entre ellas la ciudad de Estelí. Los resultados definieron un Plan de Ordenamiento Vial para la ciudad de Estelí y el ordenamiento del transporte urbano. El Plan incluye recomendaciones que se basan en: Una nueva estructura de la circulación urbana, una nueva estructura de rutas de buses y la aplicación de un modelo de análisis y de proyección de la demanda.¹

El análisis corresponde al Tramo La Unión– Preuniversitario, el tramo presenta una topografía variada y en ciertos lugares cuenta con algunas obras de drenaje como son: cunetas, vados y alcantarillas. El proceso de urbanización que ha experimentado esta ciudad en las últimas décadas ha demandado espacio físico para su crecimiento y el mejoramiento de la infraestructura vial.

El tramo La Unión- Preuniversitario, se ha convertido en un sitio de mucha importancia para la economía de la ciudad porque es la vía principal de acceso a las industrias de tabaco Drew State (Las más grandes del país), la conexión al Instituto Preuniversitario, una vía más cerca de acceso al nuevo cementerio Campos de Paz, conexión con la carretera hacia los municipios de El Sauce y Achuapa (departamento de León) y la carretera panamericana, entre otros.

El tramo actualmente está revestido con material selecto, las condiciones son desfavorables debido a la presencia de baches y de inmensas charcas que se forman en periodo de invierno, así como la falta de diseño y construcción de obras de drenaje de la carretera, que han provocado desgastes en la capa de rodadura resultado de la erosión del árido.

En años anteriores la alcaldía municipal, ha hecho grandes esfuerzos por mejorar las condiciones del tramo en estudio, invirtiendo en el mantenimiento, no así en las condiciones básicas que debe cumplir su estructura de pavimento. Pese a este esfuerzo no se cuenta con un diseño para este tramo en estudio aplicando un criterio general para los espesores de pavimento flexible que se desarrollan en esta comuna.

¹ Página web Alcaldía Municipal de Estelí. <http://www.go2esteli.com/alcaldia>

I.3 JUSTIFICACIÓN

Es necesario para garantizar el desarrollo de la ciudad de Estelí, construir y mantener una red vial en óptimas condiciones. Por esto debe ser una prioridad el conservar las vías en buen estado.

Los usuarios del tramo La Unión-Preuniversitario se ven afectados por las calles que se encuentran en mal estado. En este proyecto, se pretende diseñar una estructura de pavimento con adoquín en un tramo de 527.5 ml (metros lineales).

El diseño de la vía en estudio permitirá aumentar el nivel de la calidad de vida para los pobladores, mejorando las condiciones higiénico-sanitarias, eliminando baches y charcas que provocan las enfermedades respiratorias y dermatológicas de la población; brindando excelente accesibilidad a viviendas y centros de trabajo, reduciendo los tiempos de viajes, dándoles mayor seguridad y comodidad a los usuarios de la vía.

Esta vía funcionará como ruta alterna para los pobladores de la ciudad que viajan hacia los Municipios del Sauce y Achuapa del departamento de León, incrementando las actividades socio-económicas, por la integración e interrelación entre los municipios de Estelí, Achuapa y el Sauce, con el resto de los municipios del norte de nuestro país. De este modo promoverá el desarrollo económico a los pobladores, ganaderos, comerciantes, empresarios a través de la facilitación de la actividad ganadera muy conocida en esta región.

Por estas razones la realización de esta tesina tiene como fin generar una propuesta que pueda contribuir a la solución de la problemática existente en el tramo del sector antes mencionado; mejorando la calidad de vida de la población, así como la red vial.

I.4 OBJETIVOS

I.4.1 Objetivo General:

- ✓ Diseñar los espesores de la estructura de adoquín de 527.5 metros lineales; del tramo La Unión-Preuniversitario de la ciudad de Estelí, departamento de Estelí, empleando el método AASHTO 93.”

I.4.2 Objetivos Específicos:

- ✓ Determinar la cantidad de ejes equivalentes que circularán por el pavimento a diseñar mediante estudio de tránsito.
- ✓ Analizar los resultados de los estudios de suelos sobre la línea y de los bancos de materiales para la determinación de sus características físicas y mecánicas.
- ✓ Calcular los espesores de la estructura de pavimento con carpeta de rodamiento de adoquín, mediante el método de la AASHTO-93.

II. ESTUDIO DE TRÁNSITO

El estudio de tráfico es un elemento principal ya que, para la elaboración de cualquier tipo de diseño, tenemos que analizar cualitativamente y cuantitativamente las características del tramo en estudio.

El estudio de tránsito es necesario para llevar a cabo el análisis de las diferentes variantes para estimar el tránsito. Con estos datos se procederá a proyectar el tránsito que se estime, lo que permitirá calcular el espesor de pavimento necesario para soportar las cargas.

El desarrollo de éste estudio contempla los siguientes alcances:

- ❖ Evaluación del Tránsito Existente.
- ❖ Determinación del Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).
- ❖ Proyecciones de Tránsito Futuro.

II.1 Metodología de estudio

En esta metodología se describen los procedimientos aplicados en los trabajos de campo realizados, en los conteos volumétricos de tránsito de aforos vehiculares.

II.1.2 Tipología Vehicular

Incluyó todos aquellos vehículos diseñados para el transporte de pasajeros y algunos acondicionados para realizar tal actividad o función.

- |) **Motos:** Se consideraron todos los tipos de motocicletas.
- |) **Autos:** Se consideraron todos los tipos de automóviles de 4 puertas (Sedan).

) **Jeep:** Ser consideran como los cerrados de 4 puertas comúnmente destinados para uso familiar, por las facilidades que brinda su quinta puerta (trasera). Conocidos también como Vehículos Automotor Rústico. |

|
) **Camioneta:** Comúnmente determinadas como Pick Up (Utilitario) y que sirven para el transporte de mercancía liviana. |

|
) **Microbús (M.B.):** Se consideraron todos los tipos y marcas de microbuses con capacidades oscilante entre 10, 12 hasta 25 pasajeros. |

|
) **Autobús:** con una capacidad superior a los 42 pasajeros. |

II.1.3 Vehículos de Carga

Incluyó todos aquellos vehículos diseñados para el transporte de mercancías livianas y pesadas.

) **Camión Sencillo:** Incluyó a los camiones de tipo C-2 (2 ejes) y del tipo C-3 (tres ejes). |

II.2 Volumen y Clasificación

Los datos de Tráfico Promedio Diario Anual, así como los factores de ajuste estacional y otros parámetros, fueron obtenidos de los datos de campo y de los cálculos de gabinete.

La medición de los volúmenes del flujo vehicular se obtuvo realizando el aforo vehicular de tránsito; para obtener datos precisos sobre la cantidad de vehículos que circulan en la vía en estudio.

Aforo vehicular

Para la recolección de la cantidad de ejes equivalentes que circula por el sector que se está analizando se tomó un punto de referencia sobre el tramo en estudio La ubicación de la estación donde se realizó este conteo es la fábrica DREW-STATE, estación 0+000. Este punto es la entrada principal al barrio la Unión. Para realizar el conteo vehicular, este se realizó durante 12 horas continuas de 6:00 am y 6:00 pm, durante 5 días consecutivos. La estación de Conteo Vehicular se ubicó en una zona con visibilidad y con amplitud en los hombros, de manera que permitiera captar el tráfico en ambos sentidos de la vía donde se realizó el aforo de conteo y clasificación vehicular.

II.3 Tránsito Promedio Diario (TPD)

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario, conocido en forma abreviada como TPD, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de tiempo determinado, que es mayor a un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho tiempo de medición.

II.4 Tasa de Crecimiento Vehicular (TC)

Valor expresado en porcentaje que se utiliza para efectuar proyecciones de tránsito a mediano y largo plazo, a partir de datos estadísticos existentes y perspectivas de desarrollo de la zona.

Para estimar la tasa de crecimiento y realizar las proyecciones de tránsito de la vía en estudio, se analizarán las siguientes variables: PIB (Producto Interno Bruto), Tasa de Crecimiento Poblacional (Tc) y el historial del tránsito en la zona según datos del MTI.¹

¹ Fuente: Ministerio de Transporte e Infraestructura “Manual para revisión estudios de Tránsito-2011”

II.5 Producto Interno Bruto (PIB)

El PIB es el valor a precios de mercado de la producción corriente de bienes y servicios finales dentro del territorio nacional durante un periodo de tiempo, es decir, que se utiliza como un indicador de riqueza generada por un país, durante un año, un trimestre u otra medida de tiempo. Sin embargo, no mide la riqueza total con que esta cuenta.

De acuerdo a la dinámica del indicador PMI global el índice de directores de compras global (PMI, por sus siglas en inglés) de febrero 2016, la economía mundial mostró signos de estancamiento al ubicarse en 50.0, señalando una tendencia decreciente de la producción y la fragilidad de la industria a nivel global.

El crecimiento del producto interno bruto (PIB), para el año 2015 fue del 4.9 % así como también presentó valores de 3.3% para el año 2010 experimentando considerables mejorías en el 2011 con un 5.7% y 5% en el año 2012 y posteriormente tuvo para el año 2013 un 4.6% de crecimiento y para 2014 un 4.5%; según datos del Banco Central de Nicaragua (BCN), ver Tabla N° 1.

Este crecimiento del PIB presentado en los últimos años, se debe en gran medida a la dependencia que el país tiene hacia el petróleo y sus derivados; cuyos precios han estado en variando constantemente lo cual causa un impacto directo en la economía del país. En la siguiente tabla (Tabla N° 1) ilustramos los diferentes porcentajes del PIB.

La tabla N° 1 presenta las variaciones de crecimiento económico, expresada en tasas de crecimiento del PIB, que Nicaragua ha tenido durante los últimos diez años.

Tabla N° 1

Tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto en los últimos 10 años

Año	Crecimiento PIB %
2006	3.9
2007	3.75
2008	2.8
2009	1.5
2010	3.3
2011	5.7
2012	5.0
2013	4.6
2014	4.5
2015	4.9
PROMEDIO	3.99

Fuente: Bloomberg / Foodservices /BCN. Banco Central de Nicaragua

Dado que el producto interno bruto (PIB) es variable, para efectos de análisis de proyección de tránsito, se usó como tasa anual de crecimiento, el promedio de las diferentes tasas del PIB (**3.99**).

II.5.1 Crecimiento Poblacional

El crecimiento poblacional es la segunda variable a analizar, en el que se puede mostrar que la municipio de Estelí ha tenido un promedio de crecimiento del **1.6%** que corresponde al último censo comprendido entre el periodo 1995-2005, presentada por el Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE), se compara con las tasas promedio del PIB y TPDA obtenidas de los cálculos anteriores, con el objetivo de encontrar una tasa que se ajuste a la realidad económica actual del país, y que esta sirva para encontrar el TPDA del año base, a partir del cual se harán las proyecciones para el tránsito futuro.

II.5.2 Comportamiento de Estaciones de conteo de tránsito

El proyecto en estudio, según los registros de la estación de control N° 3501; la cual corresponde al Empalme Santa Cruz – San Nicolás de Oriente del Anuario de Aforos de Trafico del MTI, correspondiente al año 2011 (*Ver Tabla N° 2*), ha tenido un volumen que varía de año en año, este comportamiento irregular del flujo vehicular se considera que ha sido principalmente, consecuencia de las condiciones físicas de la superficie de rodamiento a lo largo de todo el tramo.

Se seleccionó esta estación de control porque la cantidad y los tipos de vehículos que por esta circulan son similares a los de los tramos en estudio, siendo la referencia más cerca existente, por lo tanto, los factores de expansión serán proporcionales al crecimiento vehicular en dicho tramo. Al aplicar cálculo se obtiene una tasa de crecimiento vehicular para este tramo con un valor del 6.1 % la cual es fluctuante el TPDA entre año y año, no comportándose de esta manera entre el año inicial y el último año tomado en la estación de control.

**Tabla N° 2: Historial de Transito Estacional de *Control N° 3501* del Tramo:
Empalme Santa Cruz – San Nicolás**

Año	TPDA
2003	205
2005	230
2007	313
2009	277
2011	276

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2011.

II.5.3 Selección de la Tasa de Crecimiento

Tras haber analizado las variables, se puede notar que el Producto Interno Bruto (PIB), tuvo un promedio de crecimiento **3.99%** en el periodo del 2006 al 2015; esperando que se incremente paulatinamente en los próximos años, como un beneficio de la implementación de programas de desarrollo económico del gobierno de unidad y reconciliación nacional, lo que conlleva a un incremento en la producción.

En cuanto a la segunda variable analizada que es la población, se puede observar que la tasa de crecimiento de la misma ha disminuido gradualmente en los últimos años. Por tal razón se utilizará la tasa de crecimiento de **1.66%** **1.7%**.

Tabla Nº 3 Tasa de crecimiento y densidad poblacional de Nicaragua Censos desde 1906 hasta 2005.

Censo	Periodo inter censal	Población	Tasa de crecimiento %	Densidad Hab/km ²
1906		501849		4.17
	14		1.7	
1920		633622		5.27
	20		1.4	
1940		829831		6.90
	10		2.4	
1950		1049611		8.72
	13		2.9	
1963		1535588		12.76
	8		2.5	
1971		1877952		15.61
	24		3.5	
1995		4357099		36.21

	10		1.7	
2005		5142098		42.73

Fuente: INEC-Resumen Censal

La tasa de 1.66 % que corresponde al último censo comprendido entre el periodo 1995-2005, presentada en la *tabla N° 3*, se comparara con las tasas promedio del PIB y el TPDA obtenidas en los cálculos anteriores, con el objetivo de encontrar una tasa que se ajuste a la realidad económica actual del país, y que esta sirva para encontrar el TPDA del año base del proyecto, a partir del cual se harán las proyecciones para el tránsito futuro.

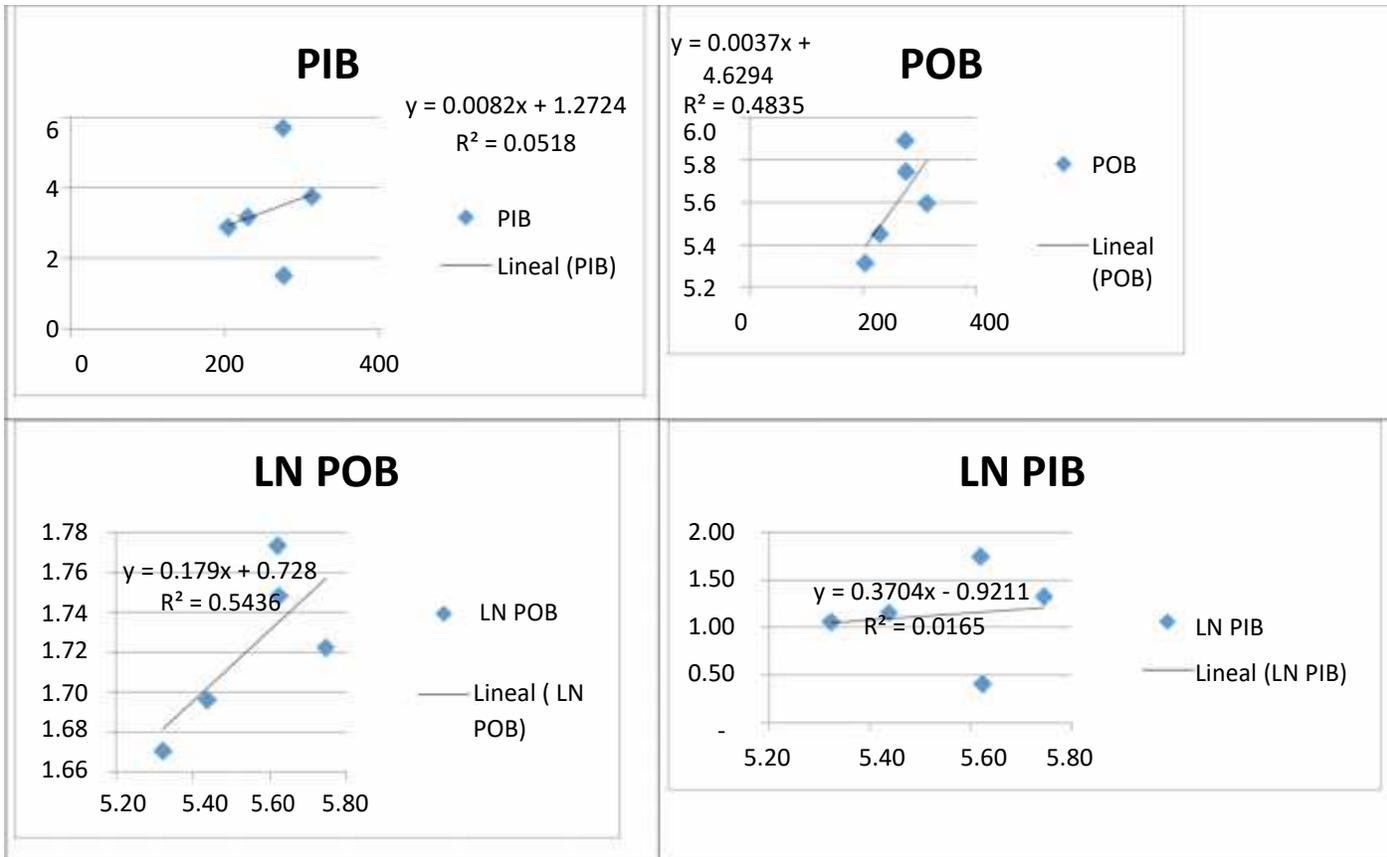
Tabla N° 4 Correlaciones TPDA - PIB

Año	TPDA	PIB	POB
2003	205	2.87	5.3
2005	230	3.16	5.5
2007	313	3.75	5.6
2009	277	1.5	5.7
2011	276	5.7	5.9
Tasas de crecimiento	3.79 %	3.99%	1.70 %

Fuente: Elaboración propia.

Se intentó generar correlaciones entre el TPDA histórico de estación de referencia con relación al Producto Interno Bruto, así como la población, para esto se realizaron correlaciones lineales entre las variables y se evaluaron las tasas generadas tal y como se muestra en la figura siguiente;

Gráfico de Regresión y Correlación Lineal Simple



Fuente: Elaboración propia

Los resultados se muestran en tabla siguiente:

Tabla Nº 5

Año	TPDA	PIB	POB
2003	205	2.87	5.3
2005	230	3.16	5.5
2007	313	3.75	5.6
2009	277	1.5	5.7
2011	276	5.7	5.9

Tasas de crecimiento 3.79% 3.99% 1.70%

Factor Correlación Tasas		0.37	0.17
Tasa de crecimiento diferenciada		1.48%	0.29%

Fuente: Elaboración propia

Debido a que no se logró encontrar una tasa correlacionada entre PIB, POB en referencia al TPDA; considerando lo antes expuesto se asumirá una tasa de crecimiento para el tránsito a proyectar de 3.16%, considerando que esta es la que mejor se ajusta a las expectativas de crecimiento y desarrollo de la ciudad de Estelí.

II.6 Período de Diseño

Es el lapso durante el cual la estructura que se diseña deberá funcionar con un nivel de serviciabilidad superior al mínimo sin requerir de acciones de conservación diferentes a la de un mantenimiento rutinario.

Según la tabla N° 6, el periodo de diseño recomendado para esta vía, clasificada como Colectora Suburbana, es de 10 a 20 años. Para efectos de diseño el periodo a utilizar es de **20 años**.

Tabla N° 6: Período de Diseño.

Tipo de Carretera	Período de Diseño
Autopista Regional	20 – 40 Años
Troncales Sub-urbanas	15 – 30 Años
Troncales Rurales	
Colectoras Sub-urbanas	10 – 20 Años
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual C.A de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2001.

II.6.1 Cálculo del tránsito futuro del proyecto

$$T_n = T_0 (1+i)^n$$

T_n = Tránsito en el año n

T_0 = Tránsito del año inicial

i = Tasa de crecimiento anual del tránsito.

n = Diferencia entre el año inicial y el año n.

II.6.2 Cálculo de tránsito de diseño

Es la cantidad de vehículos por cada tipo, que se espera que circulen durante toda la vida útil del proyecto. Para efectuar el cálculo se utilizó la siguiente ecuación:

$$TD = T_0 \times FD \times Fc \times FCA \times 365$$

Donde:

TD = Tránsito de diseño

T_0 = Tránsito del año inicial

FD = Factor direccional

Fc = Factor carril

n = Período de diseño

Días de un año= 365

FCA = Factor de crecimiento anual establecido por:

$$FCA = \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

Donde:

FCA = Factor de crecimiento.

i = Tasa de crecimiento del tránsito de diseño.

n = Período de diseño.

Para encontrar el tránsito de diseño se aplicaron los valores de T_n 2015 y la tasa de crecimiento del tráfico futuro de 3.16%.

Colocar el factor de crecimiento.

$$FC = \frac{(1 + 0.0316)^{20} - 1}{0.0316}$$

$$FCA = 27.31$$

II.6.3 Período de Diseño (n)

Se utilizará un período de diseño de 20 años, porque más allá de ese período resulta difícil estimar el tránsito, por las dificultades de prever los cambios posibles en el uso del suelo y realizar proyecciones confiables sobre la situación socio-económica de la población, dentro del área de influencia del proyecto. (Anexos Tabla N° 5).

II.6.4 Factor Direccional (FD)

El factor direccional se expresa como la relación que existe entre el tráfico y el sentido de circulación. Para el proyecto se utilizará un $FD=0.5$ que corresponde a carreteras de dos carriles, según la norma AASHTO. Con este valor se considera que la mitad de los vehículos va en una dirección y la otra mitad en la otra dirección.

II.6.5 Factor Carril (FC)

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de Esal's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. La AASHTO recomienda algunos valores (ver tabla N° 7). Como la vía posee un carril por dirección, según la AASHTO le corresponde un factor carril igual a 1, debido a que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por el carril de diseño.

Tabla N° 7: Factor Carril

Número de carriles	Factor carril
1	1.00
2	0.80 a 1.00
3	0.60 a 1.00
4	0.50 a 0.75

Fuente: Guía Para el Diseño de Estructura de Pavimento, AASTHO-93

II.7 Cálculo de las repeticiones esperadas por ejes

Una vez obtenido el tránsito de diseño se procedió a calcular la cantidad de ejes equivalentes por cada tipo de vehículos que se esperan durante la vida útil del proyecto.

Se debe tener en cuenta que la carretera que se está analizando está ubicada en una zona rural, y que será diseñada para dos carriles, un carril por dirección.

En las tablas presentadas a continuación se muestran los resultados obtenidos en el estudio de tránsito.

Tabla Nº 8

RESUMEN SEMANAL DE 12 HRS POR TIPO DE VEHICULO EN LA ESTACION DE AFORO 0 + 527.5

RESUMEN SEMANAL POR TIPO DE VEHICULO											
Hora	Vehículos Livianos					Pesados de Pasajeros		Pesados de Carga			Total
	Moto	Autos	Jeep	Camionetas	Mibus	MB > 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	
Lunes	121	108	27	55	4	0	0	19	22	0	356
Martes	127	85	27	68	5	0	0	20	23	0	355
Miércoles	108	87	32	59	4	0	0	22	34	0	346
Jueves	110	100	26	64	8	0	0	24	22	0	354
Viernes	132	94	21	68	6	0	0	24	22	0	367
VPD 12 H	120	95	27	63	5	0	0	22	25	0	356
% por Tipo de Vehículo	33.63	26.66	7.48	17.66	1.52	0.00	0.00	6.13	6.92	0	100.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla Nº 9

PROYECCIÓN DEL TPDA EN EL AÑO BASE.

RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA PROYECCION DEL TPDA PARA EL AÑO BASE.											
Hora	Vehículos Livianos				Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga			Total
	Moto	Autos	Jeep	Camionetas	Mibus	MB > 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	
VPD 12 H	120	95	27	63	5	0	0	22	25	0	356
Factor Día	1.24	1.08	1.28	1.35	1.1	1.13	1.2	1.22	1.28	1.11	
Factor Semanal	0.95	1.01	1.07	1	0.95	0.95	0.98	0.91	0.96	0.97	
Factor Expansión	1.13	0.98	0.94	0.98	0.90	0.82	1.00	1.00	1.02	1.09	
TPDA	159	142	34	82	6	0	0	24	28	0	475
% Por Tipo de Veh.	34	30	7	17	1	0	0	5	6	0	100
% Vehículos Livianos	89				% Vehículos Pesados			11			100.0

Fuente: Elaboración propia. Factores tomados de anuario de transito MTI-2011

Nota: El anuario 2015 no contempla la estación 3501. Empalme Santa Cruz– San Nicolás.

Tabla N° 10

TABLA DE FACTORES UTILIZADOS PARA EL TRAMO EN ESTUDIO

Descripción	Moto	Carro	Jeep	Camioneta	MicBus	MinBus	Bus	Liv. 2-5 t.	C2	C3
Factor Día	1.24	1.48	1.28	1.33	1.40	1.13	1.20	1.22	1.28	1.11
Factor Semana	0.95	1.03	1.07	1.00	0.95	0.96	0.98	0.91	0.86	0.87
Factor Fin de Semana	1.13	0.92	0.86	1.00	1.15	1.11	1.05	1.35	1.70	1.56
Factor Expansión a TPDA	1.13	0.98	0.94	0.98	0.90	0.80	1.00	1.00	1.02	1.09

Fuente: Anuario de aforo 2011, estación 3501 Empalme Santa Cruz– San Nicolás.

Tabla N° 11

DETERMINACION DEL TRANSITO FUTURO NORMAL

Tasa de crecimiento vehicular (i)	3.16%									
Numero de años del periodo de diseño (n)	20	Años								
Proyeccion del Transito de Diseño	$T_n = T_0 (1 + i)^n$	Donde	T_0 - Transito Año Base						1.86	
			i - Tasa de Crecimiento Vehicular							
			n = Periodo de Diseño							
1.0316			T_n - Transito Promedio para el año n							

Tabla N° 12

Resultados obtenidos para la proyeccion de diseño

Año	Vehículos Livianos			Pesados de Pasajeros				Pesados de Carga			Total
	Moto	Autos	Jeep	Camionetas	Mbus	MB > 15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	
Año Base 2016	159	142	34	62	6	0	0	24	28	0	475
2017	164	148	35	64	7	0	0	25	28	0	493
2018	169	157	36	67	7	0	0	26	29	0	510
2019	175	165	37	70	7	0	0	27	30	0	522
2020	180	172	38	73	8	0	0	27	31	0	533
2021	186	180	40	76	8	0	0	28	32	0	555
2022	192	187	41	79	8	0	0	29	33	0	573
2023	198	195	43	82	9	0	0	30	34	0	591
2024	204	202	44	85	9	0	0	31	35	0	613
2025	211	210	45	88	9	0	0	32	36	0	629
2026	217	217	47	91	9	0	0	33	37	0	647
2027	224	225	48	94	9	0	0	34	38	0	669
2028	231	232	50	97	9	0	0	35	39	0	693
2029	239	240	51	100	10	0	0	36	40	0	712
2030	246	248	52	103	10	0	0	37	41	0	735
2031	254	256	53	106	10	0	0	38	42	0	753
2032	262	263	54	109	11	0	0	39	43	0	782
2033	270	271	55	112	11	0	0	40	44	0	806
2034	279	278	56	115	11	0	0	41	45	0	832
2035	288	286	57	118	12	0	0	42	46	0	853
2036	296	294	58	121	12	0	0	43	47	0	885

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13

FACTORES DE DISTRIBUCION DEL TRAMO

FACTORES DE DISTRIBUCION DEL TRANSITO			
Factor de Crecimiento (FCA)	$((1+i)^n - 1) / i$	9968.88	
Factor Direccional (FD)	0.5	Por ser Camino de 2 Sentidos	
Factor Carril (fc)	1	Por ser Camino de 2 Carriles	

Fuente: Elaboración propia

Nota: En la expresión de Factor de crecimiento FCA se muestra un factor considerando los 365 días del año. Es decir que se expresa el FCA * 365.

Tabla N° 14

TRANSITO DE DISEÑO

TRANSITO DE DISEÑO = FCA * FD * fc											
Dia	Vehiculos Livianos			Pesados de Pasajeros			Pesados de Carga				
	Autos	Jeep	Camionetas	Mbus	MB >15 P	Bus	C2 Liv	C2 > 5 ton	C3	C4	C2R3
Transito de Diseño	705910.69	170694.54	407993.99	32218.43	0.00	0.00	120635.22	137676.59	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15

CÁLCULO DE EJES ESAL'S

RESULTADO OBTENIDO PARA ESAL'S DE DISEÑO																							
Tipo de Vehículo	Peso x Eje (Lbs)	T2016	FC	FD	fc	TD	Factor ESAL's	ESAL's de Diseño															
Autos	2200	142	9968.9	0.50	1	705910.69	0.00038	268.25															
	2200						0.00038	268.25															
Jeep	2200	34				9968.9	0.50	1	170694.54	0.00038	64.86												
	2200									0.00038	64.86												
Camionetas	2200	82							9968.9	0.50	1	407993.99	0.00038	155.04									
	4400												0.0034	1387.18									
Mbus	4400	6										9968.9	0.50	1	32218.43	0.0034	109.54						
	8800															0.0502	1617.36						
C2 Liviano	8800	24													9968.9	0.50	1	120635.22	0.0502	6055.89			
	17600																		0.9206	111056.78			
C2 > 5 ton	11000	28																9968.9	0.50	1	137676.59	0.1265	17416.09
	22000																					2.35	323539.99
Total																							462004.09

FC=FCA= Factor de Crecimiento; FD=Factor direccional; fc=Factor Carril; TD=Transito de diseño; Factor ESAL's= Factores Equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, SN=5.0

Fuente: Elaboración propia.

ESAL's= 462004.09* 1.05= 485104.29

ESAL's de diseño = 485104.29

NOTA:

El ESAL'S de diseño es multiplicado por el 5% tomando en cuenta el trafico atraído, es importante señalar que el trafico proveniente de la zona tiene la opción de tomar las demás rutas opcionales cercanas al sitio del proyecto, debido a que no se realizaron encuestas de origen y destinos sobre la vía no se disponen de datos para definir qué cantidad de dicho tráfico puede ser considerado como potencial usuario de la nueva vía, por lo que proponemos una opción optimista del 5% del tráfico atraído que se sumaría al ESAL'S de diseño, estudios anteriores cercanos a la vía utilizan esta misma tasa de trafico atraído.

III. ESTUDIO DE SUELO

La construcción del pavimento se inicia estudiando la zona por donde se va a construir la vía y preparando el terreno o subrasante. Analizando las propiedades que deben tener cada una de las capas del pavimento, los materiales de que estarán compuestas y la manera de construirlas. En esta sección se presentan las propiedades que deben cumplir los materiales utilizados en la construcción de pavimento. Se incluirán también las propiedades físico – mecánicas de los materiales que forman la estructura del camino existente; como la del banco de material a utilizar en la nueva estructura.

Las propiedades de los suelos es uno de los datos más importantes en el diseño de un pavimento. Estas propiedades siempre estarán presentes, aunque cambien mediante tratamientos especiales tales como estabilización, compactación, etc. Para conocer estas propiedades es necesario un muestreo que abarque todo el trazo del proyecto, a las que se les realizara ensayos en laboratorio como:

- ❖ Granulometría.
- ❖ Límites de Atterberg.
- ❖ Valor Soporte (CBR).
- ❖ Densidad (Proctor).
- ❖ Humedad.

Aspectos a considerar en el Estudio Geotécnico

- |) Especificaciones de los materiales que integran el pavimento Semi-rígido.|
- |) Análisis de los sondeos de Línea de los sectores en estudio.|
- |) Propiedades de materiales del banco de préstamo cercano al sitio.|

Especificaciones de los Materiales que Integran el Pavimento Flexible

Este tipo de pavimento es un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales (base, sub – base, superficie de rodadura), cuya función principal es soportar las cargas rodantes y transmitir los esfuerzos al terreno (sub – rasante), distribuyéndolos en cada una de las capas y cuya estabilidad depende del entrelazado que las conforman.

La capa superior del pavimento Flexible está formada por elementos prefabricados de pequeñas dimensiones (Adoquines) que individualmente son muy rígidos, que transmite los esfuerzos al suelo de soporte mediante un mecanismo de disipación de tensiones, estas piezas deben cumplir con las normas ASTM y las vías en que se utilizan deben cumplir con las normas de diseños para espacios urbanos (NTON-5.0)

III.1 Sub – Rasante.

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

La resistencia de la subrasante es un factor básico en la determinación de los espesores de las capas del pavimento y se evalúa en Nicaragua normalmente por medio de la prueba del CBR. Las especificaciones para el uso de suelo como sub – rasante se encuentran en el (Anexo, Tabla N° 43).

III.2 Sub – Base.

Parte de la estructura del pavimento construida directamente sobre la sub – rasante y que sirve de soporte a la base. Esta capa destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la sub – rasante la pueda soportar adsorbiendo las variaciones inherentes ha dicho suelo.

La sub – base debe controlar los cambios de volumen y elasticidad de la sub – rasante que serían dañinos para el pavimento. Una de las funciones principales de la subbase es de carácter económico, ya que se usa para disminuir el espesor del material de base (material que tiene un mayor costo normalmente). Desde el punto de vista estructural su función es similar a la de la base.

Otra función consiste en servir de transición entre el material de base, generalmente granular más o menos grueso, y la propia subrasante, generalmente formada por materiales más finos. La sub base más fina que la base, actúa como filtro de esta e impide su incrustación en la subrasante. La sub base también se coloca para absorber deformaciones perjudiciales de la terracería, por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento. Además de actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre al pavimento y para impedir la ascensión capilar del agua procedente de la terracería hacia la base. En el (*Anexo, Tabla N° 44*) se muestran las especificaciones de los materiales requisitos para la sub– base granular.

III.3 Base.

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la sub–base y a través de esta a la sub–rasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura.

La base es un elemento fundamental desde el punto de vista estructural, su función consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a las capas inferiores, los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada. La base en muchos casos debe también drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por los hombros del pavimento, así como impedir la ascensión capilar. Desde el punto de vista económico, la base permite reducir el espesor de la carpeta que es más costosa. Las especificaciones de los materiales empleados en la capa base se plasman en (*Ver Anexo, Tabla N° 45*).

III.4 CARPETA

La carpeta debe de proporcionar una superficie de rodamiento adecuada con textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito. Además, debe ser una capa prácticamente impermeable, constituyendo una protección para la base. Está conformada por los adoquines de concreto, colocados sobre una capa de arena y con un sello de arena entre sus juntas. De la misma manera que los pavimentos de asfalto, pueden tener una base, o una base con una sub-base, que pueden tener espesores ligeramente menores que para los de asfalto. También se consideran como pavimentos flexibles y son del color gris claro del concreto.

III.4.1 Sondeos Manuales en el Tramo La Unión-Preuniversitario

Este estudio de suelo fue facilitado por el Departamento de Planificación de la Alcaldía de Estelí, el cual consiste en 4 sondeos manuales y un total de 8 muestras a lo largo del tramo en estudio (*Ver Tabla N°16*) incluyendo la muestra correspondiente al banco de préstamo “El Limón”; estudio realizados por El Laboratorio de Materiales y Suelos de la Universidad Nacional de Ingeniería y Laboratorio de suelos. Ingenieros Consultores y Planificadores. Corasco. En toda la longitud de 527.5 metros lineales en el tramo La Unión-Preuniversitario del tramo en estudio a una distancia entre ellos de aproximadamente 120 metros a lo largo de la vía y a una profundidad de 1.5 metros. Cabe señalar que de cada sondeo se tomaron muestras de los estratos de suelo encontrados, las que posteriormente fueron trasladadas al Laboratorio de Materiales y Suelos con la finalidad de efectuar los respectivos análisis y determinar las características del suelo que conforman la estructura del camino y banco de material más cercano.

Tabla N° 16 Sondeos Efectuados

Localización	Sondeo N°	Estación	Banda del Sondeo
Tramo La Unión-Preuniversitario	Sm-1	0+150	Izquierda
	Sm-2	0+300	Derecha
	Sm-3	0+450	Izquierda
	Sm-4	0+527.5	Centro

Fuente: Elaboración propia, 2016

III.4.2 Trabajos de laboratorio

En Nicaragua se hacen uso de las especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes (NIC 2000) que son las normativas en la administración y construcción de obras viales a nivel nacional.

Los materiales extraídos durante el muestreo fueron seleccionados de acuerdo a la naturaleza, profundidad y composición de sus partículas para luego ser ensayados según lo indica la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) y la AASHTO. Las muestras obtenidas de los sondeos y del banco de material fueron sometidos a los ensayos siguientes:

Tabla N° 17 Ensayes de Laboratorio

Tipo de Ensaye	Especificaciones A.S.T.M	Designación A.A.S.H.T.O
Análisis granulométrico de los suelos	D – 422	T - 2788
Límite líquido de los suelos	D – 418	T 89 – 90
Índice de plasticidad de los suelos	D – 418	T 90 – 97
Pesos Unitarios		T 19 – 88
Ensaye Proctor Estándar	D 698 – 91	T 180 – 90
Ensaye C.B.R.	D1883 – 73	T 193 – 81

Fuente: Estudio de Suelo, Tramo La Unión-Preuniversitario. Ciudad de Estelí, Elaboración propia.

III.4.3 Límites de Consistencia de los Suelos.

En los estudios de suelo proporcionados por la Alcaldía de Estelí, se encontró la realización del ensayo de Atterberg para la determinación de las características que poseen los granos menores no considerados en el análisis mecánico de los suelos, con este ensayo se obtiene el límite líquido que es el punto que separa el estado líquido y plástico del material, y límite plástico que es el punto intermedio entre el estado sólido y plástico del suelo ensayado del Tramo La Unión-Preuniversitario (Ver Tabla N° 18).

Tabla N° 18: Resultados obtenidos de las muestras ensayadas en el sector 12 se muestran en la siguiente tabla:

LÍMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO ENSAYADO.

	MUESTRA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD
LOCALIZACIÓN TRAMO LA UNIÓN - PREUNIVERSITARIO	Sm-1-1	32.1	30.3	1.8
	Sm-2-1	25.8	24.0	1.8
	Sm-4-1	-	-	NP
	Sm-4-1	-	-	NP
	Sm(1,2; 2,2; 3,2; 4,2)	-	-	NP

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí-Obras Municipales, 2015. Laboratorio de suelos. Ingenieros Consultores y Planificadores CORASCO.

III.5 Clasificación de los Suelos

Basándose en los resultados de la granulometría de las muestras ensayadas y los resultados del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad; los suelos en estudio se clasificaron por el sistema AASHTO (Ver Anexo, Figura 17).

Tabla N° 19: Clasificación de las Muestras por el método de la AASHTO

Localización	Muestra	Clasificación A.A.S.H.T.O
Distrito Tres	Sm 1 - 1	A-4
	Sm 1- 2	A-2-4
	Sm 2- 1	A-4
	Sm 2- 2	A-2-4
	Sm 3- 1	A-1-b
	Sm 3- 2	A-2-4
	Sm 4- 1	A-1-b
	Sm 4- 2	A-2-4
Banco "El Limón"		A-1-b

Clasificación de los suelos ensayados.
Fuente: Elaboración propia, 2015.

III.5.1 Análisis de resultado de clasificación

En base a los reportes técnicos de campo y los resultados de laboratorio (Ver Tablas N° 20) se puede afirmar que en el tramo en estudio predominan los siguientes tipos de suelo:

III.5.2 Tramo La Unión-Preuniversitario

De acuerdo a los resultados de laboratorio realizados a los 4 sondeos elaborados a lo largo de los 527.5 metros lineales correspondientes al tramo en investigación del Tramo La Unión-Preuniversitario se encontró:

Suelos que se catalogan por el sistema AASHTO como Gravas y Arenas limo arcillosas que se clasifican como **A-4 (2)** con índice de grupo 0 se considera por el sistema de clasificación de suelos AASHTO como material bueno para ser utilizado como sub-rasante; Gravas y Arenas limo arcillosas que se clasifica como **A-2-4 (4)** con índice de grupo 0 se clasifica por el sistema AASHTO como material muy bueno para Sub-rasante y suelos con grava arena limo arcilloso en poca cantidad tipo A-1-b (2) con índice de grupo 0 este tipo de suelo se considera No plástico, excelente para sub-rasante, por el sistema AASHTO.

III.5.3 Secuencia Estratigráfica

La secuencia estratigráfica de los sondeos está comprendida desde el nivel de terreno natural hasta una profundidad constante de 1.5 metros.

La profundidad y características de los estratos encontrados en cada uno de los sondeos realizados se presentan en el (ANEXO, Tabla N° 48); correspondiente al tramo la unión-preuniversitario

Se observa una secuencia estratigráfica uniforme, desde la superficie, hasta la profundidad investigada de 1.50 metros, predominando material correspondiente a grava y arena limo arcillosa, que se clasifica del tipo A-2-4 (0) en un 50%, A-4 (25%) y A-1-b (25%). Clasificado entre muy bueno y excelente para subrasante según AASHTO.

III.5.4 Resultados de las pruebas de CBR realizadas al Banco de Préstamo.

Para el ingeniero de carreteras, el comportamiento mecánico del suelo es sin duda el factor más importante; de hecho, las propiedades y ensayos vistos anteriormente van encaminado a conseguir la mayor estabilidad mecánica posible, de forma que las tensiones se transmitan uniforme y progresivamente, y no se produzcan asientos excesivos o incluso un colapso de fatales consecuencias.

Este ensayo se realizó solo a la muestra correspondiente al banco de material “San Roque”, ubicado casi a orillas del proyecto a ejecutar (Ver Anexo Tabla N° 54).

La explotación de los bancos de materiales consiste en el uso racional de minerales no metálicos, provenientes de unidades geológicas o depósitos (acumulación natural) útiles al medio ambiente para ser utilizados en la construcción de terraplenes, terracería, sub-base, base, finos y agregados triturados para carpeta asfáltica, drenaje mayor y menor, entre otros, incluidos dentro del paquete estructural de la carretera.

Las muestras de la fuente de material fueron trasladadas al laboratorio para su análisis respectivo, para ver si puede suplir las necesidades del proyecto en este aspecto.

El banco analizado se encuentra en explotación, por lo que no es necesario realizar trincheras, ya que la estratigrafía se puede observar a simple vista en el corte existente en el mismo.

Esta fuente de materiales está localizada a 1.5 Km. mano derecha, de la salida carretera al Sauce. Sus características se describen a continuación:

Tabla N° 20: Resultado de Laboratorio

BANCO	UBICACIÓN	% QUE PASA POR LA MALLA					LL	LP	CBR A			VOLUMEN EXPLOTABLE (m ³)
		N° 2	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200			90	95	100	
4*	Salida San Roque 1.5 km al noroeste.	100	40.124	27.258	11.689	6.292		NP	37	69	100	38,000

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing. de Materiales y suelos. IMS 4* y 5*: Laboratorio de suelos. Ingenieros Consultores y Planificadores CORASCO. AASHTO: Fragmentos de piedras gravas y arena. SUCS: Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)

Conformada por material correspondiente a gravas y arenas limo arcillosas según el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, este material se clasifica del tipo A-1-b, su índice de grupo es cero. La pequeña cantidad de fracción fina que contiene este material es de alta compresibilidad y de baja plasticidad, su CBR es de 69 %.

Según la sección 1003.23 – II de la NIC-2000, los bancos de material descritos anteriormente no cumplen como materiales óptimos para ser utilizados en base.

El material necesario para capa de sub-base se extraerá únicamente del banco de préstamo N°4 “San Roque” con un CBR de diseño de 69% para material de base.

El banco de materiales “San Roque” podrá ser utilizado como sub base ya que las especificaciones generales para la construcción de caminos calles y puentes sección 1003 agregados suelos y roca, II. - Requisito de los materiales, inciso a. Sub Base, página 530, nos dice que el CBR mínimo para sub-base es de 40%.

Debido a que este banco (N° 4) no cumple con la norma mínima de 80% de CBR establecida por la AASHTO, normas requeridas se utilizara el banco “El limón” abalado por la alcaldía municipal de Estelí con un CBR de 85% a una compactación del 95 %. (Anexo N° 8). Para el material requerido para base. Según el sistema de clasificación de suelos de la AASHTO, este material se caracteriza de bueno para ser utilizado como material de base y sub-base en estructuras de pavimento.

IV Estructura de Pavimento

El método que se utilizó para realizar el diseño de la estructura de pavimento en este trabajo monográfico fue el de la A.A.S.H.T.O. 93, este método involucra los estudios abordados anteriormente.

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

- ❖ Método Directo
- ❖ Murillo López de Souza
- ❖ Método Argentino
- ❖ Método Británico
- ❖ A.A.S.H.T.O

El método A.A.S.H.T.O es el más usado y cuenta con dos técnicas de diseño para estructuras de pavimento: rígido y flexible. Para el diseño propuesto a continuación se utilizó el método flexible tomando ciertas consideraciones:

Suponer que el pavimento de adoquín trabaja como pavimento flexible, está basado en la forma cómo este asimila las cargas y las transmite a los demás miembros de la estructura de pavimento, trabajando de forma articulada y a la vez como una pequeña losa.

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

Fuente: Manual C.A para diseño de pavimento.

El método A.A.S.H.T.O, contempla la implementación de modelos matemáticos donde se ven involucradas variables que condicionan el desarrollo de estos.

IV.1 Confiabilidad

Las estadísticas tienen su aplicación en este modelo matemático tratando de obtener una tendencia de funcionalidad de las predicciones que se tomen, la selección del nivel apropiado para el diseño de un pavimento radica en el uso esperado de ese pavimento. La **A.A.S.H.T.O** ha propuesto un cuadro de porcentajes de confiabilidad de acuerdo al grado funcional.

Tabla N° 21
Confiabilidad recomendada de acuerdo al tipo de camino

Tipos de caminos	Confiabilidad Recomendada (NC(R))	
	Zonas Urbanas	Zonas Rurales
Rurales Interestatales y Autopistas	85 – 100	80 – 100
Arterias Principales	80 – 99	75 – 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993

El valor utilizado $N_c(R)$ es de 85%. Por ser el tramo de proyecto un tipo de camino colectoras y estar ubicado en una zona urbana. Si se tiene este valor es fácil elegir los valores de **ZR** en la curva normal para diversos grados de Confiabilidad.

Tabla N° 22

Valores de ZR dependiendo del porcentaje de confiabilidad

Confiabilidad (R)	Valor ZR	Confiabilidad (R)	Valor ZR
50	- 0.000	93	- 1.476
60	- 0.253	94	- 1.555
70	- 0.524	95	- 1.645
75	- 0.674	96	- 1.751
80	- 0.841	97	- 1.881
85	- 1.037	98	- 2.054
90	- 1.282	99	- 2.327
91	- 1.340	99.9	- 3.090
92	- 1.405	99.99	- 3.750

Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993

IV.2 Desviación Estándar (SO)

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

Para la estimación de la desviación estándar, la **A.A.S.H.T.O.** ha dispuesto ciertos valores que fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el Road Test y en base a predicciones futuras del tránsito. Para nuestro tramo de estudio utilizaremos una $SO = 0.45$.

Tabla N° 23

Desviación estándar dependiendo de las condiciones de servicio

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

Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993

IV.3 Serviciabilidad

La Serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios. Para su determinación se realizan estudios de calidad en dependencia del tipo de carpeta de rodamiento a evaluar. Para el tramo en estudio el índice de servicio final (PT) será de 2.0. La forma más sencilla para determinar la pérdida de serviciabilidad es mediante la siguiente tabla:

Tabla N° 24 Pérdidas de Serviciabilidad

PERDIDA DE SERVICIABILIDAD	
El cambio de pérdida en la calidad de servicio que la carretera proporciona al usuario, se define con la siguiente ecuación:	
PSI =	Índice de servicio presente
Δ PSI =	Diferencia entre los índices de servicio inicial u original y el final o terminal.
Po =	Índice de servicio inicial (4.5 para pavimentos rígido y 4.2 para flexibles)
Pt =	Índice de servicio final, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0, recomendado 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios.

Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993

IV.4 Coeficiente de Drenaje

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

Cedergreen demostró que las cargas dinámicas producen incrementos en la presión de poros juntos al momento del pasaje de la carga y, en consecuencia, hay una reducción notable de la capacidad de carga. Por lo antes indicado, es necesario un sistema de drenaje adecuado en las carreteras, aumentando así la capacidad portante de la sub-rasante, en otras palabras, el módulo de resiliencia aumenta cuando baja el contenido de humedad, esto conlleva a la mejor calidad del camino permitiendo capas más delgadas de los demás miembros del paquete estructural. *Fuente: Manual C.A para diseño de pavimento.*

La A.A.S.H.T.O.93 recomienda ciertos coeficientes de drenajes que son usados para los cálculos en la estimación de los espesores de los miembros de los paquetes estructurales, para nuestro tramo de estudio utilizaremos un coeficiente de drenaje igual a 1.0 que es una calidad de drenaje bueno, las formas de consideración de los coeficientes se demuestran en la siguiente tabla:

Tabla N° 25

Capacidad del drenaje para remover la humedad

Capacidad del Drenaje para remover la Humedad				
Calidad de drenaje	Aguas removidas en:			
	50 % Saturación		85 % Saturación	
Excelente	2 horas		2 horas	
Bueno	1 día		2 a 5 horas	
Regular	1 semana		5 a 10 horas	
Pobre	1 mes		De 10 a 15 horas	
Malo	No drena		Mayor a 15 horas	
Calidad del drenaje	P = % del tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Pobre	1.15 – 1.05	1.15 – 1.05	0.80 – 0.60	0.60
Malo	1.15 – 1.05	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993

IV.5 Valor CBR

Para saber si el material del banco “San Roque” ubicado en la zona del proyecto con un CBR de 69% obtenido en el estudio de suelos puede ser utilizado como base hacemos uso de las especificaciones generales para la construcción de caminos calles y puentes (NIC – 2000).

Tabla N° 26

Requisito de los materiales usados para base

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

Fuente: especificaciones generales para la construcción de caminos calles y puentes sección 1003 agregados suelos y roca, II. - Requisito de los materiales, inciso b. Base página 531.

El tipo 2 se usa solamente para acabado superficial y cuando los niveles de tráfico no exceden de 300 ejes equivalentes estándar (EE) (8200 kg) por día.

Según el estudio de tráfico los ejes equivalentes estándar por día son de 276 por lo cual se podría utilizar un material tipo 2 con un CBR mínimo de 60%, pero como podemos observar el banco de materiales “San Roque” con un CBR de 69% cumple con los requisitos de los materiales usados para sub-base; mas no con los de la base.

El banco de materiales “San Roque” podrá ser utilizado como sub base ya que las especificaciones generales para la construcción de caminos calles y puentes sección 1003 agregados suelos y roca, II. - Requisito de los materiales, inciso a. Sub Base, página 530, nos dice que el CBR mínimo para sub-base es de 40%.

Debido a que el banco de préstamo de la zona no cumple con las normas requeridas se utilizara el banco “El limón” abalado por la alcaldía municipal de Estelí con un CBR de 85% a una compactación del 95 %.

IV.5.1 Coeficientes del paquete estructural

Además del coeficiente de drenaje, existen otros factores estructurales que involucran las características y propiedades de los diferentes materiales que formarán parte del paquete estructural. Estos, están representados con la siguiente simbología:

)**a1**: para la carpeta de rodamiento

)**a2**: para la base

)**a3**: para la sub-base

La **A.A.S.H.T.O.93** designa la aplicación de nomogramas para la estimación de estos valores, dependiendo si se conoce el módulo de elasticidad del asfalto en PSI.

Con ayuda del siguiente nomograma se determinó el valor

Figura 4

Coefficiente estructural a_1 , para pavimentos flexibles

CALCULO DE ESPESORES

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2$$

donde:

SN: Número Estructural	=	3.4
a_1 : Coeficiente de Carpeta (Adoquín)	=	0.45
a_2 : Coeficiente de Base	=	0.14
D_1 : Espesor del Adoquín	=	
D_2 : Espesor de la Base	=	

Si el espesor del Adoquín es de 10 cm,

entonces:

$$3.4 = 0.45(10) + 0.14(D_2)$$

CAPÍTULO 7

107

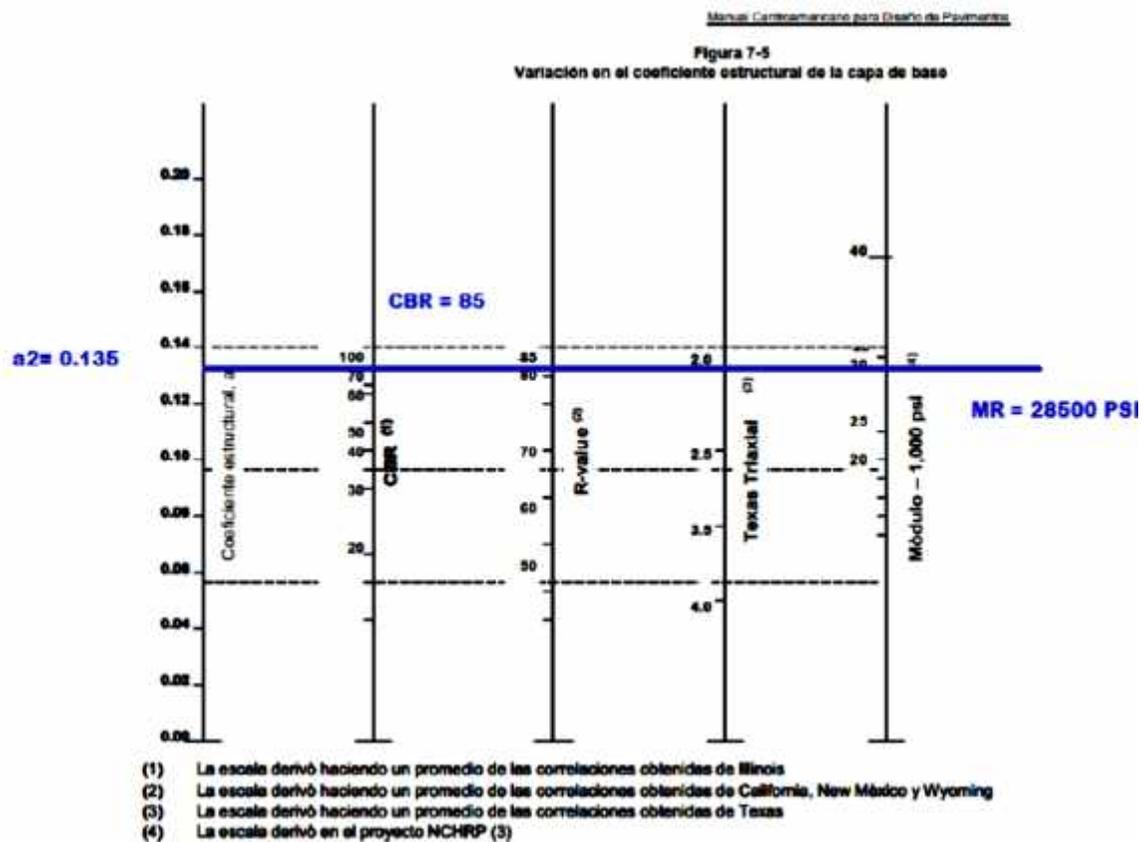
Fuente: Normas pavimentos SIECA. $a_1 = 0.45$.

Acorde a Manual de pavimento página 147, Capítulo 7,

La determinación del coeficiente a_2 se realizó en base a la aplicación del siguiente nomograma:

Figura 5

Coeficiente estructural a_2 , para pavimentos flexibles

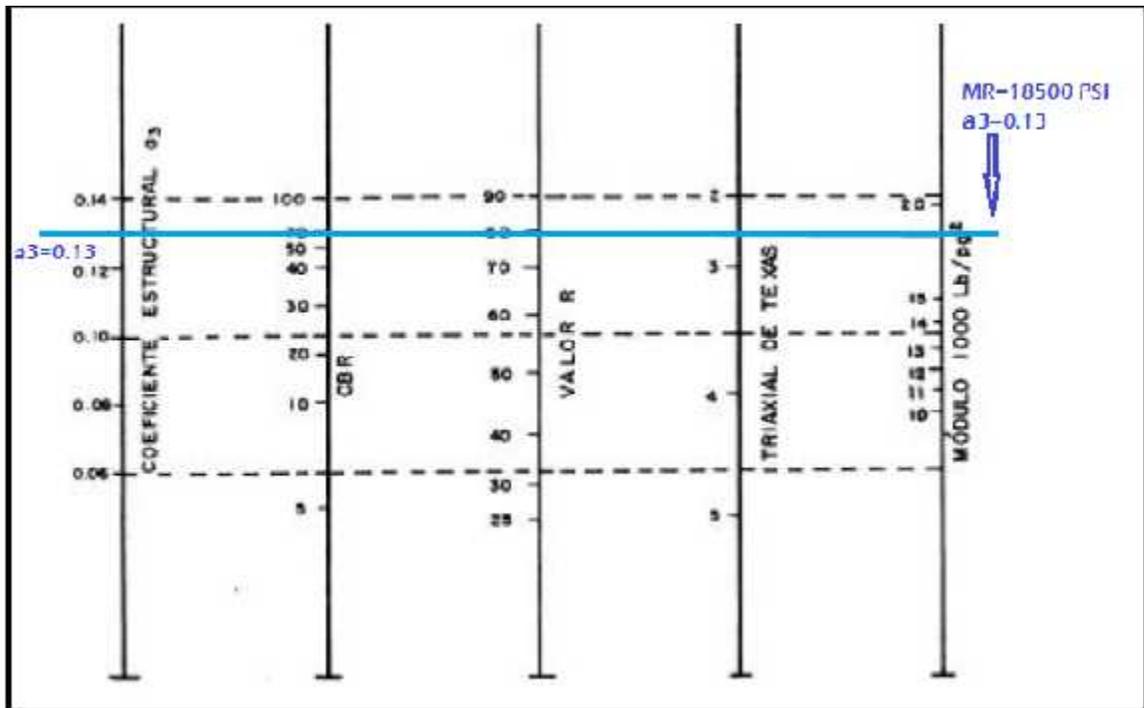


- Segunda línea vertical: Valor del CBR de las correlaciones de Illinois.
- Tercera línea vertical: Derivado de las correlaciones del Instituto de Asfalto, California, Nuevo México y Wyoming.
- Cuarta línea vertical: Derivado de la correlación de Texas
- Quinta línea vertical: Derivado en NCHRP Proyectoado

El valor CBR usado para la Base es igual a 85 %. De acuerdo a la línea trazada en el nomograma $a_2 = 0.135$

Figura 6

Coficiente estructural a_3 , para pavimentos flexibles



Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993

Al trazar la línea sobre el valor CBR de 69% usada para la Sub Base nos da como resultado que $a_3 = 0.130$

IV.6 Número estructural (SN)

El diseño con este modelo está basado primordialmente en identificar un “número estructural **SN**” para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado, la determinación de este valor también se puede encontrar haciendo uso de ábacos o de fórmula, la única diferencia radica en la precisión. Siendo el nomograma es más rápido, pero de poca precisión.

La ecuación utilizada para obtener el **SN** se expresa de la siguiente forma:

Donde:

D: Espesor propuesto

m: Coeficiente de drenaje

Esta ecuación no tiene una única solución, existen muchas combinaciones de espesores que la pueden satisfacer, no obstante, se dan normativas tendientes a dar espesores de capas que pueden ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes por las capas superiores más resistentes.

IV.7 Módulo de Resiliencia (Mr)

El módulo de resiliencia es el esfuerzo desviador repetido aplicado en compresión triaxial entre la deformación axial recuperable, es por eso que el concepto de módulo de resiliencia está ligado invariablemente a un proceso de carga repetida, de acuerdo a los estudios llevados a cabo sobre módulo de resiliencia, este parámetro no es una propiedad constante de los materiales, sino que depende de muchos factores.

Dependiendo del material en estudio, algunos de los factores más importantes son: parámetros de compactación (peso volumétrico y contenido de agua); método de compactación; número de aplicaciones de carga; magnitud del esfuerzo; tipo y contenido estabilizador; tipo y contenido de modificadores; temperatura etc.

Con lo anterior expuesto se resalta que este valor es únicamente característico en los materiales a ser utilizados en el paquete estructural, estos estudios son poco realizados en Nicaragua.

Existe otra forma de determinar las características de los materiales de sitio relacionándolos con otro ensaye: CBR (California Bering Ratio), este ensayo es el único capacitado para determinar la resistencia a esfuerzos en condiciones controladas del material, en otras palabras, en condiciones óptima de densidad y humedad, este ensaye es aplicado a los materiales que se designaran como Sub-rasante, sub-base, y bases.

La capacidad del suelo se mide mediante los ensayes de C.B.R. y módulo de resiliencia, dependiendo de los equipos.

El C.B.R. es un ensayo de carácter estático y puede realizarse tanto en el sitio como en el laboratorio, el módulo de resiliencia es una prueba de carácter dinámica y es una prueba de esfuerzo triaxial de carga repetitiva que solo se realiza en condiciones ideales.

Para determinar el valor del módulo de resiliencia se hace uso de los valores del CBR, dichas consideraciones se presentan a continuación en tabla N° 27

Tabla N° 27
Ecuaciones de Correlación

Valores de C.B.R	Consideración
C.B.R. < 7.2 %	$Mr = 1500 * CBR$
7.2 % < C.B.R. < 20 %	$Mr = 3000 * CBR^{1.6}$
C.B.R. > 20 %	$Mr = 4326 * \ln(CBR) + 241$

Fuente: Método AASHTO. Manual C.A para diseño de pavimento.

1- Cálculo para determinar el módulo de resiliencia para CBR de 28 % en la sub-rasante. (CBR de diseño de sub-rasante del sitio de proyecto según estudios de suelo). (Ver Anexos Tabla N° 52)

$$Mr = 4326 * \ln(\text{CBR}) + 241$$

$$Mr = 4326 * \ln(28) + 241$$

$$Mr = 14,656.12 \text{ psi}$$

Fuente: Elaboración propia

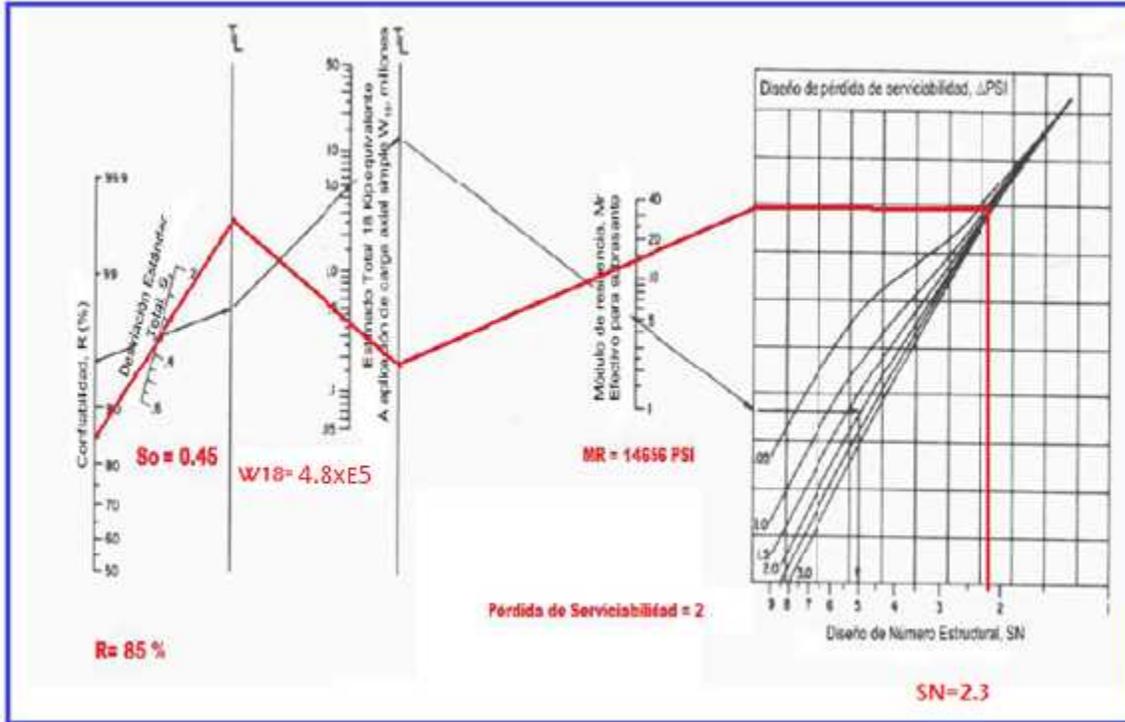
Tabla N° 28
Resumen de los factores utilizados para el diseño de la estructura de adoquinado del tramo en estudio

Factores	Valores Utilizados
Confiabilidad	85 %
Valor desviador (Z_R)	-1.037
Desviación Estándar (S_o)	0.45
Serviciabilidad (P_o) (Inicial)	4.2
Serviciabilidad (P_t) (Final)	2.2
Coeficiente, Drenaje, Carpeta de rodamiento (a_1)	1
Coeficiente, Drenaje, Base (a_2)	1
Coeficiente, Drenaje, Sub – base (a_3)	1
Coeficiente de capa de rodamiento a_1	0.45
Coeficiente de capa de Base a_2	0.135
Coeficiente de capa de Subbase a_3	0.13
Mr. Subrasante	14656.12 PSI

Fuente: Elaboración propia

Determinación del SN o volumen estructural del pavimento a partir del MR de la subrasante SN=2.3

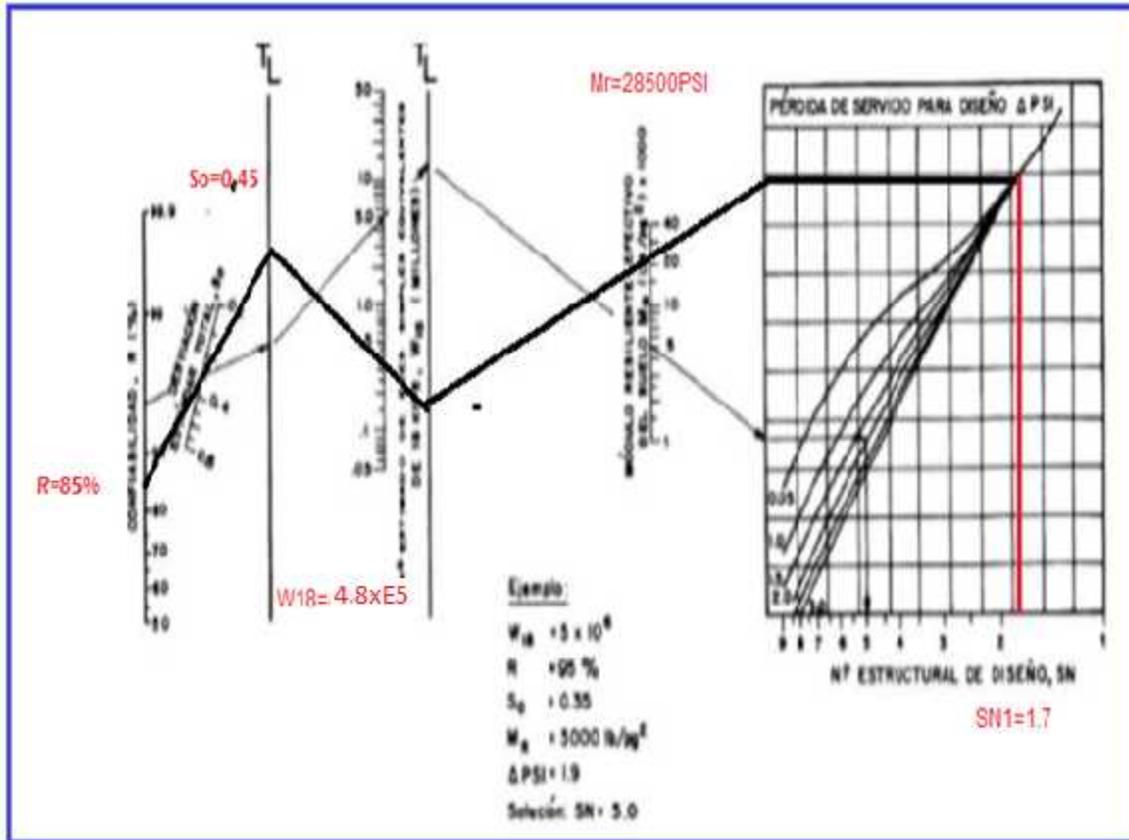
Figura N° 4



Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO-1993

Determinamos el espesor de la carpeta de Adoquín a partir del MR de la base (28500 psi), se obtiene SN1=1.7

Figura. N° 5



Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO-1993

Utilizamos el programa ecuación AASHTO 93 para verificar nuestros datos en el nomograma y que sean lo más fidedignos posibles.

COMPROBACION DE CALCULO DE SN1

The screenshot shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93" with the following fields and values:

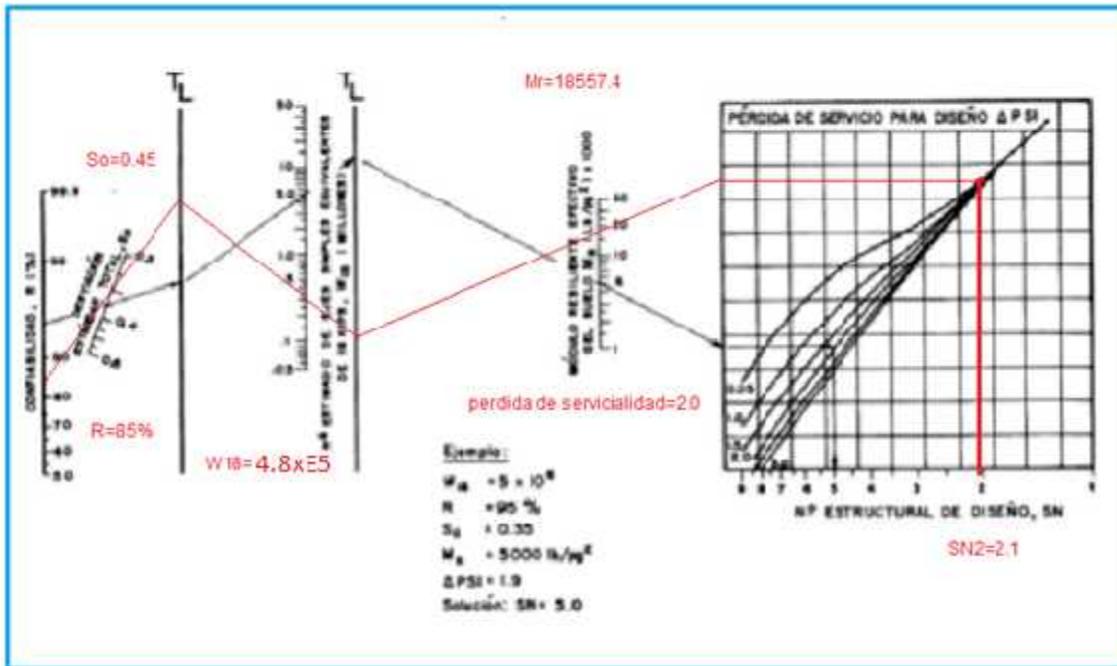
- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible, Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 85 % $Z_r = -1.037$, $S_o = 0.45$
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.2
- Módulo resiliente de la subrasante:** $M_r = 28500$ psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:** (Empty fields for E_c , J , S_c , and C_d)
- Tipo de Análisis:** Calcular SN, Calcular W_{18}
- Número Estructural:** $SN = 1.75$
- Calculated W_{18} :** $W_{18} = 485104$

Buttons: "Calcular" and "Salir"

Fuente: Elaboración propia

Determinamos el espesor de la base granular a partir del MR de la subbase (18557.4 psi) para obtener; SN2=2.1

Figura N° 6



Fuente: Guía para el diseño de estructuras de pavimento AASHTO-1993

Utilizamos el programa ecuación AASHTOO 93 para verificar nuestros datos

COMPROBACION DE CALCULO DE SN2

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

- Tipo de Pavimento:** Pavimento flexible, Pavimento rígido
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** 85 % $Z_r = -1.037$, $S_o = 0.45$
- Serviciabilidad inicial y final:** PSI inicial = 4.2, PSI final = 2.2
- Módulo resiliente de la subrasante:** $M_r = 18557.4$ psi
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Empty input fields for E_c , J , S_c , and C_d .
- Tipo de Análisis:** Calcular SN, Calcular W_{18}
- Número Estructural:** $SN = 2.07$
- Calculated W_{18} :** $W_{18} = 485104$

Buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Fuente: Elaboración propia

IV.8 Cálculo de Espesores

- 1- Determinación del SN o volumen estructural del pavimento a partir del MR (Modulo Resiliente) de la subrasante Fig. N°4.

$$S_o=0.45$$

$$\Delta PSI=2.0$$

- 2- Determinación del espesor de la carpeta de adoquines de concreto a partir del MR de 28500 PSI, con un SN1 de 1.7. Y por medio de cálculos obtener el valor de D1. Este valor ya está definido adoquín todo trafico espesor 4.0 pulgadas.

$$D1 = \frac{SN1}{a1} = 4.0 \text{ pulgadas equivalente a } 10.16 \text{ cm.}$$

$$SN1 = a1 * D1 = 0.45 * 4 = 1.8$$

$$SN1^* = 1.8 \text{ corregido.}$$

- 3- Determinación del espesor que debe tener la base granular a partir SN2 que se obtiene en el programa es 2.3. Por medio de cálculos obtendremos el valor de D2 requerido

$$D2 = \frac{SN(\text{base granular})}{a2 * m2} = \frac{SN2 - SN1^*}{a2 * m2} \quad D2 = \frac{2.1 - 1.8}{0.1 * 1.0} = \frac{0.3}{0.1} = 2.22 \text{ pulg}$$

Según la AASHTO advierte que es impráctica y antieconómica la colocación de capas de pavimento muy delgadas entonces se utilizara el espesor mínimo que recomiendan ellos para el numero de ejes equivalentes < 0.5 millones, en una base granular es de 4 pulgadas, pero acorde a la práctica constructivo en el municipio, en la actividad de procesamiento de materiales granulares se propone un espesor mínimo de 15 cm equivalente a 6 Pulgadas.

Por tanto

Se recalcula el número estructural del base corregido.

$$SN2^* = a2 \cdot D2 \text{ (elegido)} \cdot m2$$

$$SN2^* = 0.135 \cdot 6.0 \cdot 1.0$$

$$SN2 = 0.81$$

- 4- Determinación del espesor de la subbase a partir del # estructural del total de la carpeta de adoquines y de la base granular.

$$SN \text{ Subbase} = 2.3 - (1.8 + 0.81) = -0.31$$

Dado que es negativo el valor de SN3 entonces no es requerido esta capa de sub-base.

Dado a las condiciones existente, incluyendo la disposición de material de alta calidad a ser colocado como base los espesores finales serán:

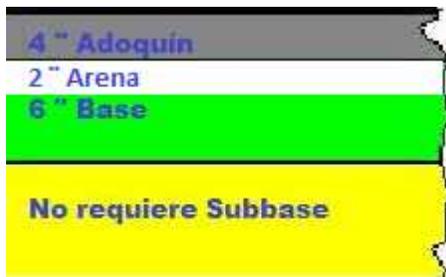


Tabla N° 29 Espesores Mínimos

Espesores mínimos (pulg.)		
No. de ejes equivalente (millones)	Concreto asfáltico	Base granular
<0.05	1.0 o TSD	4
0.05 - 0.15	2.0	4
0.15 - 0.50	2.5	4
0.50 - 2.00	3.0	6
2.00 - 7.00	3.5	6
> 7.00	4.0	6

Fuente: Ingeniería de pavimentos para carreteras. Montejo y Fonseca

Cumpliendo con nuestro objetivo de diseño basado en las normas AASHTO-1993, quedaría para el proyecto; Diseño de espesores de la estructura de adoquín de 527.5 metros lineales; del tramo La Unión-Preuniversitario de la ciudad de Estelí, departamento de Estelí, empleando el método AASHTO 93.”

Carpeta de rodamiento de adoquín ($E_1=400000$ PSI) = 4 pulg (10 cm)

Base granular (CBR= 85%)= 6 pulg. (15 cm)

Para comparar y comprobar los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se determinarán los espesores de las diferentes capas de pavimentos utilizando el programa “Pavement Design & Analysis Life – Cicle Cost Analysis”, creado por Thomas P. Harman M.S.C.F, que está basado en la guía para el diseño de estructuras de pavimento de la AASHTO ya que resulta una herramienta útil que agiliza y facilita los cálculos para el diseño.

El uso del programa es sencillo y solo necesita introducir los valores de las variables para el diseño ya conocidas (ver Tabla N° 30) y proponer los espesores necesarios.

Tabla N° 30: Valores de los parámetros a utilizar en el software del diseño de pavimento del tramo La Unión-Preuniversitario.

Parámetro	Valor
W18 (ESAL'S)	485,104.29
Confiabilidad	85%
Desviación Estándar	0.45
MR Sub-rasante	14656.12 psi
Serviciabilidad Inicial	4.2
Serviciabilidad Final	2.2
Coef. Estructural de la carpeta de rodamientos (Adoquín de concreto)	0.45
Coeficiente estructural de la base granular	0.135
Coeficiente de drenaje	1.00

Fuente: Elaboración propia, 2016.

IV.9 Cálculo de Espesores Software

Tabla N° 31
Espesores mínimos para la base

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

Fuente: A.A.S.H.T.O Guide for design of pavement structures 1993.

Según la A.A.S.H.T.O el espesor mínimo para una cantidad de ejes ESAL'S entre 150,001 y 500,000 es de 4 pulgadas, valor que tomamos en el dimensionamiento, ya que nuestra cantidad de ejes ESAL'S es de **485,104.29** calculado en el estudio de tráfico.

Al efectuar el análisis con los espesores propuestos de 4 plg para la carpeta de rodamiento y 6 plg para la base, la combinación fue satisfactoria, por lo tanto, los espesores propuestos son los indicados.

En el diseño de la estructura del tramo se debe tomar en cuenta que el espesor de la carpeta de rodamiento conformada por bloques de concreto (adoquines), ya está establecido y es de 4 pulgadas (10cm). El espesor mínimo para la capa granular recomendado por la AASHTO (Tabla N° IV.9.2), establece que para un

ESAL's mayor de 150,001 y menor de 500,000 el espesor mínimo es de 4 pulgadas.

Al introducir los datos de la tabla N° 30 en el software se obtuvieron los resultados que se detallan en la Figura N° 7, en los cuales podemos apreciar que los resultados cumplen con el SN requerido. Y se obtuvo un resultado de **SNreq = 2.26** (Figura N° 7).

SN Calculado =2.30

2.30 > 2.26

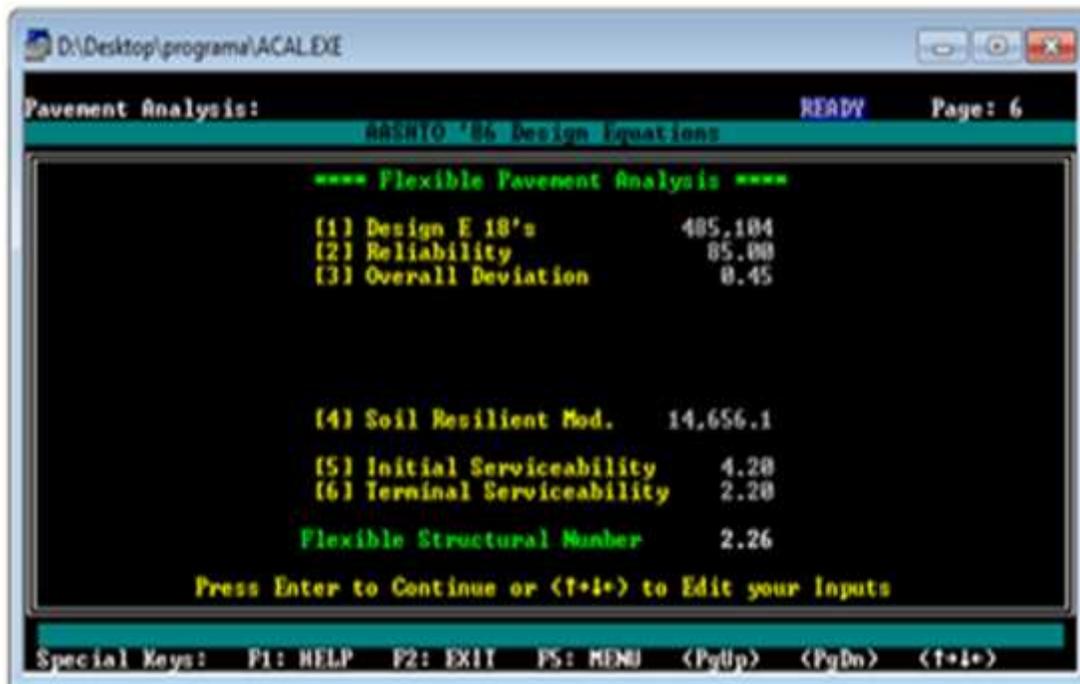
✓ OK

SN Calculado > SN Requerido

✓ OK

Los resultados obtenidos del programa para el cálculo de los espesores son los siguientes: (Figura N° 8).

Figura N° 7: Determinación del Número Estructural Requerido del tramo La Unión-Preuniversitario.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 8: Espesores obtenidos aplicando el método AASHTO

Layer Number	Layer Coefficient a <i><i>	Drainage Coefficient n <i><i>	Layer Thickness t	a(t)*Cd*e	Thickness Needed
Upper	0.45	1.00	4.00	1.00	
2	0.14	1.00	6.00	0.81	
3					
4					
5					
6					

SN Required = 2.61
 Design SN = 2.26

Special Keys: F1: HELP F2: EXIT F5: MENU <PgUp> <PgDn> <F4>

Fuente: Elaboración propia.

Comprobamos para Nuestro SN de diseño que ESAL corresponde. Lo que significa que con este resultado. Nuestro diseño soportará los $W18 = 485104$, del tramo en estudio.

*** Flexible Pavement Analysis ***	
11) Structural Number	2.38
12) Reliability	85.00
13) Overall Deviation	0.45
14) Soil Resilient Mod.	14,656.1
15) Initial Serviceability	4.28
16) Terminal Serviceability	2.28
Flexible EIR Capacity	539,800

Press Enter to Continue or <F4> to Edit your Inputs

Special Keys: F1: HELP F2: EXIT F5: MENU <PgUp> <PgDn> <F4>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 32: Espesores de la estructura de pavimento del tramo
La Unión-Preuniversitario.**

Capa	Espesor	
	Pulgadas	Centímetros
Adoquín (Carpeta de rodamiento)	4	10
Arena (Lecho de adoquines)	2	5
Base granular	6	15

Fuente: Elaboración propia, 2016.

-) Para la carpeta de concreto se obtiene un espesor que cumple con el parámetro de espesor mínimo establecido en la guía de la A.A.S.H.T.O. |
-) Se considera que la capa de arena no tiene aporte estructural. |
-) Estructuralmente no fue necesario el uso de la capa sub - base. |

V. Conclusiones

- El tránsito del tramo estudiado es muy variado predominando vehículos livianos como automóviles, camionetas y medianamente camiones de carga C2.
- La gran mayoría del tránsito generado de la zona se debe a las fábricas de cultivo y procesamiento del tabaco (Drew State), el instituto Pre-universitario, vía de acceso al cementerio Campos de Paz y al nuevo cementerio de la ciudad de Estelí, así como transporte de Estelí hacia la ciudad de el Sauce-León, Achuapa- León, Villa Nueva-Chinandega y comunidades que utilizan vía del norte a occidente.
- En el análisis del estudio de suelo se encontró a lo largo de la vía con respecto al nivel de la sub-rasante en el tramo La Unión-Pre-Universitario, que son suelos que según el sistema de clasificación A.A.S.H.T.O. M-145 corresponden a: Suelos como Gravas y Arenas Limo Arcillosas tipo A – 4, A– 2 – 4, A -1- b, según la clasificación AASHTO.
- El valor de CBR de diseño tiene un valor correspondiente al 28 % para el tramo La Unión-Pre-Universitario, con el valor de CBR se puede clasificar como muy buena la sub-rasante de diseño.
- El banco de materiales de la zona según el estudio no puede ser utilizado para base porque su CBR es de apenas 69 %.
- Los resultados del estudio de pavimento nos dan espesores de 10 cm para la carpeta de rodamiento y de 15 cm para la base. Cabe mencionar que se utilizara el banco de materiales “El limón” para la base debido a que el banco de la zona no cumple con las normas requeridas.
- Para un ESAL’S de diseño **485,104.29** y un CBR de diseño de 28 % que se analizó, la estructura de pavimento queda definida por una capa base de 15 centímetros de espesor; una capa de arena de 5 centímetros y el adoquín de concreto de 10 centímetros de espesor. Cabe mencionar que no es necesario el uso de una capa sub-base.

VI. Recomendaciones

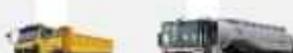
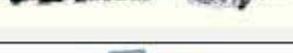
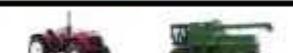
- Elaborar un programa de mantenimiento vial, para evitar que las fallas de pavimento ocurran, mediante un mantenimiento preventivo, garantizando así que el pavimento se comporte de manera satisfactoria en su vida útil.
- El adoquinado estará confinado en los bordes laterales por bordillos y cunetas de concreto simple, cuyo objetivo será proteger y respaldar adecuadamente la vía.
- Ubicar señales de tránsito que permitan darle una mayor seguridad tanto a conductores como peatones. Construir reductores de velocidad en puntos de gran influencia peatonal como escuelas y fábricas ubicadas en el tramo en estudio.
- De requerirse efectuar rellenos o ajuste de la Sub-Rasante, se puede utilizar el material del banco "San Roque" cercano a la vía con un CBR de 69 % excelente para Sub-Rasante, debido a que ya está confirmada la calidad del mismo en el estudio de suelo presente en el documento.
- La arena a utilizar como lecho de adoquines deberá ser limpia y tener una granulometría tal que la totalidad de la arena pase por el tamiz 3/8 y no más del 5% pase por el tamiz N0. 200.
- Para el sello de junta entre adoquines la arena a utilizar deberá pasar por el tamiz N0.8 y no más del 10% deberá pasar por el tamiz N0. 200.
- Se deberá garantizar los espesores obtenidos en el diseño durante el proceso de construcción de la obra.
- Se utilizarán adoquines procedentes de fábricas certificadas y reconocidas a nivel nacional.
- Utilizar materiales que cumplan con las normas técnicas y de calidad requeridas por el proyecto.

VII. Bibliografía

- Documentos de Internet: www.bcn.gob.ni (Banco Central de Nicaragua) y www.inide.gob.ni (Instituto Nacional de Información de Desarrollo – INIDE de Nicaragua).
- Especificaciones Generales para la construcción de caminos, calles y puentes, NIC – 2000.
- Ingeniería de Pavimentos para Carreteras Tomo I y Tomo II, segunda edición. Alfonso Montejo Fonseca, 1998.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, estimaciones y proyecciones de población, 1950 – 2005.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).
- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos SIECA. Ing. Jorge Coronado Iturbide, noviembre 2002.
- Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras Regionales (SIECA). Raúl Leclair, febrero 2001.
- Método de Diseño de Pavimento versión 1993 de la A.A.S.H.T.O. (American Association of State Highway and Transportation Officials) para pavimentos flexibles.
- Revista Anuario Estadístico del Tráfico Vehicular – SIC – MTI”. Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

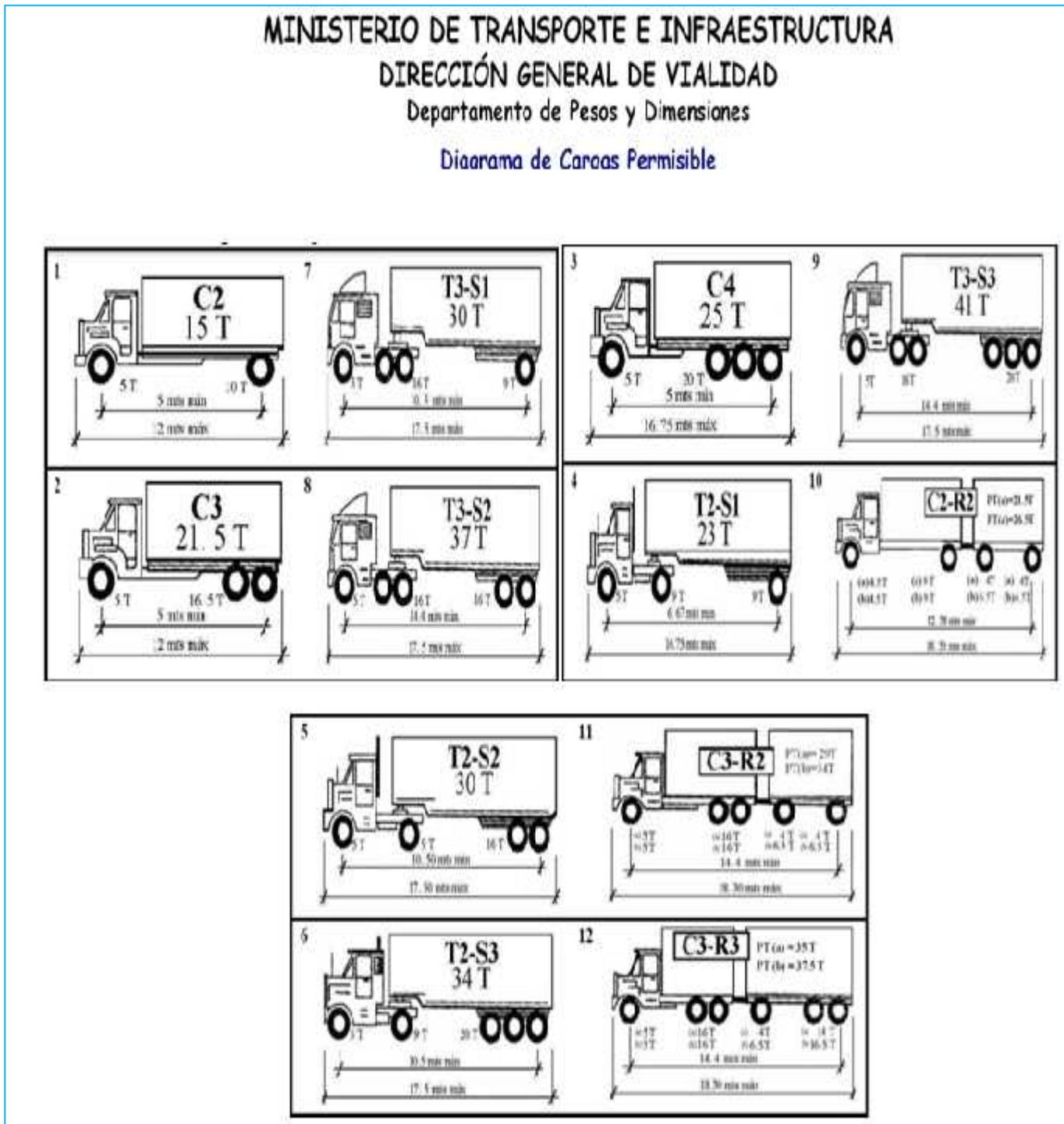
VII. ANEXO

Figura. 15 Tipología y descripción vehicular de conteos de tráfico del sistema de administración de pavimentos PMS

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

Fuente: MINISTERIO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA (MTI). División General de Planificación.

Figura N° 16 Diagrama de cargas permisibles por tipo de vehículo



Fuente: Clasificación vehicular del MTI.

Figura N° 17 Clasificación de suelos, Sistema AASHTO

AASHTO M 145

ASTM D 3282

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa por la malla No. 200)						Materiales granulares (Mas del 35% de la muestra total pasa por la malla No. 200)				
	A-1		A-3		A-2		A-4	A-5	A-6	A-7	
Clasificación del grupo	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5*	A-7-6**
Cribado por mallas (% que pasa)											
Malla No. 10	50 max	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Malla No. 40	30 max	50max	51min	--	--	--	--	--	--	--	--
Malla No. 200	15 max	25max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min
Para la fracción que pasa la malla No. 40											
Límite líquido (LL)	--	--	--	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min
Índice de plasticidad (IP)		6 max	NP	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min
Tipo de material más común	Fragmentos de roca grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosas o arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos		
Calificación de la subrasante	Excelente a buena						Regular a pobre				

Tabla N^a 33 Factores Equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples, Pt = 2.0

Carga p/eje (Kips) ¹	Número Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
4	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
6	0.009	0.012	0.011	0.010	0.009	0.009
8	0.030	0.035	0.036	0.033	0.031	0.029
10	0.075	0.085	0.090	0.085	0.079	0.076
12	0.165	0.177	0.189	0.183	0.174	0.168
14	0.325	0.338	0.354	0.350	0.338	0.331
16	0.589	0.598	0.613	0.612	0.603	0.596
18	1.000	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
20	1.61	1.59	1.56	1.55	1.57	1.59
22	2.49	2.44	2.35	2.31	2.35	2.41
24	3.71	3.62	3.43	3.33	3.40	3.51
26	5.36	5.21	4.88	4.68	4.77	4.96
28	7.54	7.31	6.78	6.42	6.52	6.83
30	10.4	10.0	9.2	8.6	8.7	9.2
32	14.0	13.5	12.4	11.5	11.5	12.1
34	18.5	17.9	16.3	15.0	14.9	15.6
36	24.2	23.3	21.2	19.3	19.0	19.9
38	31.1	29.9	27.1	24.6	24.0	25.1
40	39.6	38.0	34.3	30.9	30.0	31.2
42	49.7	47.7	43.0	38.6	37.2	38.5
44	61.8	59.3	53.4	47.6	45.7	47.1
46	76.1	73.0	65.6	58.3	55.7	57.0
48	92.9	89.1	80.0	70.9	67.3	68.6
50	113.0	108.0	97.0	86.0	81.0	82.0

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO, 1986

Tabla N^a 34 Factores Equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes tandem, Pt = 2.0

Carga p/eje (Kips)	Número Estructural SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002
6	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
8	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
10	0.007	0.008	0.008	0.007	0.006	0.006
12	0.013	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012
14	0.024	0.029	0.029	0.026	0.024	0.023
16	0.041	0.048	0.050	0.046	0.042	0.040
18	0.066	0.077	0.081	0.075	0.069	0.066
20	0.103	0.117	0.124	0.117	0.109	0.105
22	0.156	0.171	0.183	0.174	0.164	0.158
24	0.227	0.244	0.260	0.254	0.239	0.231
26	0.322	0.340	0.360	0.353	0.338	0.329
28	0.447	0.465	0.487	0.481	0.466	0.455
30	0.607	0.623	0.646	0.643	0.627	0.617
32	0.810	0.823	0.843	0.842	0.829	0.819
34	1.06	1.07	1.08	1.08	1.08	1.07
36	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
38	1.76	1.75	1.73	1.72	1.73	1.74
40	2.22	2.19	2.15	2.13	2.16	2.18
42	2.77	2.73	2.64	2.62	2.66	2.70
44	3.42	3.36	3.23	3.18	3.24	3.31
46	4.20	4.11	3.92	3.83	3.91	4.02
48	5.10	4.98	4.72	4.58	4.68	4.83
50	6.15	5.99	5.64	5.44	5.56	5.77
52	7.37	7.16	6.71	6.43	6.56	6.83
54	8.77	8.51	7.93	7.55	7.69	8.03
56	10.4	10.1	9.3	8.8	9.0	9.4

58	12.2	11.8	10.9	10.3	10.4	10.9
60	14.3	13.8	12.7	11.9	12.0	12.6
62	16.6	16.0	14.7	13.7	13.8	14.5
64	19.3	18.6	17.0	15.8	15.8	16.6
66	22.2	21.4	19.6	18.0	18.0	18.9
68	25.5	24.6	22.4	20.6	20.5	21.5
70	29.2	28.1	25.6	23.4	23.2	24.3
72	33.3	32.0	29.1	26.5	26.2	27.4
74	37.8	36.4	33.0	30.0	29.4	30.8
76	42.8	41.2	37.3	33.8	33.1	34.5
78	48.4	46.5	42.0	38.0	37.0	38.6
80	54.4	52.3	47.2	42.5	41.3	43.0
82	61.1	58.7	52.9	47.6	46.0	47.8
84	68.4	65.7	59.2	53.0	51.2	53.0
86	76.3	73.3	66.0	59.0	56.8	58.6
88	85.0	81.6	73.4	65.5	62.8	64.7
90	94.4	90.6	81.5	72.6	69.4	71.3

Fuente: Guía para Diseño de Pavimentos, AASHTO, 1986

Figura N° 18

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS (S.U.C.S.)

DIVISION MAYOR		SÍMBOLO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla n.ºm. 200				
SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 Las partículas de 0.074 mm de diámetro (malla no. 200) son, aprox., las más pequeñas visibles a simple vista.		ARENAS MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRAVOSA PASA POR LA MALLA No. 4 PARA CLASIFICACION VISUAL, PUEDE USARSE EL CM COMO EQUIVALENTE ABIERTA MALLA No. 4 ARENA LIMPA POCO O NADA DE PARTICULAS FINAS ARENA CON FINOS CANTIDAD APRECIABLE DE PARTICULAS FINAS	SW SP SM SC	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACION PARA GW Límites de Atterberg abajo de la "Línea A" con I.P. menor que 4 Límites de Atterberg arriba de la "Línea A" con I.P. mayor que 7 $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ mayor de 6; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$ entre 1 y 3 No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW Límites de Atterberg abajo de la "Línea A" con I.P. menor que 4 Límites de Atterberg arriba de la "Línea A" con I.P. mayor que 7
		ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50%	ML CL	ECUVALENCIA DE SIMBOLOS G = GRAVAS, M = LIMOS, S = ARENAS, C = ARCILLAS, O = SUELOS ORGANICOS. W = BIEN GRADUADOS, P = MAL GRADUADOS, Pt = TURBA L = BAJA COMPRESIBILIDAD, H = ALTA COMPRESIBILIDAD
		ARCILLAS LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50%	OL MH CH OH	CARTA DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION DE SUELOS DE PARTICULAS FINAS EN LAB
		SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	Pt	

Fuente: Mecánica de suelos y Cementaciones, Crespo Villalaz.

Tabla N° 35 Relación aproximada entre la clasificación del suelo y los valores del CBR.

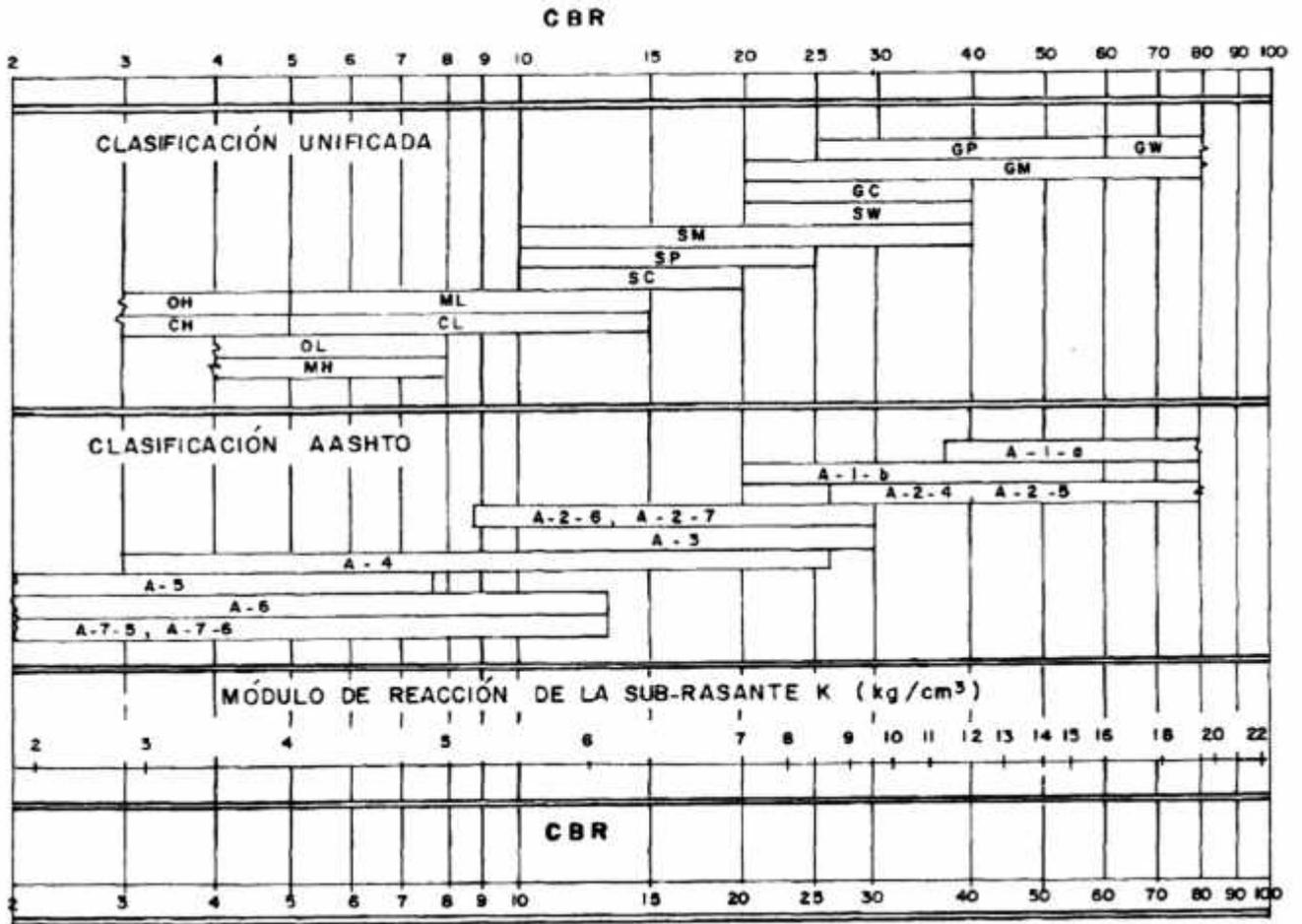


Tabla N° 36 Resultados de Ensayos de Suelos.

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (METROS)	% QUE PASA POR EL TAMIZ										L.L (%)	L.P (%)	CLASIFICADOS	
			2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	4	10	40	200			SUCS	AASHTO
SM-1																
SM-1	1	0.00-0.20 M		100	65	60	56	53	46	90	66	40	32	30.3	GM	A-4
SM-2																
SM-2	1	0.20-1.50 M		100	66	48	41	38	32	89	63	34	25	21	GM	A-2-4
SM-3																
SM-3	1	0.00-0.60		100	80	64	47	41	27	84	64	42	26	24	GM	A-4
SM-4																
SM-4	1	0.60-1.50		100	93	89	77	70	55	81	53	32		N.P	SM	A-2-4
SM-5																
SM-5	1	0.00-0.20		100	89	81	72	65	43	74	42	20		N.P	GM	A-1-B
SM-6																
SM-6	1	0.20-1.50		88	57	46	35	29	22	84	52	29		N.P	GM	A-2-4
SM-7																
SM-7	1	0.00-0.18		100	91	83	72	64	48	76	40	16		N.P	GM	A-1-B
SM-8																
SM-8	1	0.18-1.50		60	31	28	21	20	18	90	64	31		N.P	GM	A-2-4

**Tabla N° 37: Historial de Transito Estacional de Control N° 3501 del Tramo:
Empalme Santa Cruz – San Nicolás**

Año	TPDA
2003	205
2005	230
2007	313
2009	277
2011	276

Fuente: Anuario de Aforo de Trafico 2011.

Tabla N° 38: Periodo de Diseño.

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño
Autopista Regional	20 – 40 Años
Troncales Sub-urbanas	15 – 30 Años
Troncales Rurales	
Colectoras Sub-urbanas	10 – 20 Años
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2001.

Tabla N° 39: Factor Carril (fc).

Número de Carriles en una Sola Dirección	Factor LD11
1	1
2	0.80 – 1.00
3	0.60 – 0.80
4	0.50 – 0.75

Fuente: Manual Centroamericano de Normas para el Diseño de Carreteras Regionales, SIECA 2001.

Tabla N° 40: Desviación estándar dependiendo de las condiciones de servicio

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

Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO - 93), Tercera Edición – Tabla 6.2; página 135.

Tabla N° 41: Pérdida de Serviciabilidad.

PERDIDA DE SERVICIABILIDAD	
El cambio de perdida en la calidad de servicio que la carretera proporciona al usuario, se define con la siguiente ecuación:	
PSI =	Índice de servicio presente
PSI =	Diferencia entre los índices de servicio final u original y el final o terminal.
Po =	Índice de servicio inicial (4.5 para pavimento rígido y 4.2 para flexibles).
Pt =	Índice de servicio final, para el cual AASHTO maneja en su versión 1993 valores de 3.0, 2.5 y 2.0, recomendado 2.5 ó 3.0 para caminos principales y 2.0 para secundarios .

Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO - 93), Tercera Edición – Tabla 6.2, página 134.

Tabla N° 42 Límites de Resistencia

Límites para la selección de la resistencia (CBR)	
No de ejes de 8.2 toneladas en el carril de diseño (N)	Percentil a seleccionar para encontrar la resistencia
<10⁴	60%
10⁴-10⁶	75%
>10⁶	87.5%

Fuente: Ingeniería de pavimento para carreteras. Fonseca Montejo

Tabla N° 43 Especificaciones de los materiales empleados en Terraplenes y Capas de Sub – rasante

N°	Propiedad	Limite	Capa de Sub-rasante	Metodología
1	% de Malla N° 200	40% Máx.	30% Máx.	AASHTO T-11
2	Limite Liquido	40% Máx.	30% Máx.	AASHTO T-89
3	Índice Plástico	15% Máx.	10% Máx.	AASHTO T-90
4	CBR	10% Min	20% Min.	AASHTO T-193
5	Compactación	95% Min de su peso volumétrico seco máximo obtenido por medio de la Proctor Modificado (AASHTO-99)	95% min. Del peso volumétrico seco máx. obtenido por medio de la prueba Proctor Modificado (AASHTO-T-180)	AASHTO T-191 y/o T-238 (in situ)

Tabla N° 44 Especificaciones de los materiales en la Sub – base.

N°	Propiedad	Limites	Norma de Prueba
1	Límite líquido	25% Max.	AASHTO T-89
2	Limite Plástico	6% Max.	AASHTO T-90
3	C.B.R	40% Min.	AASHTO T-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% Max.	AASHTO T-96
5	Intemperismo Acelerado	12% Máx.	AASHTO T-104
6	Compactación	95% min. Del peso volumétrico seco máx. obtenido por medio de la prueba Proctor modificado	AASHTO T-191 y/o T-238 (in situ)

Fuente: Especificaciones Nic-2000.Sección: 1003.09 (a y b). 1003.23. II (a)

Tabla N° 45 Especificaciones de los Materiales empleados en una base granular.

N°	Propiedad	Limites	Norma de Prueba
1	Límite líquido	25% Max.	AASHTO T-89
2	Limite Plástico	6% Max.	AASHTO T-90
3	C.B.R	80% Min.	AASHTO T-193
4	Desgaste de los Ángeles	50% Max.	AASHTO T-96
5	Intemperismo Acelerado	12% Máx.	AASHTO T-104
6	Compactación	95% min. Del peso volumétrico seco máx. obtenido por medio de la prueba Proctor modificado	AASHTO T-191 y/o T-238 (in situ)

Fuente: Especificaciones Nic-2000.Sección: 1003.09 (a y b). 1003.23. II (b)

Tabla N° 46: Sondeos Efectuados

Localización	Sondeo N°	Estación	Banda del Sondeo
Tramo La Unión-Preuniversitario	Sm-1	0+150	Izquierda
	Sm-2	0+300	Derecha
	Sm-3	0+450	Izquierda
	Sm-4	0+527.5	Centro

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Tabla N° 47: Ensayes de Laboratorio

Tipo de Ensaye	Especificaciones A.S.T.M	Designación A.A.S.H.T.O
Análisis granulométrico de los suelos	D – 422	T - 2788
Límite líquido de los suelos	D – 418	T 89 – 90
Índice de plasticidad de los suelos	D – 418	T 90 – 97
Pesos Unitarios		T 19 – 88
Ensaye Proctor Estándar	D 698 – 91	T 180 – 90
Ensaye C.B.R.	D1883 – 73	T 193 – 81

Fuente: Estudio de Suelo, Tramo La Unión-Preuniversitario. Ciudad de Estelí, Elaboración propia.

Tabla N° 48: Resultados Obtenidos de las Muestras Ensayadas se Muestran en la Siguiete Tabla:

LOCALIZACION TRAMO LA UNION - PREUNIVERSTARIO	MUESTRA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD
	Sm-1-1	32.1	30.3	1.8
	Sm-2-1	25.8	24.0	1.8
	Sm-3-1	-	-	NP
	Sm-4-1	-	-	NP

Límites de consistencia del suelo ensayado.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 49: Clasificación de las Muestras por el Método de la AASHTO

Localización	Muestra	Clasificación A.A.S.H.T.O
Distrito Tres	Sm 1 - 1	A-4
	Sm 1- 2	A-2-4
	Sm 2- 1	A-4
	Sm 2- 2	A-2-4
	Sm 3- 1	A-1-b
	Sm 3- 2	A-2-4
	Sm 4- 1	A-1-b
	Sm 4- 2	A-2-4
Banco "El Limón"		A-1-b

Clasificación de los suelos ensayados.

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 50 Valores CBR aproximados

Muestra	Tipo de suelo (A.A.S.H.T.O)	Valor C.B.R
Sm 1 - 1	A-4	7
Sm 2- 1	A-4	7
Sm 3- 1	A-1-b	28
Sm 4- 1	A-1-b	28
Sm 1- 2	A-2-4	30
Sm 2- 2	A-2-4	30
Sm 3- 2	A-2-4	30
Sm 4- 2	A-2-4	30

Fuente: Elaboración propia, 2015.

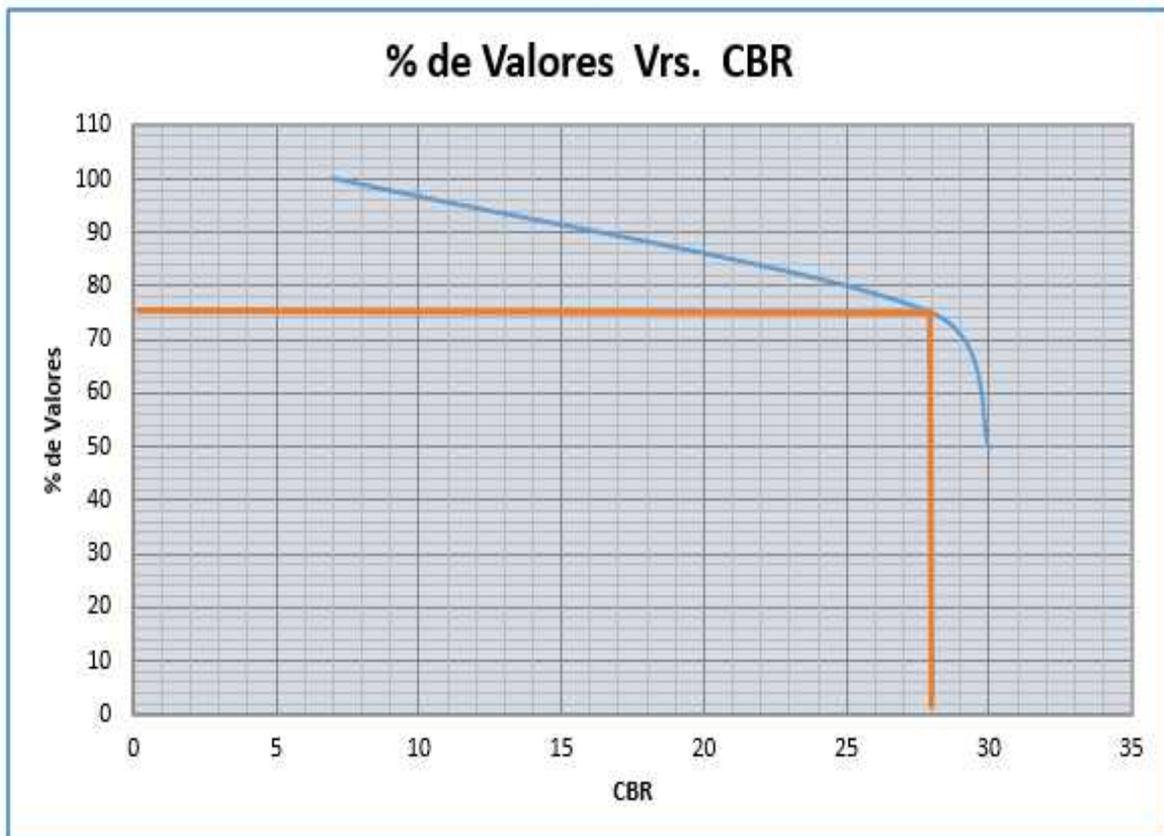
Tabla Nª 51 Operación realizada para gráfico

CBR	# VALORES IGUALES O MAYORES A EL	% VALORES IGUALES O MAS
7	8	$8/8 * 100 = 100\%$
28	6	$6/8 * 100 = 75\%$
30	4	$4/8 * 100 = 50\%$

Fuente: Elaboración propia, 2015.

Tabla N° 52 Porcentajes de Valores

CBR	% de Valores
7	100
28	75
30	50



**HOJA DE TRABAJO PARA CALCULAR LA CARGA EQUIVALENTE
DE EJE SENCILLO DE 18 000 LIBRAS (8.2 TON) (ESAL)**

PROYECTO: _____ **PERIODO DE ANALISIS** ____ **AÑOS**

UBICACION: _____ **SN ASUMIDO:** _____

TIPO DE VEHICULO	PESO POR EJE	TRANSITO ACTUAL	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO DE DISEÑO	FACTOR ESAL	ESAL DE DISEÑO
A2						
B2						
C2						
C3						
T2-S1						

T2-S2						
T3-S1						
T3-S2						

ANEXO N° 2:**Tabla N° 54 Análisis Granulométrico del Banco de Materiales San Roque.**

Tamiz No.	PESO RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASAPOR EL TAMIZ
1 ½"	78.2	1.506	1.506	98.494
1 "	701	13.492	15.000	85.000
¾	430	8.277	23.277	76.723
½	652.5	12.559	35.836	64.164
3/8	407	7.834	43.670	56.330
No.4	842	16.206	59.876	40.12
Pasa No.4	2085	40.130	100	
Suma	5195.7	100		

Fuente: Laboratorio de suelos. Ingenieros Consultores y Planificadores. Corasco.

ANEXO N° 3:**Tabla N° 55 Análisis Granulométrico del Banco de Materiales San Roque, que Pasan el Tamiz N°4.**

Tamiz No.	PESO RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	%QUE PASA POR EL TAMIZ
10	40.08	12.866	12.866	27.258
40	48.5	15.569	28.435	11.689
200	16.8	5.393	33.828	6.296
Pasa No.200	19.62	6.298	40.13	0
Suma	125	40.13		

Fuente: Laboratorio de suelos. Ingenieros Consultores y Planificadores. Corasco.

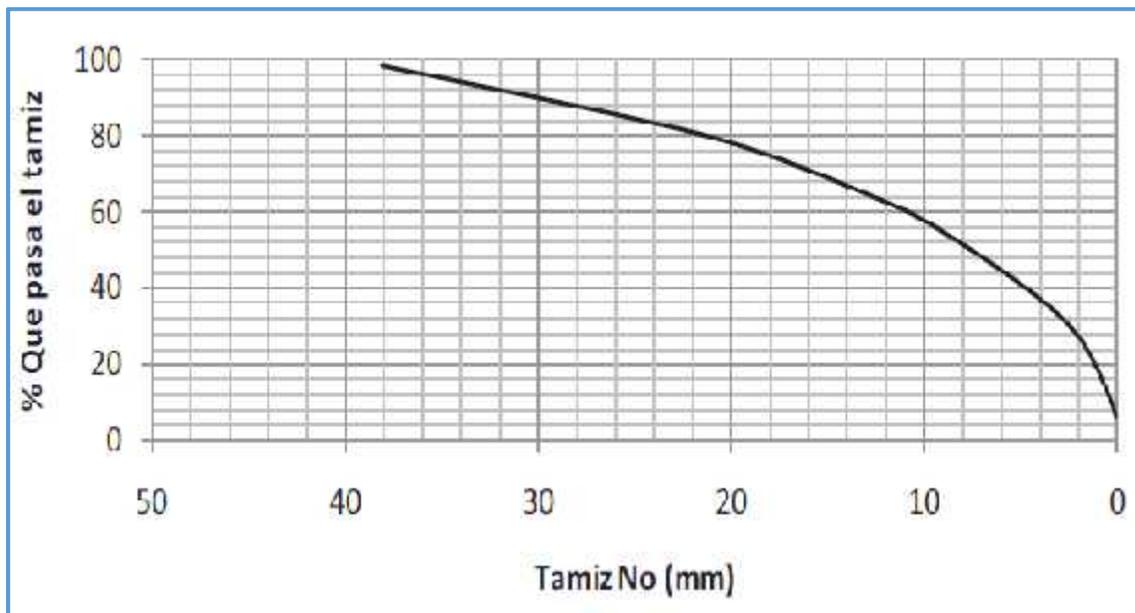
ANEXO N° 4:

Tabla N° 56 Resumen de Datos del Banco de Materiales San Roque, Para Curva Granulométrica.

Tamiz No.	Tamiz No.	%QUE PASA POR EL TAMIZ
1 ½"	38.1	98.494
1 "	25.4	85
¾	19.1	76.723
½	12.7	64.164
3/8	9.52	56.33
No.4	4.76	40.124
10	2	27.258
40	0.42	11.689
200	0.074	6.296

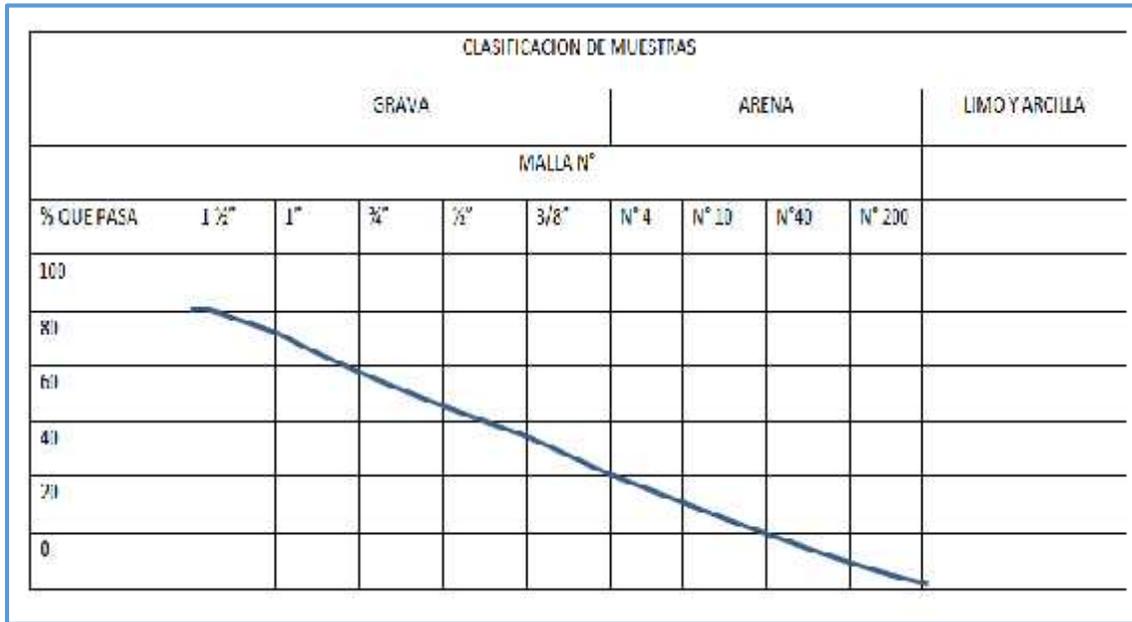
Fuente: Laboratorio de suelos. Ingenieros Consultores y Planificadores. Corasco.

ANEXO N° 5: Curva Granulométrica del Banco de Materiales San Roque.



Fuente: Laboratorio de suelos. Ingenieros Consultores y Planificadores. Corasco.

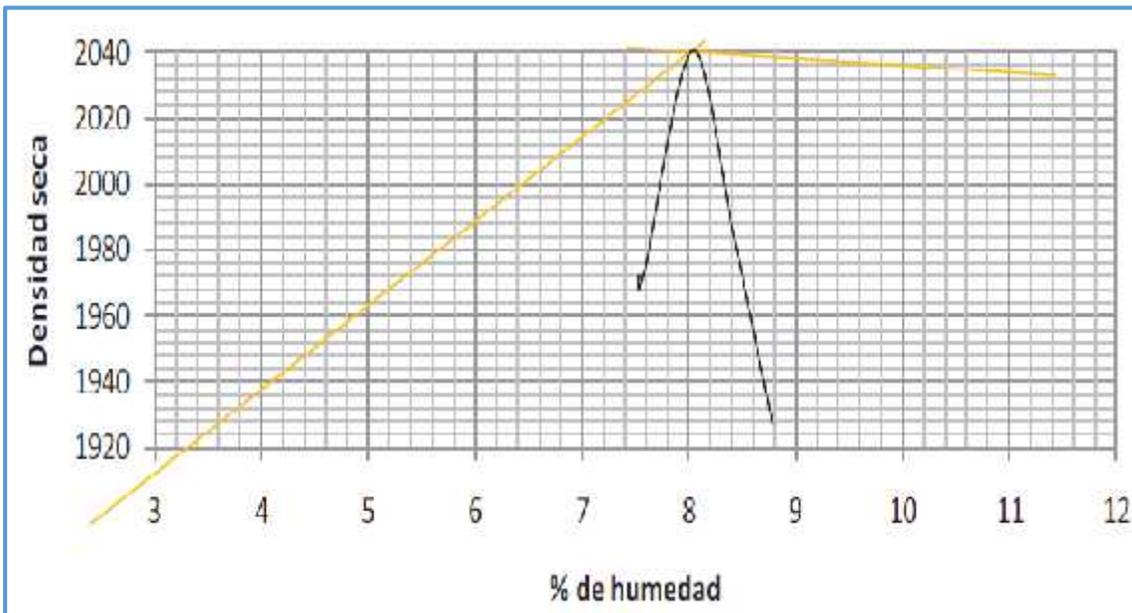
ANEXO N° 6: Clasificación del Suelo con Curva Granulométrica del Banco de Materiales San Roque.



AASHTO: Fragmentos de piedras gravas y arena.

SUCS: Grava bien graduada con arcilla y arena (o arcilla limosa y arena)

ANEXO 7: Proctor Modificado al Banco de Materiales San Roque.



Fuente: Laboratorio de suelos. Ingenieros Consultores y Planificadores. Corasco.

Tabla N° 57: Resultados Obtenidos de los Bancos de Materiales.

BANCO	UBICACIÓN	% QUE PASA POR LA MALLA					LL	LP	CBRA			VOLUMEN EXPLOTABLE
		2"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200			90	95	100	
1	Del Hospital	100	80	65	37	25		NP	36	48	60	18,000
	San Juan de	100	85	60	35	23		NP				
	Dios 1.5 km	100	84	65	36	25		NP				
	al suroeste.	100	87	68	37	24		NP				
		100	82	66	37	25		NP				
2	Texaco 4	100	90	71	43	21		NP	34	45	57	120,000
	km. al norte.	100	90	72	44	23		NP				
	Carretera	100	92	73	43	22		NP				
	Panamericana.	100	89	70	45	24		NP				
3	Hogar	100	85	72	43	15		NP	35	49	62	21,000
	Chavalito 5	100	87	74	48	14		NP				
	cuadras al	100	85	71	43	15		NP				
	este. Estelí	100	86	72	40	16		NP				
4*	Salida San	100	40.124	27.258	11.689	6.292		NP	37	69	100	38,000
	Roque 1.5											
	km al											
	noroeste.											
5*	Monumento	100	17.13	14.372	11.344	9.124	33	27	40	73	100	24,000
	el											
	Centenario 5											
	km al este.											
	Carretera a											

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing de Materiales y suelos. IMS

4* y 5*: Laboratorio de suelos. Ingenieros Consultores y Planificadores Corasco.

RESULTADOS DE LABORATORIO DE MUESTRAS DE BANCOS DE MATERIALES N° 3

Proyecto:

ENSAYE	Banco de materiales San Roque
MUESTRA	
ESTACION	De la Thompson 1.5 km al noroeste. Carretera a El Sauce.
DESVIACION	
PROFUNDIDAD	
SONDEO	

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing de Materiales y suelos. IMS

GRANULOMETRIA

% que pasa por el tamiz				
3"				
2"				
1 ½"				
1"				
¾"	100	100	100	100
3/8"	99	98	96	99
N° 4	85	87	85	86
N° 10	72	74	71	72
N° 40 (a)	43	48	43	40
N° 200 (b)	15	14	15	16
Relación de finos (a)(b)	0.349	0.333	0.349	0.400

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing de Materiales y suelos. IMS

LIMITE DE ATTEMBERG

Límite Líquido	-	-	-	-	-
Índice de plasticidad	NP	NP	NP	NP	NP

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing de Materiales y suelos. IMS

CLASIFICACIÓN

Clasificación HBR	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)
Clasificación Casa Grande					

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing de Materiales y suelos. IMS

Ensayo CBR

% CBR	90%	95%	100%
	35	49	62

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing de Materiales y suelos. IMS

ENSAYES ADICIONALES

Peso Vol. Suelto (kg /m ³)	1156	1160	1155	1157
Peso Vol. Varillado (kg /m ³)	1296	1300	1290	1295
Factor de abundamiento	1.344	1.339	1.345	1.343
Observaciones:	Banco de Explotación			

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing de Materiales y suelos. IMS

INFORME DE PRUEBAS DE CBR SATURADO

PROYECTO: Estelí – El Sauce

ENSAYE N°: _____ EFECTUADO POR: _____

MUESTRA N°: 1 CALCULO: M.B COTEJO: _____

FUENTE DEL MATERIAL: De la Thompson 1.5 km al noroeste. Carretera a El Sauce.

ANALISIS GRANULOMÉTRICO DEL MATERIAL QUE PASA POR EL TAMIZ ¾”

TAMIZ	¾	3/8	4	10	40	200
% QUE PASA	100	99	85	72	43	15

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing de Materiales y suelos. IMS

LIMITE LIQUIDO

INDICE DE PLASTICIDAD

CLASIFICACION HBR: A-1-b (0) EQUIVALENTE DE ARENA _____

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing de Materiales y suelos. IMS

TIPO DE PRUEBA EMPLEADA

PROCTOR MODIFICADO

PESO VOL. SECO MAXIMO

1554 Kg/m³

HUMEDAD OPTIMA

20.0 %

Fuente: Laboratorio de materiales y suelos. Ing de Materiales y suelos. IMS

PRUEBA DE CBR SATURADO

METODO DE COMPACTACION EMPLEADO	DINAMICO		
% DE COMPACTACION	90	95	100
PESO VOL. SECO (Kg/m ³)	1399	1476	1554
CBR SATURADO	35	49	62
HINCHAMIENTO (%)	1.20	1.18	1.16
TIEMPO DE SATURACION	96	96	96

Fuente: Laboratorio de suelos. Ingenieros Consultores y Planificadores. Corasco.

Anexo 8

Estudio de suelo del banco "El limón"

ENSAYE DE VALOR RELATIVO SOPORTE ó RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

AASHTO T 193-63 ASTM D 1883-73

Nombre: Banco de Materiales "El limón"

Localización: Comunidad el Limón, municipio de Estelí.

Muestra:

Fecha: 13/04/2009

Sondeo:

Tabla Nº 58 Los Valores de la Muestra Patrón de Piedra Triturada.

PENETRACION			CARGA UNITARIA PATRON		
Milímetros (mm)	Centímetros (cm)	Pulgadas (pulg.)	Kilogramos/cm ² (Kg/cm ²)	MPa	PSI
2.5	0.25	0.1	70.31	6.9	1,000
5	0.5	0.2	105.46	10.3	1,500
7.5	0.75	0.3	133.58	13	1,900
10	0.1	0.4	161.71	16	2,300
12.7	1.27	0.5	182.8	18	2,600

Ensaye No.	1	2	3
Volumen del cilindro (m ³)	0.0023	0.0023	0.0023
Peso del molde cilíndrico (grs)	7195	7245	7165
Peso del material + molde cilíndrico (grs)	11718	11963	12278
Peso del material (grs)	4523	4718	5113
Tara No.	A-54	H-k	M-2
Peso Tara (grs)	31.7	47.09	31.73
Peso Seco + Tara (grs)	257.19	303.58	297.27
Peso Húmedo + Tara (grs)	278.53	327.53	322.93
% de Humedad	9.47	9.34	9.67
Peso Volumétrico Húmedo (g h) <i>kg/m³</i>	1966.53	2051.31	2223.05
Peso Volumétrico Seco (g d) <i>kg/m³</i>	1796.41	1876.09	2027.04
CBR	90%	95%	100%

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí.

Muestra 90%

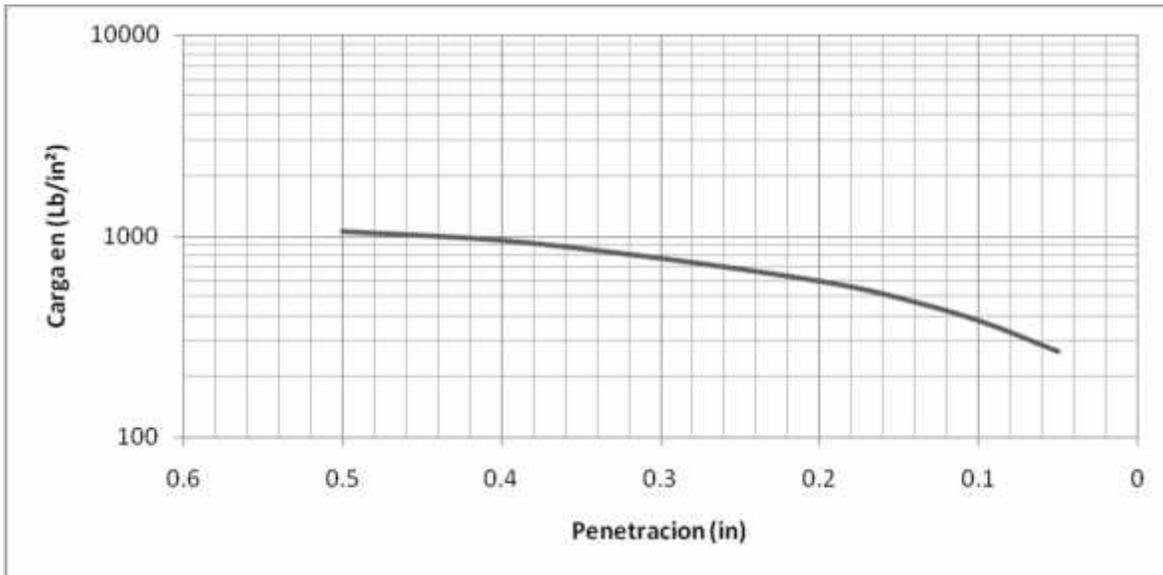
Penetración

Molde No: _A-1_

Sobrecarga: _____

mm	pulg	Lectura Carga	Carga lb/in ²	CBR
1.27	0.05	15	264.75	
2.54	0.1	21.5	379.475	37.95
3.81	0.15	28	494.2	
5.08	0.2	34	600.1	40.01
7.62	0.3	44	776.6	40.87
10.16	0.4	54	953.1	41.44
12.7	0.5	60	1059	40.73

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí.



Muestra 95%

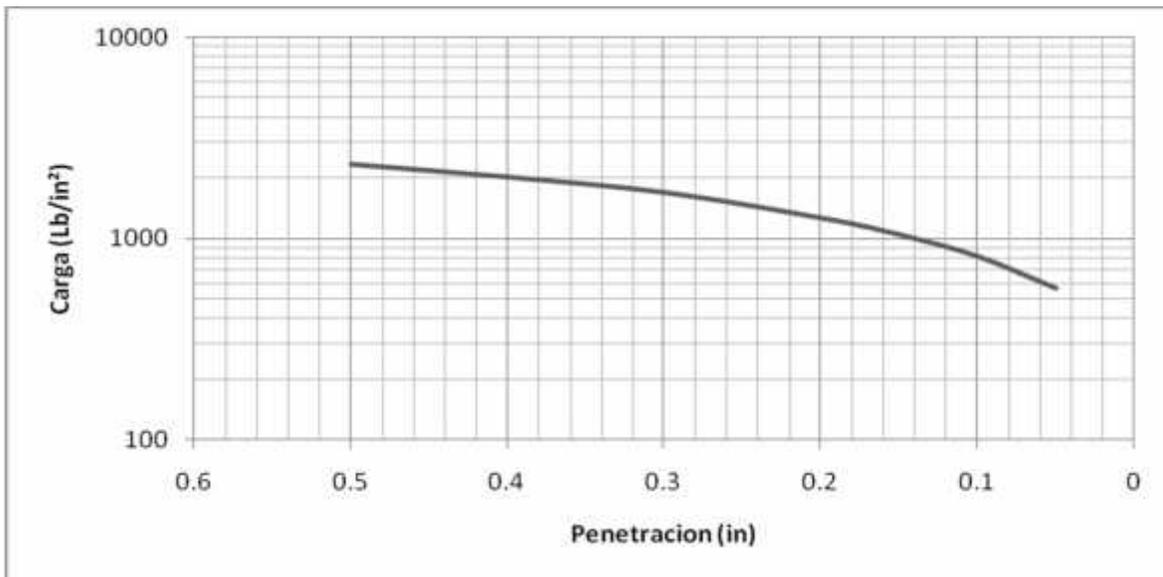
Penetración

Molde No: _#1_

Sobrecarga: _____

mm	pulg	Lectura Carga	Carga lb/in ²	CBR
1.27	0.05	32	564.8	
2.54	0.1	46	811.9	81.19
3.81	0.15	59	1041.35	
5.08	0.2	72	1270.8	84.72
7.62	0.3	96	1694.4	89.18
10.16	0.4	114	2012.1	87.48
12.7	0.5	132	2329.8	89.61

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí.



Muestra 100%

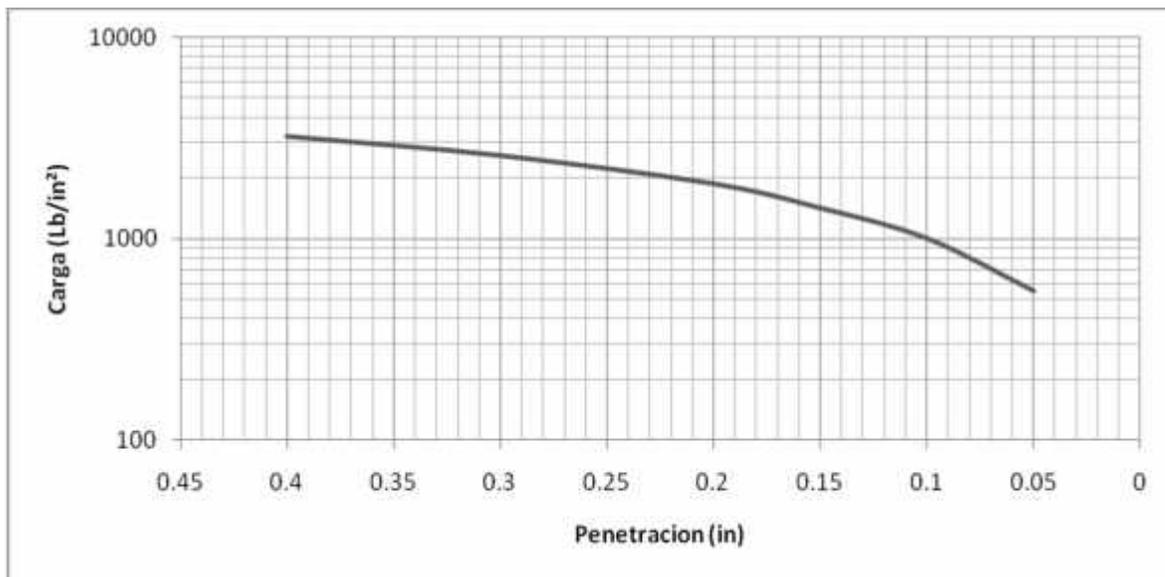
Penetración

Molde No: #3

Sobrecarga:

mm	pulg	Lectura Carga	Carga lb/in ²	CBR
1.27	0.05	31	547.15	
2.54	0.1	57	1006.05	100.61
3.81	0.15	81	1429.65	
5.08	0.2	106	1870.9	124.73
7.62	0.3	147	2594.55	136.56
10.16	0.4	184	3247.6	141.20

Fuente: Alcaldía Municipal de Estelí.





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción, hace constar que el (a) **BR: ALVARO JOSE GONZALEZ LOPEZ** Carné No.: 2005-22062 turno diurno, de conformidad con el Reglamento de Régimen Académico Vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la Ciudad de Managua, a los treinta uno días del mes de octubre del año dos mil catorce.



DR. ING. EFRAIN CHAMORRO BLANDÓN.
Secretario de Facultad

Cc: Archivo.
DIECHB/Claus*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARÍA

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Construcción, hace constar que el
(a) **BR: LEIBIN JAVIER HERNÁNDEZ GUTIÉRREZ** Carné No.:2005-22379

turno diurno, de conformidad con el Régimen Académico Vigente en la Universidad, es
EGRESADO de la carrera de **INGENIERIA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO** a solicitud de la parte interesada en la
Ciudad de Managua, a los trece días del mes de Enero del año dos mil quince.



DR. ING. EFRAIN CHAMORRO BLANDON.
Secretario de Facultad

Cc: Archivo.
DIECHB/Claus*

